

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA**

**REFLEXÕES SOBRE O PAPEL DOS VALORES NAS
APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS**

JACKELINE VIEIRA

**SÃO CARLOS -SP
2021**

JACKELINE VIEIRA

**REFLEXÕES SOBRE O PAPEL DOS VALORES NAS
APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em biotecnologia.

Orientador: Pablo Rubén Mariconda. Co-orientadora: Maria Cristina da Silva Pranchevicius

**SÃO CARLOS-SP
2021**

Jackeline, VIEIRA

Reflexões sobre o papel dos valores nas atividades
biotecnológicas / VIEIRA Jackeline – 2021.
127f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus São Carlos, São Carlos
Orientador (a): Pablo Rubén Mariconda; Co-orientadora:
Maria Cristina Pranchevicius
Banca Examinadora: Fernão Salles de Oliveira, Patrícia
Domingues de Freitas
Bibliografia

1. Biotecnologia . I. Jackeline, VIEIRA. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325

JACKELINE VIEIRA

**REFLEXÕES SOBRE O PAPEL DOS VALORES NAS APLICAÇÕES
BIOTECNOLÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso julgado e aprovado para obtenção do título de Bacharel no Curso de Biotecnologia na Universidade Federal de São Carlos.

São Carlos, ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pablo Rúben Mariconda
Universidade de São Paulo, Campus São
Paulo

Prof. Dr. Fernão de Oliveira Salles
Universidade Federal de São Carlos, Campus
São Carlos

Profa. Dra. Maria Cristina Pranchevicius
Universidade Federal de São Carlos, Campus
São Carlos

Profa. Dra. Patrícia Domingues de Freitas
Universidade Federal de São Carlos, Campus
São Carlos

AGRADECIMENTOS

No dia em que eu escolhi fazer deste o meu último trabalho obrigatório da graduação, eu pensei que a dificuldade que eu estava me propondo era maior do que eu. Eu estava certa. Realizar um trabalho bastante longe do que me foi ensinado durante a graduação exigiu que eu aprendesse muitas coisas diferentes das habituais, dentro e fora da universidade. Todo esse aprendizado tem nomes, rostos, lugares, símbolos, sons, sabores e sentimentos. Agradecerei aqui a alguns deles, não porque são os mais importantes, mas porque são os que me saltam primeiro à memória: Pablo e todos da Associação Filosófica Scientiae Studia (especialmente para Nathalia M.), professora Cristina, trabalhadores da BCo (Biblioteca Comunitária da UFSCar de São Carlos), Luciene, Elias, Capela, Fernanda, Hans, Bode, Deivid, Carol, André, Lucas Oliveira, Canela, Frank, Flávio, Carlos, Pedro Martins, Stéphaney, Francisco, Darvelina, Japa, Tomas, Funny, Eduardo, Endrik, Luza, Cimar, Ana, pessoas que mantêm os sites sci-hub e libgen e aos autores citados nas referências bibliográficas. Todo esse trabalho tem um pouco de vocês. Pelo compartilhamento de ideias, momentos ou afetos: muito obrigada!

A tarefa de educação científica, sugiro, não consiste apenas na formação dos estudantes no conhecimento, nas teorias, nas habilidades, nas metodologias e nas práticas apropriadas à pesquisa e à sua aplicação; nem consiste apenas em ensiná-los a ser competentes para avaliar quais teorias são corretamente aceitas em relação a determinados domínios de fenômenos e para apreender o que a ciência nos diz acerca do mundo em geral. A tarefa de educação científica é também desenvolver a autoconsciência crítica sobre o caráter da atividade científica e de suas aplicações e sobre as escolhas com as quais se defrontam seus participantes responsáveis.

Hugh Lacey

RESUMO

O objeto de estudo deste trabalho é a biotecnologia, que será classificada como uma atividade originada a partir da fronteira entre ciência (química e biológica) e engenharia, sofrendo influências de diversos conjuntos de valores, com preponderância de valores do capital e do mercado no momento da aplicação. Dessa forma, rompe com a concepção de “ciência livre de valores” e desestabiliza os ideais científicos de neutralidade e autonomia. O intuito principal é refletir como a aplicação da biotecnologia é conduzida e quais as consequências das ações dos profissionais em termos de expressão de valores. O método utilizado foi o de revisão da literatura. A análise empreendida possibilitou constatar a existência do controle da natureza como condição necessária para biotecnologia, o que não implica na vinculação direta de biotecnologias aos valores do mercado. Tal asserção será corroborada pela aplicação da biotecnologia em projetos que articulam e expressam valores de sustentabilidade, justiça social e participação democrática. Assim, embora na maioria dos casos haja relação com os valores do capital e do mercado, é possível aplicar a biotecnologia em projetos orientados segundo a “estratégia sensível ao contexto”. Espera-se que a presente discussão possa contribuir à difusão das ideias da crítica pós-moderna da ciência na biotecnologia, a fim de inculcar a autoconsciência crítica nos estudantes e profissionais desta área.

Palavras-chave: Origens da Biotecnologia. Ciência aplicada. Biotecnologia. Valores na Ciência. Aplicações biotecnológicas. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Biotechnology is the central object of study, it will be classified here as an activity originated in the boundary between science (chemical and biological) and engineering, under the influence of several sets of values, with a ruling expression of capital and market values in the moment of application. Thus, it ruptures with the conception that “science is value free” and destabilizes the scientific ideals of neutrality and autonomy. The main objective of this work is to reflect how the application of biotechnology is conducted and what are the consequences of the professionals actions in terms of expression of values. The method used was the literature review. The analysis undertaken in this study made possible to note the existence of “control of nature” as a necessary condition for biotechnology, which does not imply in the direct link of biotechnologies to market values. Such an assertion will be corroborated by the application of biotechnology in projects that articulate and express values of sustainability, social justice and democratic participation. Although there is a relationship with capital and market values, it is possible to apply biotechnology oriented according to a “context-sensitive strategy”. It is hoped that this discussion will contribute to the diffusion of the postmodern critique of science within biotechnology, in order to instill the critical self-awareness in biotechnology students and professionals.

Keywords: *Origins of Biotechnology. Applied science. Biotechnology. Values in Science. Biotechnological applications. Sustainability.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
AMLD	Associação Mico-Leão-Dourado
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AVC	Acidente Vascular Cerebral
BMTF	<i>Bundesministerium fur Forschung und Technologie</i>
CGEE	Centro de Gestão de Estudos Estratégicos
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 19</i>
CRISPR	<i>Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats</i>
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
DDT	Dicloro-Difenil-Tricloroetano
DECHEMA	<i>Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen</i>
DNA	<i>Desoxyribonucleic Acid</i>
DOE	<i>Department of Energy</i>
e-MEC	Sistema Eletrônico de Regulação de Instituições de Ensino Superior
ELSI	<i>Ethical, Legal and Social Issues</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
FAST	<i>Forecasting and Assessment in Science and Technology</i>
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação
MEL	Melibase
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MLD	Mico-Leão-Dourado
MPT	Ministério Público do Trabalho
NASDAQ	<i>National Association of Securities Dealers Automated Quotations</i>
NGS	<i>Next Generation Sequencing</i>
NIH	<i>National Institute of Health</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>
OGM	Organismo Geneticamente Modificado
OMS	Organização Mundial da Saúde
OTA	<i>Office of Technology Assessment</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PCMLD	Plano de Conservação do Mico-Leão-Dourado

PCR	<i>Polimerase Chain Reaction</i>
PGH	Projeto Genoma Humano
RNA	<i>Ribonucleic Acid</i>
SARS-CoV-2	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>
SBBiotec	Sociedade Brasileira de Biotecnologia
SCP	<i>Single Cell Protein</i>
TI	Tecnologia da Informação
UCLA	<i>University of California, Los Angeles</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
URSS	União da República Socialista Soviética

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
PARTE I	
Desestabilizando o mito de fundação: fases de criação da biotecnologia	14
2.1 Fase fermentativa-agrícola	17
2.2 Fase industrial	25
2.3 Fase política	31
2.4 Fase genética e biomolecular	39
2.5 Fase integrativa	57
PARTE II	
Um mapa mental: o mito da biotecnologia	68
3.1 A prática científica	70
3.2. A Biotecnologia como atividade de fronteira	77
3.3 Regimes de operação da biotecnologia	78
PARTE III	
Os valores na ciência: possível rota para o uso da biotecnologia de forma contextualizada	85
4.1 Os ideais da Ciência Livre de Valores	85
4.2 Como os valores influenciam a ciência	89
4.3 Os valores que conduzem as atividades biotecnológicas	94
CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

INTRODUÇÃO

A produção científica é essencialmente comunicativa, ou seja, o uso da linguagem¹ é fundamental para o seu funcionamento. Entretanto, qualquer representação do mundo, seja através das ciências ou das artes, não o expressa tal como ele é. Dito de outro modo: as descrições do mundo não são o mundo de fato, são aproximações ou “recortes da realidade”. *La Trahison des Images (Ceci n'est pas une pipe)*² (1929), obra de René Magritte, retrata o mencionado conflito entre realidade e representação. O surrealista belga pinta um cachimbo e abaixo, no próprio quadro, escreve: “*ceci n'est pas une pipe*”. A relação entre palavras e imagem, nesse quadro, exprime a ideia de que o *símbolo* cachimbo não é o *objeto* cachimbo, por mais semelhante que seja, existem diferenças significativas na composição e funcionalidade. Além disso, a obra ainda pode indicar características do pintor, por exemplo: representar o cachimbo com o cabo virado para a direita, pode ser um indicativo de que Magritte era destro, ou ainda, a escolha do cachimbo, ao invés de qualquer outro objeto, pode estar relacionada aos hábitos do artista.

Apreender a realidade e expressá-la usando a linguagem requer a ação de um sujeito sensível. Dito de outro modo: a realidade está diretamente relacionada aos fatos, a apreendemos através dos sentidos do corpo que constituem o sujeito e expomos os fenômenos, apreendidos pelos sentidos, usando a linguagem. Dessa forma, o conhecimento científico é construído por ação dos cientistas, que são agentes imersos em grupos sociais e instituições (religiosas, sociais, de ensino, políticas, econômicas etc.). Esse aspecto permeia todo o texto deste trabalho. Abordar o cientista como agente social permite entender que a sua produção é produto da linguagem, atravessada por fatores culturais, sociais, econômicos e políticos.

Mas, se a ciência é uma aproximação da realidade e não a realidade de fato, então, como a sua aplicação, através de construtos tecnológicos, funciona no mundo tal como ele é? Para responder essa questão recorreremos à filosofia da ciência de Hugh Lacey, que admite a existência de diferentes conjuntos de valores expressos e articulados na atividade científica. Os valores cognitivos, articulados por determinadas

¹ A linguagem é entendida no presente texto como sequência ordenada de símbolos que produz significado. As linguagens mais comuns para reprodução da ciência são a escrita (e.g. textos de livros, artigos, revistas) e a falada (e.g. congressos, simpósios, comunicações, seminários).

² Tradução: A traição das imagens (Isto não é um cachimbo).

instituições (e.g. departamentos de universidades, institutos tecnológicos, setor de P&D de empresas) e expressos em teorias científicas aceitas, garantem que a aplicação tecnológica é uma replicação concreta dos experimentos que comprovam a teoria. As pesquisas que engendram essas teorias não produzem entendimento do mundo tal como ele é, mas o apreendem sob a perspectiva do valor social do *controle da natureza*. Existem ainda outros valores importantes na proposta de Lacey, que serão tratados ao longo deste trabalho, mas um deles se sobressai ao analisar a biotecnologia: os valores do capital e do mercado.

Em 2020, ano em que foi declarada a pandemia do coronavírus (SARS-CoV-2), a biotecnologia despontou com lucros ascendentes, sem receber os efeitos negativos da crise sanitária. O setor biofarmacêutico movimentou cerca de 6 trilhões de dólares nesse ano, sempre fechando com porcentagem positiva na NASDAQ e Bolsa de Nova York (SENIOR, 2020), mesmo em um contexto que levou o mundo à recessão. Dados estatísticos da OECD analisados em 2015 pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) do MCTI previam que a biotecnologia movimentaria cerca de 300 bilhões de dólares em 2030. O valor movimentado no ano de 2020 supera, em mais de 20 vezes, o estipulado para o ano de 2030. Esse crescimento abrupto com tendência exponencial ainda é instável, mas leva à percepção da biotecnologia como uma “tecnologia habilitadora” essencial para responder às demandas da indústria 4.0. Dessa forma, controlar a natureza usando ferramentas biotecnológicas pode solucionar variados problemas humanos e minimizar o sofrimento causado pela condição humana. Por outro lado, a aplicação é problemática e, a menos que haja políticas de distribuição, as tecnologias continuarão concentradas nos grupos dominantes da sociedade. Para além disso, a produção e o consumo não planejados (ou melhor, planejados no sentido da obsolescência em curto período), a poluição decorrente das atividades humanas, e uma valorização falsa da sustentabilidade por instituições dominantes, perpetuam o aquecimento global, intensificam a perda da biodiversidade, e, como consequência, alteram as condições que permitem a continuidade da vida humana.

O objeto central apresentado para estudo é a biotecnologia, uma disciplina que emerge nas décadas de 1970 e 1980 e oferece à sociedade a produção industrial de alimentos (fermentados, processados por enzimas, transgênicos), armas biológicas, medicamentos (antibióticos, hormônios, vacinas), sequenciamento de biomoléculas, terapia gênica etc. Apesar do termo “biotecnologia” ter sido criado na primeira década

do século XX, foi apenas após a consolidação do neoliberalismo que essa nova disciplina despontou, por meio de políticas governamentais, criação de *startups* e incorporação no capital de risco. Admitir que outros valores que não os cognitivos afetam a atividade científica, permite entender que a biotecnologia é influenciada por fatores extrínsecos à própria produção, por exemplo, por valores do capital e do mercado. A relação entre academia e capital/mercado desestabiliza os ideais de neutralidade e imparcialidade, mas é necessária para o surgimento da biotecnologia. Em suma, a ligação entre biotecnologia e valores políticos, econômicos e sociais é inseparável, o que requer a proposição de um novo conjunto de valores expressos na atividade científica a fim de garantir que certos ideais (como a neutralidade) sejam mantidos.

A finalidade principal deste trabalho é analisar criticamente a biotecnologia, principalmente no momento de aplicação do conhecimento gerado em seu interior, e compreender as consequências das ações dos biotecnologistas, que se movimentam em uma fronteira tênue entre a compreensão da vida natural e a produção de artefatos que a emulam.

O número de agentes sociais que trabalham com biotecnologia tem crescido vertiginosamente na última década. A partir de dados fornecidos pelo e-MEC é possível concluir que, no Brasil, cerca de 70% das 67 instituições educacionais (bacharelado e técnico) que oferecem cursos contendo o nome “biotecnologia” foram criadas entre o final da primeira e início da segunda década do século XXI. Isso significa que o número de profissionais formados por ano nessa área passou de centenas, em 2005, para milhares, em 2020. A relevância do trabalho aqui apresentado está na tentativa de contribuir para o desenvolvimento da autoconsciência crítica acerca das produções biotecnológicas. Para tanto, o método utilizado foi a revisão da literatura e reflexão crítica dos textos obtidos.

A estrutura do trabalho é dividida em três ideias principais: origem, delimitação e valores. A Parte I trata do problema da *origem* da biotecnologia, o título “Desestabilizando o mito de fundação” nega a narrativa usual de que a biotecnologia tem origem há milênios, no alvorecer da humanidade, e propõe uma abordagem histórica dividida por fases. As fases, por sua vez, dividem-se em 5 blocos principais: fermentação de alimentos (2.1 Fase fermentativa-agrícola), fermentação industrial de substâncias químicas e farmacêuticas (2.2 Fase industrial), políticas governamentais para promoção da biotecnologia (2.3 Fase política), a penetração da genética e

ciências biomoleculares na abordagem da biotecnologia (2.4 Fase genética e biomolecular) e, por fim, a conexão entre as disciplinas na *big science* (2.5 Fase integrativa).

As ideias desenvolvidas na primeira parte permitem compor a biotecnologia por meio de elementos microbiológicos, celulares, biomoleculares, nanobiomoleculares e bioinformáticos. Tais elementos são usados para criar instrumentos e artefatos aplicados por instituições. Dessa forma, as definições de biotecnologia fornecidas por instituições diversas (e.g. OECD, UNESCO, EMBRAPA, Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança, Convenção sobre Diversidade Biológica e SBBiotec) permitem enquadrar essa disciplina como ciência aplicada. Na Parte II, a discussão tem como centro a *delimitação* da biotecnologia, situando-a como *ciência aplicada* e uma atividade de fronteira. Situar a biotecnologia dessa forma não tem como intuito defini-la, mas delimitar a sua atividade.

Uma vez delineada a atividade biotecnológica, dedicamos a Parte III para uma reflexão acerca dos valores que a orientam. A interação entre biotecnologia e os valores articulados e expressos é abordada partindo de um resgate às origens dos ideais científicos de imparcialidade, neutralidade e autonomia. A “ideia da ciência livre de valores” será contrastada com a influência de valores econômicos, sociais, políticos e éticos no fazer científico. O momento da aplicação do conhecimento biotecnológico será aqui o principal candidato ao ponto de inflexão do ideal da ciência livre de valores.

Antes de partir para discussão, algumas ressalvas devem ser feitas: por se tratar de uma investida a favor da autocrítica da biotecnologia no momento da aplicação, as legislações que aparecem nas partes II e III dizem respeito apenas ao cenário local; a parte I, que discute sobre a origem e consolidação do termo “biotecnologia”, está centrada no norte global, com protagonismo de países europeus, norte-americanos e do Japão; cada uma das partes é iniciada por uma pequena introdução, onde são apresentados os principais autores e trabalhos utilizados nas seções. A estrutura do texto permite responder sequencialmente “o que é”, “como é” e “para que serve” a biotecnologia.

PARTE I

Desestabilizando o mito de fundação: fases de criação da biotecnologia

66°C é a temperatura na qual a beta-amilase perde a sua estrutura terciária de catálise, tornando-se uma enzima inativa. A alfa-amilase suporta temperaturas de até 75°C. Ambas enzimas³ estarão ativas durante a brassagem, a segunda fase do processo de produção de cerveja, antecedida da moagem dos grãos maltados, que serão misturados à água e dissolvidos. A fermentação ocorre depois da adição do lúpulo e resfriamento do mosto lupulado, em um processo conhecido como *pitching*. As cervejas são classificadas de acordo com a atividade da levedura em alta fermentação,⁴ que usa a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, ou baixa fermentação,⁵ em que a *Saccharomyces uvarum* é o agente fermentador. O tipo e a concentração de levedura adicionada ao mosto serão determinantes para o aroma e o sabor da cerveja, devido à produção de compostos voláteis como ésteres e outros metabólitos secundários. A classificação desses microrganismos passou de características morfológicas para características genotípicas em 2011 (DE OLIVEIRA, 2011, p. 24-5), divididas nas duas linhagens: *cerevisiae* e *uvarum*; diferenciadas pela presença do gene MEL.⁶

Registros históricos apontam que a bebida fermentada de cevada maltada⁷ era produzida desde 6000 a.C. e foi descoberta acidentalmente como uma espécie de “pão molhado” (SILVA *et al.*, 2016, p. 85). Provavelmente, a produção tem origem na região da Mesopotâmia, onde a cevada crescia abundantemente em estado selvagem. No Código de Hamurabi, existem leis que regulam a produção dessa

³ Enzimas são importantes no processo de produção cervejeira. As enzimas que degradam o amido são a alpha e beta amilase, são enzimas de desramificação (beta-amilase quebra ligações 1-4 entre glicoses, reduzindo as extremidades do amido, já a enzima alfa-amilase quebra de forma aleatória as ligações); outras enzimas são as citolíticas beta-glucanase e citase, que irão degradar a parede celular, para acesso ao amido e liberação de outras biomoléculas. As enzimas que degradam proteínas são a proteinase e peptidase, ativas durante a brassagem. Enzimas formadoras de ácidos são importantes para controlar o malte e o ph do mosto, um exemplo importante é a fosfatase, que quebra o ácido fosfórico. (FIX, 1999, p. 57)

⁴ Nas cervejas de alta fermentação as leveduras tendem a permanecer na parte superior do fermentador. Em geral são do tipo *ale*, o processo de fermentação ocorre entre 18 e 22°C.

⁵ Nesse caso as leveduras floculam e tornam-se mais densas, portanto, estão situadas na parte inferior do fermentador. São cervejas do tipo *lager*, com temperatura de fermentação que varia entre 7 e 15 °C.

⁶ Gene presente apenas na linhagem *uvarum* que produz a enzima extracelular alfa-galactosidade (melibiase), o que permite que o dissacarídeo melibiose (glicose-galactose) seja digerido pela célula.

⁷ As palavras *cervisia* ou *cerevisia* foram utilizadas pelos romanos, em homenagem a Ceres, deusa da agricultura e da fertilidade, por volta de 100 d.C. (COELHO-COSTA, 2015, p. 23).

bebida alcóolica, descrita no hino da deusa Ninkasi (FASOLI *et al.*, 2010, p. 5262). Da mesma maneira que na Mesopotâmia, no Egito antigo, a bebida era oferecida aos deuses e fazia parte de rituais religiosos (DRAGONE *et al.*, 2010). A produção era tarefa exclusiva de mulheres, que a produziam no mesmo recipiente usado para a mistura dos ingredientes dos pães.

O aumento da escala e produção comercial teve início no século XVII (MALAJOVICH, 2016, p. 4), período contemplado pelo aprofundamento do rigor técnico e gradativa robustez instrumental. A produção comercial de bebidas fermentadas passou a usar aparatos tecnológicos subjacentes à revolução científica e industrial. Há uma separação nítida, demarcada pelo advento da ciência e tecnologia, entre a antiga bebida alcóolica fermentada de cevada ou trigo maltado e a cerveja moderna. Embora a similitude seja resguardada, a saber, os ingredientes, processo de mistura e o fenômeno da fermentação alcóolica, as diferenças são significativas: a técnica de produção (associada ao saber cotidiano vs. associada ao método científico) e o papel social (bebida divina, com forte vínculo religioso vs. produto comercial). Dessarte, a atividade humana que permeia a produção da bebida nos diferentes momentos históricos é incomensurável, embora trabalhem com o mesmo conjunto de objetos. Como será melhor exposto na seção 2.1, adiante, a *tecnologia* de fermentação repercutirá na construção da ideia de biotecnologia.

É recorrente em textos científicos (em artigos, textos didáticos para ensino superior ou de divulgação científica)⁸ dividir a biotecnologia em antiga, clássica e moderna. A distinção entre as últimas é o marco genético da invenção da técnica de DNA recombinante, que caracteriza a “biotecnologia moderna”. A “biotecnologia antiga” tem início há milhares de anos a.C., determinada pelo uso de leveduras para produção de alimentos (cerveja, vinho, queijo), cultivo e seleção de plantas e animais - práticas circunscritas pela experiência cotidiana. A “biotecnologia clássica” terá início com os trabalhos que estabeleceram as bases da microbiologia no século XIX, porém, é comum encontrar a união entre as divisões “clássica” e “antiga”, sob o nome de “biotecnologia clássica”; nesse caso, acontece um salto temporal de mais de mil anos no interior da divisão, já que o período de surgimento da “biotecnologia antiga” é da ordem de grandeza de 10^3 a.C. e pouco (ou nada) se fala dos séculos I a XV. É

⁸ Trabalhos que usam essa divisão de biotecnologia cf: KHAN, p. 10-1; VERMA *et al.*, 2011, p. 321-3; HASHEM *et al.*, 2019, p.38-9; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2018, p. 6-8; BRANKOV e LOVRE, 2016, p. 1-15.

importante mais uma vez ressaltar que as atividades sociais no contexto em que se desenvolve a chamada “biotecnologia antiga” (e.g. produção de bebidas alcoólicas fermentadas) estão muito associadas ao misticismo religioso, sem método formalizado ou sistema de medidas, que ignora a existência de microrganismos ou leis naturais.

Quando se atribui a origem da biotecnologia às práticas de domesticação de plantas ou animais, produção de alimentos fermentados, do alvorecer da humanidade, há milênios a.C., antes mesmo da consideração do método científico nos paradigmas vigentes, ignora-se o rigor do emprego do termo “tecnologia”, o qual compõe o nome “biotecnologia”. Os fenômenos para produção de alimentos fermentados na Antiguidade e na Modernidade são os mesmos, mas o método de produção difere. É impossível que a produção da bebida egípcia e mesopotâmica utilize parâmetros de classificação de microrganismos, considere a produção de substâncias secundárias, tais como ésteres, ou mesmo esteja baseada em métodos matemáticos e quantitativos, de forma que não mensura temperatura, concentração de levedura no mosto ou pH da mesma forma que na modernidade. Ora, se a biotecnologia é baseada no método científico, situar sua origem na Antiguidade, sem que o modelo científico tenha sido inventado, é anacrônico. Esse é um anacronismo histórico que deve ser combatido. Quando a “biotecnologia antiga” é aceita como ponto de partida da história do termo, o desenvolvimento intencional de um sistema empírico baseado na classificação quantitativa dos fenômenos, que torna possível controlar processos biológicos, é obscurecido. Isso permite que essa disciplina possa se desenvolver sem que esse sistema seja posto como objeto do entendimento pelos seus praticantes.

Antes de estudar o sistema em que operam as teorias da biotecnologia, uma definição de “biotecnologia” seria pertinente. Entretanto, esse termo, assim como a maioria dos termos que designam o campo das ciências de ponta tecnológica,⁹ não tem definição consensual e está em estágio de formação. Com o intuito de preencher essa lacuna a comunidade científica divide a biotecnologia por cores referentes à área de aplicação: a cor cinza está relacionada à tecnologia de fermentação clássica e bioprocessos; a cor branca representa as aplicações industriais, incluindo biorremediação e produção de substâncias, materiais e energia pela indústria; a cor

⁹ São as ciências que aplicam o método científico para desenvolver tecnologias inovativas em estado de arte, com finalidade comercial e industrial. Assim, sofrem mutações ao longo do tempo, isto é, as ciências de ponta tecnológica têm seu objeto de estudo constantemente transformado.

vermelha está relacionada à área da saúde; a verde dedica-se a aplicações agrícolas; a amarela, aplicações na área alimentar; a azul, relaciona-se a aplicações de origem aquática; a marrom, à zona árida e à biotecnologia do deserto; a roxa, a patentes e invenções; a preta, a biocrimes e bioterrorismo; a dourada, à bioinformática e bionanotecnologia (DA SILVA, 2004; CIB, 2008). À medida que novas atividades surgem, novas cores são incorporadas. Mas o problema da definição persiste. Nas comunicações que pertencem ao campo da biotecnologia (em publicações, ou em discursos técnicos), o conteúdo do termo varia conforme a área científica principal do autor.

A estratégia adotada para recuperar a origem do conceito de “biotecnologia” consiste em acompanhar o surgimento de teorias e práticas que irão criar o arcabouço teórico e instrumental, de modo a delinear as condições que demarcam o surgimento contemporâneo do modelo de biotecnologia. Para tanto, o trabalho do historiador da ciência Robert Bud, que descreve a historiografia do conceito de “biotecnologia”, o trabalho sobre a linguagem científica, com enfoque na genética, da física Evelyn Fox Keller, e as publicações dos comentadores e cientistas inventores das principais biotecnologias serão tomados como base.

A construção do termo “biotecnologia” será, neste trabalho, dividida em cinco fases: (1) fase fermentativa-agrícola, (2) fase industrial, (3) fase política, (4) fase genética e biomolecular e (5) fase integrativa. As fases, embora respeitem a cronologia, não seguem estritamente a ordem da linha do tempo. Muitas vezes uma fase coexiste, em termos históricos, com outra, mas serão explicitadas em fases distintas, por pertencerem a um estrato diferente dentro da biotecnologia. Isso significa que, embora acontecimentos históricos marquem o processo de construção do termo, essa divisão em fases não corresponde a uma divisão propriamente histórica, mas de características determinantes para construção do significado da palavra.

2.1 Fase fermentativa-agrícola

Associados aos quatro elementos (fogo, água, terra, ar) e ao espírito, o conceito de “fermento” e “fermentação” são usados por estudiosos da química médica, como Paracelsus (1493-1541) e Jean Baptiste van Helmont (1577- 1644), para explicar os processos fisiológicos do corpo humano. A fermentação, compreendida como processo transformante, expressava o entendimento dos fenômenos naturais. Para

van Helmont, o fermento era o princípio ativo de todos os fenômenos naturais. Essa teoria foi reinterpretada por Thomas Willis (1621-1675) em termos corpusculares: o fermento, partícula mineral, seria impelido pelo fogo (calor) ao “movimento fermentacional”. Na segunda metade do século XVII, o tema gerou entusiasmo e atraiu a atenção dos filósofos naturais Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) e Isaac Newton (1642-1727), que o explicam em termos de movimento da matéria e forças de curto alcance, respectivamente. Newton, em carta a Henry Oldenburg, escreveu: “Toda estrutura da natureza pode não ser nada além de éter condensado por um princípio *fermental*”¹⁰ (CHANG, 2002, p. 33-7; CLERICUZIO, 2003, p. 227).

Foi nesse contexto que o químico e filósofo natural, Georg Ernst Stahl (1659-1734), publicou seu primeiro livro: *Zymotechnia fundamentalis* (1697). O livro foi escrito misturando três idiomas: latim, grego e alemão; e era dedicado ao estudo da fermentação. Para Stahl, a fermentação era um processo mecânico e material: corpúsculos salinos, oleosos ou terrosos se relacionavam com o movimento de partículas de água, na presença do calor. O movimento das partículas de água, misturadas aos corpúsculos e incitadas pelo calor do ar, teria como efeito causal a fermentação. Stahl diferencia a fermentação de processos químicos, físicos e químico-médicos, ao apontar para os corpos suscetíveis à fermentação; em *Zymotechnia fundamentalis*, a fermentação não é apreendida como um processo de todos os seres vivos, mas especificamente de vegetais doces e leitosos, mel, açúcar, farinha, ervas, raízes e partes de animais. Além da delimitação do processo fermentativo, há, na obra de Stahl, outras duas características relevantes para a discussão aqui proposta: a primeira é o seu conhecimento da arte cervejeira, que transparece quando ele alterna a escrita do livro do latim para o alemão, seu vernáculo. Na tentativa de dar fundamentação teórica à técnica, ele explicita o seu domínio dos processos de produção de cerveja usando conceitos correntes entre os cervejeiros da Alemanha do século XVII. Essa aproximação entre teoria e utilidade técnica assemelha-se ao método da ciência aplicada.¹¹ A segunda característica referida acima é a concepção por Stahl da palavra *zymotechnia*, derivada do grego:

¹⁰ Original: "The whole frame of nature may be nothing but ether condensed by a fermental principle" (NEWTON *apud* CHANG, 2002, p. 36).

¹¹ A designação “ciência aplicada” surge no século XIX, anteriormente a esse período essa vertente era denominada “ciências práticas” ou “ciência aplicada às artes” (BUD, 2012, p. 537).

zume, “fermentar”, *techne*, “arte” ou “técnica” (CHANG, 2002, p. 38-45). Consequentemente, *zymotechnia* significa a “arte da fermentação”.

O primeiro livro de Stahl teve pouca circulação na Alemanha. Foi a tradução póstuma para o alemão que tornou o livro mais acessível e o difundiu. *Zimotecnia* foi traduzido por *zymotechnie* no século XVIII, ganhando os dicionários franceses e alemães no final desse século. O historiador Robert Bud (1992, p. 128; 1994, p. 9) encontra em *Zymotechnia fundamentalis* a ancestralidade da biotecnologia. O modelo proposto por Stahl é semelhante ao da biotecnologia em termos de aproximação entre técnica, ciência, mercado e comércio. O termo zimotécnica¹² será resgatado na primeira metade do século XIX, pelo químico alemão Karl Balling (1805-1868), professor de química da fermentação no Instituto Politécnico de Praga na década de 1840, que estabeleceu parâmetros para fermentação alcoólica da cerveja,¹³ intitula o quarto volume de seu trabalho “Relato do progresso das ciências e artes zimotécnicas”.¹⁴ Mais tarde, escreveu artigos sobre a zimotécnica, o que ajudou a alentar a base teórica do termo.

A zimotécnica era conhecida em outras partes da Europa, além da Alemanha, mas foi o trabalho de Balling que inspirou a sua institucionalização. Ao passo que Alfred Jorgensen, empreendedor e consultor cervejeiro, deu visibilidade à palavra. Periódicos e institutos de zimotécnica foram criados a partir de 1845 na Europa e na América do Norte. Desenvolve-se fortemente vinculada com a fermentação alcoólica, especialmente da cerveja (BUD, 1992, p. 131; 1994, p. 15-27). O entendimento dos fenômenos fermentativos no século XIX será expresso por representações da química.¹⁵ Esse tipo de recorte terá desdobramentos na indústria e na elaboração de tecnologias, que levou à segunda fase da revolução industrial, também chamada de

¹² Embora Bud tome *zymotechnology* como sinônimo de *zymotechnic*, traduzirei *zymotechnology* e seus correlatos por “zimotécnica”, mesmo quando zimotécnica referir-se ao estudo da técnica em conjunção com a ciência, caso em que seria melhor representado por “tecnologia”. Isso a fim de manter a originalidade dos termos que denominam as instituições, são eles: *Zymotechnic Institute* (Alemanha, 1845), *Zymotechnic College* (EUA, 1884), *Zymotechnisk Tidende* (Dinamarca, 1885), *Zymotechnic Magazine* (EUA, 1885), *Zymotechnic Institute* (EUA, 1901), *Zymotechnica Association* (EUA, 1906).

¹³ A escala Balling mede a concentração de açúcares e outros sólidos dissolvidos no mosto - hoje usa-se a escala Plato. Também estabeleceu parâmetros para o cálculo de carbonatação (cada 100g de extrato irá produzir: 48,8g de álcool, 43,3g de dióxido de carbono e 5,3g de biomassa) (HORNINK & GALEMBECK, 2019, p. 37, p. 44; JUNIOR, 2017).

¹⁴ Original: *Bericht uber die Fortschritte der zymotechnische Wissenschaften und Gewerbe* (BUD, 1994, p. 18).

¹⁵ A química havia sido transformada pela lei da conservação das massas de Lavoisier e ideias atômicas de Dalton. Conceitos como “átomo” e “elementos atômicos”, assim como “substância” e “reações” foram desenvolvidos entre os séculos XVIII e XIX.

“segunda revolução industrial”. O progresso tecnológico da indústria do petróleo, aço, química e elétrica segue a abordagem reducionista dos fenômenos. A redução física e química de objetos materiais é acompanhada pela fisiologia e botânica.

A microbiologia, relacionada à necessidade de controle de processos fermentativos, usou os aparatos químicos já disponíveis para criar uma nova disciplina. Ao mesmo tempo uma nova visão sobre a medicina se desenvolvia: os agentes causadores de doenças estavam sendo identificados, ações afirmativas para a saúde pública e a higiene. Cientistas, como o botânico alemão Ferdinand Cohn (1828-1898),¹⁶ o químico francês Louis Pasteur,¹⁷ o médico alemão Robert Koch (1843-1910)¹⁸ e o bacteriologista alemão Julius Richard Petri (1853-1921),¹⁹ exerceram influência na sistematização da microbiologia²⁰ no século XIX (MADIGAN *et al.*, 2016, p. 41-4). Em contraste com a química, que era uma disciplina já bem estabelecida, vinculada à indústria, cujas teorias delimitam o escopo da zimotécnica, a microbiologia dava os passos iniciais rumo à institucionalização. À medida que novas teorias da microbiologia eram propostas e aceitas (ou seja, que o arcabouço teórico era ampliado), mais a fermentação se distanciava de um recorte puramente químico.

Para além da fermentação, uma forma intermediária do que virá a ser a biotecnologia surgiu no século XIX. Em 1828, o antropólogo e naturalista francês Jean-Jacques Virey (1775-1846) criou o conceito de *biotechnie*, palavra que descrevia a característica inata do homem em desenvolver técnicas para compensar a perda dos instintos animais, por exemplo: o desenvolvimento da bússola para compensar a incapacidade do homem de usar o seu corpo para se orientar usando os pólos magnéticos do planeta, tal como fazem as aves migratórias. Virey também criou a

¹⁶ Estudou a formação de endósporos em *Bacillus sp.* e lançou as bases de esterilização (morte de bactérias a 100°C) e utilização de tampões de algodão para evitar contaminações em recipientes de cultivo em laboratório). Também estudou a produção de ácido lático em microrganismos e a produção de cerveja. (BUD, 1994, p. 21)

¹⁷ Percebeu a sensibilidade do metabolismo de microrganismos a isômeros óticos. Estudou a fermentação, contestando a teoria da geração espontânea. Em 1885 desenvolveu a primeira vacina antirrábica, o que levou à criação do Instituto Pasteur em 1888.

¹⁸ Inventou o cultivo de bactérias em meio sólido e estabeleceu métodos para a obtenção de culturas puras. Estudou o *Bacillus anthracis* e estabeleceu a relação de causa e efeito da doença usando camundongos como modelo experimental. A tuberculose foi outra doença que recebeu atenção de Koch, que auxiliou a estabelecer o postulado de Koch.

¹⁹ Inventor das placas de Petri em 1887, utensílio semelhante a pratos fundos com tampas, o que diminui o risco de contaminação da cultura sólida.

²⁰ Um embate ideológico entre Pasteur e o químico alemão Justus von Liebig (1803-1873) sobre a natureza química ou biológica da fermentação levou a décadas de discussão. A ascensão da microbiologia como disciplina é concomitante com a decadência da zimotécnica.

palavra *biologie*, que difere da *biotechnie* por não ter a mesma natureza de aplicação. Em 1901, Gustav Tornier, zoologista alemão, define *bionten* como qualquer organismo vivo, e *biontotechnik* como o processo de modificação técnica de organismos (BUD, 1994, p. 53-4). Tanto o termo zimotécnica quanto *biotechnie* e *biontotechnik* fazem referência ao conceito de técnica ou aplicação prática. A zimotécnica tem seu escopo restrito à fermentação, em contrapartida o sufixo “bio-” é capaz de englobar, segundo a definição de Virey, qualquer técnica desenvolvida pelo homem, ou qualquer modificação advinda da técnica recebida por organismos vivos, no caso de Tornier.

A Revolução Industrial, que teve início na Grã-Bretanha na metade do século XVIII, estendeu-se para outros países da Europa e EUA. A criação de máquinas industriais e sua localização, aumentou a produção e intensificou o êxodo rural e, por consequência, elevou o número de habitantes das cidades. Essa mudança não foi acompanhada de uma mudança na infraestrutura para acomodar um número crescente de pessoas, impelindo-as a viver em condições insalubres e com baixa expectativa de vida. A mortalidade começou a cair, nos países “desenvolvidos”, a partir da segunda metade do século XIX, relacionada ao tratamento de doenças infecciosas, ascensão da microbiologia e uma nova compreensão da medicina.²¹

A criação de fazendas intensivas, que reproduziam o modelo industrial, favoreceu o aumento da produtividade e produção em larga escala de produtos agrícolas no século XIX. Nesse contexto, a máquina a vapor, a prensa móvel, a eletricidade e o motor de combustão interna são causadores de profundas mudanças no cotidiano social. No início do século XX, a possibilidade de arrefecer produtos alimentares contribuiu para aumentar o tempo de estocagem de alimentos perecíveis. A seguinte relação foi estabelecida: aumento populacional, maior tecnificação agrícola e a tecnologia com fins domésticos, maior produção de alimentos.

As escolas agrônômicas e os centros de pesquisa começaram a ser estabelecidas no final do século XIX, em paralelo com a industrialização do campo. A Dinamarca era destaque na produção intensiva e tecnificação da agricultura, que, por sua vez, era fortemente vinculada à tecnologia de fermentação. Em 1907, o reitor da Faculdade Politécnica de Copenhague criou a cátedra de “fermentação fisiológica e química agrícola”, devido à expansão que a fermentação havia adquirido com o crescimento da microbiologia. O engenheiro químico dinamarquês Orla-Jensen (1870-

²¹ Na Inglaterra, no período de 1848 a 1971, 74% de redução nas taxas de mortalidade foram atribuídos ao declínio das doenças infecciosas e parasitárias (BARRETO *et al.*, 1993, p. 129).

1949), pupilo de Jorgensen, foi o primeiro professor da nova cátedra na politécnica. Orla-Jensen realizou o levantamento dos microrganismos conhecidos que faziam fermentação láctica, quando trabalhou no Instituto Pasteur com a produção de queijos. Em 1913, Orla-Jensen muda o nome da disciplina “fermentação fisiológica e química agrícola”, que ministrava, para “*bioteknisk kemi*”, ou “química-biotécnica”, ensinando a produção de alimentos, a fisiologia da fermentação e a fisiologia da nutrição. A criação e a forma como era ministrada a disciplina estava alinhada aos interesses das indústrias de fermentação. A química-biotécnica de Jensen ligava o estudo de proteínas, enzimas e células a análises químicas e ao processamento de certos alimentos (leite, margarina e chocolate). Embora Orla-Jensen já tivesse trabalhado na indústria cervejeira, seu interesse era voltado para bactérias do ácido láctico. O desenvolvimento da microbiologia fora do escopo da fermentação, o levou a adotar o título relacionando química e biologia (BUD, 1994, p. 30).

A mudança no nome da disciplina, acima mencionada, indica o desuso do nome zimotécnica e sua substituição por um novo conceito, capaz de suportar maior amplitude de técnicas. A existência da zimotécnica perdurou por aproximadamente três séculos: criada no final do século XVII, difundida no século XVIII e institucionalizada no século XIX. Entre o final deste último e o início do século XX, as revistas de zimotécnica foram absorvidas pelas revistas de química e gradativamente a zimotécnica perdeu a relevância.

A pesquisa em fermentação se desenvolveu ligada à agricultura e à química. Centros educacionais agrícolas e cervejeiros adquiriram forte reputação em pesquisa na Europa durante a virada do século XIX para o XX (BUCHHOLZ & COLLINS, 2013, p. 3748-9). O setor agrícola fornecia os insumos para a fermentação, enquanto a química fornecia fertilizantes para uma produção agrícola crescente, além do arcabouço teórico e instrumental para a criação de outras tecnologias.

No contexto agrícola, a Dinamarca foi o primeiro país a adotar o sistema de cooperativas na produção de vegetais e de gado, que produzia carnes, laticínios e couros. Depois, passou a produzir ração de porcos através do *skimmed milk*. Em contrapartida, os países húngaros se destacavam por possuir as fazendas intensivas mais sofisticadas do mundo. Károly Ereky (1878-1952), engenheiro agrícola e produtor de porcos, criou uma das maiores e mais lucrativas fazendas intensivas de toda a Europa do século XX. Entre 1917 e 1919, Ereky publicou uma série de três livros sob o título de “*Biotecnologia da carne, gordura e produção de leite em larga*

escala na agricultura industrial".²² Nesses livros, Ereky define *biotechnologie* como o método científico aplicado à indústria agrícola; e também cria o conceito de *Biotechnologische Arbeitsmaschine*, ou "máquina de trabalho biotecnológica", em que animais (porcos) seriam análogos a máquinas, transformando *inputs* de alimentos para porcos em *outputs* de carnes suínas (BUD, 1994, p. 32-4).

Ereky era influente e seu discurso teve ampla repercussão na Europa: o novo termo apareceu na revisão de seu livro publicada na revista *Naturwissenschaften*. Em 1920 o termo desponta em enciclopédia alemã. Dentre as ocorrências do termo, a que surge em Paul Lindner (1861-1944), editor do *Zeitschrift für Technische Biologie*, altera o direcionamento da *biotechnologie* pretendido por Ereky. Lindner correlaciona o termo de Ereky com o trabalho sobre bacilos de ácido láctico desenvolvido por Orla-Jensen. O termo se espalha pela Alemanha, imbuído da conotação microbiológica, recortado pela utilidade prática. É justamente Lindner que sente a necessidade de nomear as aplicações da biologia, porém, ele rejeitava "technologie", achando mais adequado o termo "technik", por se tratar de um ofício (Ibidem, p. 35-6).

Biotechnic, ou biotécnica, é uma palavra que se torna mais frequente entre o final do século XIX e início do século XX, em meados da Primeira Guerra Mundial. Conforme constatado por Bud (1994, p. 56-71), os trabalhos de Patrick Geddes (1854-1932), Rudolf Goldschied (1870-1931) e Raoul Francé (1874-1943) serão expoentes na disseminação do termo.

Goldschied, considerado um dos pais da biotecnologia e primeiro filósofo biotécnico, desenvolveu o tema em *Economia de seres humanos e política financeira*²³. Em seus trabalhos ele relacionou o comportamento procriativo e reprodutibilidade humana com as relações sociais e biológicas (EXNER, 2004, p. 287). Ele investiga a sociedade do ponto de vista econômico: os seres humanos seriam o "capital orgânico", a reprodução, "produção de homens". A necessidade do bem-estar do trabalhador era uma necessidade econômica, com consequências na produção do capital (EXNER, 2004, p. 290). Sua obra é refletida em Schumpeter, pai do conceito de inovação como motor do capitalismo, que escreve o artigo "A crise do Estado fiscal"²⁴ em 1918. Palavras como *Menschenökonomie* (economia humana),

²² Original: *Biotechnologie der Flush-Fett-und Milchzeugung im landwirtschaftlichen GroB betrub* (1919).

²³ Original: *Menschenökonomie und Finanzpolitik* (1918).

²⁴ Original: *Die Krise der Steuerstaates*.

Soziobiologie (biologia social), *Biotechnik* (biotécnica) são associadas à Goldschied. Ele via a biotécnica como implementação da *Soziobiologie*, porém nunca chega a definir *biotechnik* formalmente. Seria através do entendimento das características de transmissão, adaptação e seleção de linhagens que a sociedade humana tornar-se-ia plena (Ibidem, p. 57-9).

Francé, botânico austro-húngaro e fundador da ecologia do solo, direciona sua obra para a agricultura orgânica. Recentemente tem sido resgatado em teses sobre biocentrismo, biônica²⁵ e biomimética, nas quais o autor aparece como inventor da biotécnica (BARTHLOTT, RAFIQPOOR, ERDELEN, 2016; CARVALHO *et al.*, 2019; LÓPEZ, 2020). O termo pode ser definido, a partir dos trabalhos de Francé, como a tentativa do homem de emular a natureza, junção de um novo tipo de tecnologia com o modelo natural; exemplo: a aviação imita o modelo aerodinâmico das aves. Assim como em Goldschied, o conceito de “*biotechnik*” não é central na obra de Francé, de modo que ele nunca o explica precisamente (Ibidem, p. 62).

Pouco tempo depois que Francé publicou *Bios* (1920), com muita repercussão na Alemanha, o biólogo e filósofo escocês Patrick Geddes, empregou o termo *biotechnics*, com conotação agrícola e eugênica. Em *Cities in evolution* (1915), ao analisar os problemas decorrentes do crescimento de cidades, Geddes desenvolve o conceito de paleotécnica e neotécnica, analogia entre a “velha” e “nova” idade da pedra e “velha” e “nova” era industrial. A civilização paleotécnica é caracterizada por poluição crescente das cidades e preocupação em aumentar e compartilhar procedimentos comerciais, cuja consequência é a deterioração da vida (GEDDES, 1915, p. 67-70); na neotécnica, uma nova era, em que os recursos serão melhor aproveitados, a população construirá, unida, um novo ambiente (GEDDES, 1915, p. 73). A era neotécnica, que no trabalho de Geddes também é referida como Eutopia, representa uma visão otimista do futuro, em que a biotécnica (*biotechnics*) é parte da evolução do homem (BUD, 2001, p. 3).

O Artigo de biologia escrito por Arthur Thomson, biólogo escocês, para a *Encyclopaedia Britannica Supplement* de 1926 foi a maneira como o termo se popularizou. Thomson atribui o cunho da palavra a Geddes e explica *biotechnic* como o uso de organismos vivos em benefício do homem, uma simplificação das ideias de Geddes e Francé, que mostra como ele se transformou em um termo mais

²⁵ O termo “biônica” é formado pela omissão de “tech” da palavra *biotechnik*.

compreensível do que o alemão (BUD, 1994, p. 69). Era recorrente na Europa que o termo *biotechnic* fosse usado sem atribuição. Lewis Mumford (1895 - 1990) nos EUA, seguidor de Geddes, traduziu *biotechnics* para língua inglesa. O conceito aparece no livro *Technics and civilization*, publicado em 1934. Mumford absorve as ideias de planejamento de cidades e as categorias históricas (paleotécnicas e neotécnicas) de Geddes (Ibidem, p. 83). O conceito de biotécnica nesses autores era muito semelhante

Nos EUA, Emil Siebel, filho de John Ewald Siebel, deixa o instituto do pai em meados de 1917, para fundar a escola e consultoria *Bureau of Bio-Technology*, onde Emil Siebel se dedicou à produção de *soft drinks* e bebidas sem álcool e mais tarde (1934, pós lei seca) se dedica ao ensino e produção de cerveja. O título *Bureau of Bio Technology* é copiado na Inglaterra, porém com fins acadêmicos (THACKRAY, 1998, p. 5-7).

Em resumo, as bases da biotecnologia estavam lançadas. Zimotécnica, biotécnica e bio-tecnologia são elementos cujos conceitos se acumulam para formar o que é a biotecnologia atual. A motivação econômica é um direcionador dos trabalhos de Stahl, Balling, Ereky, Orla-Jensen e Siebel. Esses cientistas estão explicitamente ligados à fermentação, na época preponderantemente usada na indústria alimentar. Eles compartilham uma ligação, direta ou indireta, com a indústria agrícola. Desde já é possível constatar uma imbricação do modelo biotecnológico com o modelo industrial. Há transposição do modelo industrial também para o campo, no caso de Ereky, modelo esse que recebeu o nome de *biotechnologie*. A significação agrícola e a fermentativa são concatenadas por Lindner, que insere a microbiologia na biotecnologia. De outra parte, há uma tentativa de entender a associação entre o modelo industrial, a biologia e sociedade, com a *biotechnic* de Goldschied, Francé e Geddes. Nesses autores, é possível notar um flerte com a genética, no sentido de procurar resolver biologicamente problemas sociais. O conceito de “biotechnic” acaba se misturando com outros conceitos no processo de dispersão da palavra.

2.2 Fase industrial

O componente sobre o qual o presente item lança luz é a produção de substâncias comerciais baseadas em microrganismos. Há um movimento de expansão para fora da indústria agrícola e alimentar. A fermentação ainda é um

componente importante, porém nessa fase será escalonada de modo a aumentar vertiginosamente a produção.

A Primeira Guerra Mundial instaurou uma situação de crise, fome e necessidade de produção de explosivos. Até meados de 1915 o glicerol, componente do explosivo trinitroglicerina, era produzido a partir da fermentação alcoólica de amido através do processo desenvolvido pelo alemão Carl Alexander Neuberg e colaboradores, com etapas de separação e purificação onerosas. Com a síntese química de glicerina nas petroquímicas, que já possuíam estrutura para produção em larga escala, a síntese microbiológica perde espaço. Nessas circunstâncias, a fermentação passou a ser empregada apenas para a produção de alimentos e de leveduras comestíveis, usadas como alimento de soldados (BUCHHOLZ e COLLINS, 2013, p. 3474).

No contexto de guerra, Chaim Weizmann (1874-1952) inaugurou um novo modelo industrial mais asséptico e rigoroso. Utilizou um microrganismo novo na indústria: *Clostridium acetobutylicum*, no intuito de aumentar a velocidade de fermentação. Essa bactéria requer a presença de asparagina (ou ácido aspártico) para fermentação da sacarose; a ausência de condição anaeróbica, ou a ausência dos ativadores, ou ambas as condições, leva à formação de ácido butírico, que inibe a fermentação (WEIZMANN & ROSENFELD, 1937, p. 619-21). O composto acetona-butanol, produtos importantes no contexto histórico em que estavam inseridos, é formado durante o crescimento estacionário do microrganismo, devido à assimilação dos ácidos butírico e acético. O butanol seria a base para a produção de borracha sintética, em um cenário de alta no preço da seringueira²⁶ pressionado pelo cartel Brasileiro (entre 1907 e 1910); a acetona, solvente de glicerina, aumenta o volume sem alterar a inflamabilidade para produção de explosivos (BUD, 1994, p. 37-45).

A cultura de microrganismos se expande do âmbito alimentar, passa a ser processo de outros setores, por exemplo, militar, na produção industrial de armas biológicas e das substâncias supracitadas. No início do século XX, a química já possuía estruturas industriais para separação e transformações químicas de produtos naturais, a agroindústria estava estabelecida, a indústria farmacêutica despontava economicamente, a base teórica da microbiologia estava estabelecida, dessa

²⁶ A seringueira é um vegetal endêmico da Amazônia. As sementes foram traficadas pelo inglês Henry Wickham no século XIX, para as colônias inglesas na Malásia, Cingapura e Ceilão. A produção da seringueira fora do Brasil e a borracha sintética causaram o fim do ciclo da borracha no Brasil.

conjuntura é possível visualizar no horizonte uma união entre a indústria química, farmacêutica e a microbiologia.

A implementação do método de produção industrial baseado no controle da esterilidade do ambiente, somado à utilização de biorreatores agitados por bolhas, possibilitou a produção industrial da penicilina. Em 1928, Alexander Fleming publicou a descrição da atividade antibacteriana do fungo *Penicillium sp.*, porém apenas em 1932 os processos que possibilitaram a purificação e avaliação da pureza foram criados, ganhando escala industrial durante a Segunda Guerra Mundial, quando foi introduzida como agente terapêutico (BUD, 1994, p. 104). A invenção do reator de tanque agitado por bolhas possibilitou o crescimento de microrganismos aeróbios em condições industriais: as bolhas revolvem o líquido sem causar rompimento celular, diminuindo a força de cisalhamento, além de entregar o oxigênio necessário para o metabolismo.

Os antibióticos sintéticos, como a proflavina e prontosil, foram utilizados para tratar ferimentos e infecções bacterianas durante a guerra. A alta toxicidade sistêmica fez com que perdessem espaço para a penicilina e outros antibióticos biológicos. Nesse aspecto, a produção química estava perdendo espaço para a produção biológica. Entre os anos 1940-1960 cerca de 350 novos antibióticos haviam sido apresentados pela indústria. Desses, apenas três derivados sintéticos, a saber: isoniazida, trimetropim e metronidazol (GUIMARÃES E MOMESSO, 2010, p. 668). O mercado de antibiótico era dinâmico com alta rentabilidade, a produção crescente em curva exponencial, concomitante com a queda do preço de produção da penicilina, abria espaço para a microbiologia aplicada à farmácia.

A descoberta da riboflavina (vitamina B12) produzida por *Streptomyces sp.* fez aumentar a produção de vitaminas. Em 1950, D. H. Peterson e H.C. Murray descobriram o *Rhizopus arrhizus*, capaz de adicionar um oxigênio no carbono 11 do núcleo esteroidal da progesterona, formando um composto intermediário para posterior conversão em hormônios corticais, o que diminui o número de passos para a produção de cortisona, uma vez que não requer extremos de temperatura e pressão. (PETERSON & MURRAY, 1952, p.1871). Além de antibióticos, vitaminas e hormônios, Bud aponta para a produção de vacinas (e.g. Salk, Sabin e febre aftosa) e enzimas (e.g. renina, papaia, glicose-isomerase), manufaturadas em larga escala a partir da segunda metade do século XX por fermentação tradicional.

A ideia de vacina era conhecida desde 1796, quando Edward Jenner criou a vacina contra a varíola. O que hoje é conhecido como enzima, por sua vez, foi descoberto em 1870 (e.g., invertase, lipase, substâncias fibrinolíticas e emulsinas), o modelo chave-fechadura de enzimas foi proposto em 1891 por Emil Fisher (BUCHHOLZ & COLLINS, 1998, p. 3748-52). Embora vacinas e enzimas fossem úteis ao homem, sua produção em escala industrial aconteceu apenas a partir de 1950, com a evolução das técnicas de fermentação.

Após a Segunda Guerra houve um “despertar científico”, uma mudança na forma de fazer ciência e na interação entre ciência e sociedade. A indústria farmacêutica incorporou a microbiologia; as modificações no entendimento de doenças, em um contexto de cuidados acentuados com a saúde e bem-estar humano, bastante atrelado ao mercado, ao capital e à propaganda.

Na década de 1960, com o advento da imobilização de enzimas em leitos inertes (de vidro, titânio ou celulose), a modificação de substrato através de corrente passando pelo biorreator tornou-se possível. As principais aplicações dessa tecnologia foram na penicilina semissintética e xarope de frutose concentrado. EUA, Alemanha e Inglaterra desenvolvem separadamente, mas ao mesmo tempo, penicilina amidase imobilizada, para produção de penicilina semissintética (BUCHHOLZ & COLLINS, 2013, p. 3753-5; BUD, 1994, 107-8). Essa técnica diminui a dependência de microrganismos em biorreatores industriais: apenas uma de suas partes (uma proteína) é necessária para a modificação do substrato. Apesar de requerer processamento prévio do organismo, elimina a necessidade de separação dos componentes celulares e do meio de cultura.

Os aminoácidos também começaram a ser produzidos em processos industriais por fermentação. O Japão já tinha tradição em produzir alimentos fermentados. Desde 1875 os cientistas japoneses haviam desenvolvido uma rota para quebrar o amido do malte usando Koji (*Aspergillus oryzae*), fungo filamentosos usado para produzir sakê, molho de soja e tofu (TAKAMINE, 1914, p. 824). Após a Restauração Meiji e abertura do país, em um momento de entendimento técnico da microbiologia, o Japão se tornou um país influente no cenário global. Na década de 1960 o Japão passa a produzir e exportar L-aminoácidos (L-glutamato e L-lisina), tornando-se um centro de fermentação.

À medida que a industrialização avançou, avançou também a engenharia. No final da década de 1940, as escolas de engenharia sofreram uma reestruturação

curricular, a fim de conferir uma visão mais humanista. Bud (1994, p. 88-92) percebe a ascensão de alguns termos que designam a conexão entre as ciências biológicas e a engenharia: *human research factors* nos EUA, com significado semelhante ao termo *ergonomics* em países britânicos; *biological engineering* nos EUA tinha seu análogo britânico *medical engineering*. Na Grã-Bretanha, a fisiologia já tinha uma orientação de engenharia, que trabalhava com a física e sua interface com o corpo humano. A partir de 1960 a *medical engineering* britânica convergiu para a *biological engineering*. Embora já houvesse no pós-guerra um arcabouço pronto, a palavra “*biotechnology*” não era contemplada na academia norte-americana, e seu uso se daria informalmente nessas regiões.

A guinada do uso do nome “biotecnologia” ocorre por influência sueca. O emprego de *bioteknologi* na Suécia se aproximava da definição de *ergonomics* dos países bretões ou *human research factors* dos EUA. Na Suécia, *bioteknik* viria a ser sinônimo de *biological engineering*, uma vez que “*bioteknisk kemi*” já havia sido adotado por Orla-Jensen na Dinamarca e devido à proximidade cultural e geográfica, será reproduzido na Suécia. Carl-Goran Hedén (1920-2009), microbiologista sueco, insatisfeito com a conotação necessariamente humana da *bioteknologi* sueca, influenciou o americano Elmer Gaden (1923-2012) a mudar o nome da revista estadunidense *Journal of Microbiological Engineering and Technology* para *Biotechnology and Bioengineering* (BUD, 1994, p. 94-9). A revista havia sido fundada na década de 1950, a mudança do nome ocorre na década seguinte, Bud (1994, p.103) encontra nessa retitulação uma influência preponderante no entendimento moderno da biotecnologia, haja visto o imperialismo econômico dos EUA.

A importância que Gaden dava à tecnologia de bioprocessos e microbiologia era sustentada pela indústria farmacêutica (produção de antibióticos) e pela ameaça de guerra biológica. A indústria fermentativa, que até a Segunda Guerra atuava em regime de batelada, exigia processos contínuos para atender a demanda de produção. O medo de indução de mutação em microrganismos para produção de penicilina não levou essas pesquisas em fermentação contínua adiante.

A primeira fermentação a ser operada continuamente foi para a manufatura de levedura, mas o que deu o ímpeto para disseminar os processos contínuos foi a produção de cerveja. Embora o processo contínuo não funcionasse bem para produção de cerveja, a tentativa de biorreatores sequenciais com concentrações de leveduras diminuindo gradativamente, lançou o alicerce para a invenção da torre de

fermentação: uma única coluna, com duas bombas, uma no topo outra na base, o bombeamento ajuda a formar um plugue de levedura no meio, separando zona com alta concentração de levedura na base e baixa concentração de levedura no topo (BUD, 1994, p. 116-20).

Após a Grande Depressão e a Segunda Guerra Mundial, a engenharia foi refinada, a interface entre engenharia química e microbiologia demonstrou maior potencial comercial. O ramo da engenharia química que se ocupava com petroquímicos teve um ritmo acelerado de crescimento, com pesquisas majoritariamente direcionadas para o desenvolvimento de polipropilenos e nylon, entre 1950-1960. Ao final de 1960 esse ramo industrial foi desacelerado. Esfriado o entusiasmo pelo potencial de produtos derivados de petróleo, o interesse dos engenheiros e da indústria química se desloca do setor petroquímico para concentrar-se em áreas de vasta demanda: alimento e drogas. É justamente os avanços em antibióticos que consolidam a ligação entre engenharia química, biologia e cuidados médicos.

No cenário de instrumentação crescente, a zimotécnica foi marginalizada, a fermentação passou do processo principal da indústria para um processo auxiliar, compondo uma parte do tratamento da matéria prima em uma cadeia de transformações. O desuso desse termo exemplifica o processo dinâmico da linguagem: o contexto é capaz de influenciar as formas de comunicar, em um processo contínuo de invenção. A necessidade de uma palavra capaz de abarcar, sozinha, as técnicas em biologia nascentes após a Segunda Guerra Mundial, levou à ascensão de palavras com prefixo “bio”, mais genérico.

Embora a *biotechnology* tivesse significado de ergonomia na Suécia, nos EUA foi adotada para nomear a fronteira entre biologia e engenharia, apresentando grande dinamismo na engenharia química, com sucesso especial para a indústria de antibióticos. Outra ferramenta chave era característica do pensamento de líderes da biotecnologia, como Elmer Gaden: não era uma tecnologia aplicável apenas em países desenvolvidos, poderia ser uma ferramenta para resolver problemas de países empobrecidos. Esse argumento dará ensejo a um recorte desenvolvimentista da biotecnologia, como plano de governo dos países autoproclamados desenvolvidos.

2.3 Fase política

Nessa fase acontece a institucionalização da biotecnologia, apreendida como uma ferramenta benigna e alternativa aos problemas causados pelas aplicações industriais da química e Revolução Verde. Esta seção se dedica a apresentar, em linhas gerais, a legitimação da biotecnologia, impulsionada por políticas governamentais estatais e industriais. A biotecnologia funcionou como um coringa: comunicou ao público um novo tipo de tecnologia, ao mesmo tempo que adicionava a aplicação da genética a outros tipos de aplicações comerciais da biologia, em um único bloco. Essa mudança não é abrupta, ocorre à medida que o termo “biotecnologia” é adotado para nomear organizações (revistas, jornais, grupos de pesquisa, indústrias, programas e órgãos do governo).

Na seção 2.1 é possível perceber a aproximação entre a química e a agricultura, antes mesmo da Revolução Verde. No século XIX Justus Von Liebig (o oponente de Pasteur quanto à natureza da fermentação) comprovou, através de dados experimentais, a relação diretamente proporcional entre produtividade de vegetais e quantidade de insumos químicos colocados no solo. A partir daí, indústrias químicas começaram a investir em fertilizantes sintéticos (potássio, nitrogênio e fósforo), substituindo gradativamente o uso de fertilizantes naturais nas lavouras europeias (ALBERGONI & PELAEZ, 2007, p. 38). A tecnologia agrícola, que se desenvolveu bastante atrelada à indústria química no norte global, consolidou-se e foi difundida para os outros países após a Segunda Guerra Mundial. Em 1960, o México foi o primeiro país “subdesenvolvido” a adotar o pacote da Revolução Verde, que incluía máquinas, sementes melhoradas por técnicas genéticas tradicionais, pesticidas e fertilizantes químicos.²⁷ Com promessas de combater insetos, fungos e ervas-daninhas, aumentar a produtividade e melhorar o manejo das plantações, consequentemente aumentar a quantidade de alimento produzido (Ibidem, p. 40-1).

Ao mesmo tempo em que houve a expansão da Revolução Verde para os países empobrecidos, acontecia um despertar de pensamento sobre a necessidade de preservação ambiental em países ricos. Pott e Estrela (2017, p. 272) destacam três eventos de poluição ambiental que foram importantes para essa mudança de

²⁷Entre os anos de 1940 e 1960 a indústria produtora de insumos agrícolas teve seu ápice, após esse período uma fase intermediária iniciou, com declínio da taxa de introdução de novos princípios ativos no mercado (ALBERGONI & PELAEZ, 2007, p. 40)

pensamento: a poluição atmosférica que ocorreu no Vale do Meuse, na Bélgica, em 1930, provocando a morte de 60 pessoas; o smog em Londres, conhecido como “a névoa matadora”, que ocasionou mais de 4 mil mortes, em 1952 (este foi o primeiro acontecimento que movimentou as autoridades de saúde e a atenção quanto à qualidade do ar); a contaminação de água com metais pesados na Baía de Minamata no Japão, em 1956, que até dezembro de 1974 registrou 107 mortes oficiais. Acontecimentos como esses pressionaram o Estado no sentido de criação de leis e políticas governamentais para proteção ambiental; além disso, havia um apelo para um modo de produção alternativo, para o qual a biotecnologia era a resposta mais imediata.

Hedén e seus pares investiram sua autoridade discursiva no sentido de promover a biotecnologia em agências importantes (por exemplo, Unesco, *Food and Agriculture Organization*, *International Association of Microbiological Societies*, *World Academy of Arts and Sciences*). O discurso era marcado pelo viés benevolente da tecnologia para solucionar problemas humanos, em especial aqueles de países marcados pela pobreza. Se, por um lado, Hedén auxiliou no progresso agrícola ao desenvolver uma cepa de trigo capaz de fixar nitrogênio, além de promover reuniões para solucionar a declaração malthusiana da fome, por outro, o fermentador compacto que ele desenvolveu foi utilizado para produção de microrganismos para a guerra biológica (BUD, 1994, p. 126-8). A característica dual da tecnologia é desprezada; foca-se apenas na característica positiva, a finalidade é o progresso tecnológico: promover o desenvolvimento.

No pós-guerra, os EUA se consolidaram na liderança econômica mundial. Simultaneamente a biotecnologia adquiriu importância no mercado, universidades como MIT e UCLA criam títulos de disciplinas como *biological engineering* e *biotechnology*; outros departamentos de engenharia adotam a biotecnologia como área complementar. Políticas públicas foram essenciais na condução do ajuste entre mercado e ciência aplicada. As instituições *National Science Foundation* (NSF) e *National Institute of Health* (NIH) foram importantes no estabelecimento de programas e investimento em pesquisa pública ou privada. O NIH financiou majoritariamente pesquisas voltadas para área da saúde.²⁸ O programa *Research Applied to National Needs* (RANN), criado em 1971 pelo NSF, forneceu fundos para o desenvolvimento

²⁸ Foi o principal financiador do Projeto Genoma Humano, abordado na seção 2.4.

de pesquisas para aplicação de biologia molecular e enzimas em agricultura, saúde, indústria, energia e meio ambiente.

É importante manter visível o contexto histórico da guerra fria, que se iniciou logo após a derrota nazista, atravessando toda a fase aqui descrita. Nesse contexto, massivos investimentos de políticas norte-americanas eram direcionados para instituições de fomento à pesquisa. A Alemanha estava geograficamente próxima a países cuja Revolução Soviética havia tido êxito e rapidamente se estabiliza das consequências da derrota na guerra com ajuda de capital estrangeiro, principalmente dos EUA, temeroso da ascensão comunista. O descontentamento da população acerca da poluição industrial força a indústria química alemã a desenvolver-se pautada na minimização do impacto no meio-ambiente. A energia limpa disputava a centralidade da tecnologia com a energia nuclear, viagem interplanetária e microbiologia, com potencialidades no desenvolvimento de armas de guerra.

Políticas governamentais, principalmente na Europa, incentivaram as pesquisas de biologia molecular para entender as mutações genéticas causadas pela radioatividade. Além disso, investimentos eram feitos para utilização pacífica da energia atômica, principalmente para a produção de energia em usinas nucleares, que eram consideradas uma fonte de energia alternativa e renovável (BUD, 1994, p.186). Foi a partir desses investimentos que a atividade da endonuclease de restrição foi criada em 1960, na Suíça, por Werner Arber (1929) e colaboradores (ARBER, 2006, p. 223). As endonucleases de restrição são um tipo de sistema imunológico primitivo que permite que bactérias degradem DNA de outros organismos que as infectaram. Essa enzima funciona reconhecendo uma sequência de nucleotídeos e quebrando uma ligação entre nucleotídeos em cada fita, essa atividade depende da especificidade da sequência de reconhecimento para criar fragmentos menores ou maiores (ARBER, 1978, p. 73). Uma década mais tarde as endonucleases de restrição foram usadas para criar a tecnologia do DNA recombinante, que possibilitou a invenção dos transgênicos. Tanto as pesquisas sobre os efeitos da radiação, quanto as pesquisas para o desenvolvimento de plantas transgênicas estavam direcionadas pela necessidade de mudança dos meios de produção, principalmente no sentido de atender a pressão popular e científica para o desenvolvimento de uma tecnologia sustentável (ALBERGONI & PELAEZ, 2007, p. 43-50).

Outro país que constatara a necessidade de diminuir o impacto ambiental foi o Japão. Devido ao seu pequeno tamanho as indústrias ocupavam espaços físicos

próximos, os efluentes dividiam os mesmos cursos de água, causando mortes de pessoas por envenenamento de metais pesados entre os anos 1960 e 1970 (BUD, 1994, p. 145). Entre as décadas de 1960 a 1980 o Japão experimentou crescimento industrial que posiciona o país entre as três maiores rendas globais, superado apenas por URSS e EUA. Ao mesmo tempo, a preocupação com o ambiente passou a ser considerada na esfera pública e privada. A utilização de biomassa para obtenção de energia era considerada uma fonte limpa e renovável, assim, assumiu papel importante na política e economia.

A tradição em fermentação era importante para o comércio interno, correspondendo à alimentação local (tofu, komesu, shoyu, missô, saquê, mirin, natto, okara), e para exportação, a partir da década de 1950, como mencionado na fase anterior. No início da década de 1970, o Estado japonês cria comitês para auxiliar no desenvolvimento industrial. Os programas implementados foram responsáveis por modernizar a fermentação, acelerando a tecnologia de enzimas e o programa para implementação dos biorreatores (BUD, 1994, p. 147). O Japão foi pioneiro em utilizar enzimas para hidrólise de materiais lignocelulósicos, que facilitaria a produção de etanol por processo de sacarificação e fermentação simultânea (RESENDE, 2017, p. 286). Esse país teve uma ascensão rápida na década de 1970, e com a criação da mecatrônica ameaçou a hegemonia norte-americana.

Em resposta à crise do petróleo de 1974 as políticas de desenvolvimento do Japão atentaram para a Tecnologia da Informação e as *Ciências da Vida*.²⁹ Estas últimas estavam centradas na aplicação de fenômenos biológicos na indústria, medicina, agricultura e meio-ambiente. Tal qual a *biotechnology* e *biotechnic*, as ciências da vida foram úteis como conceito político para estabelecer programas de pesquisas industriais. Nessa década existem três análogos em três continentes: ciências da vida na Ásia, biotecnologia na Europa e *bioresources* na América (BUD, 1994, p. 148). Os três conceitos promoviam a aplicação das descobertas biológicas ao desenvolvimento industrial. Eles convergiram para “biotecnologia” no final da década de 1970, tornando-se um tema conhecido e discutido no meio científico, industrial e popular. Bud analisa aspectos da influência alemã e japonesa na consolidação e aquisição de significado da biotecnologia através do dimensionamento político, em um contexto de ascensão econômica desses dois países no pós-guerra,

²⁹ Original: Life Sciences

fortemente influenciados por políticas norte-americanas. O modelo estadunidense é notadamente frutífero, promoveu uma mudança na forma de relacionar a ciência e a organização industrial. Políticas semelhantes às norte-americanas foram adotadas por outros países.

A indústria química alemã não contava com infraestrutura suficiente para expandir a fermentação na segunda metade do século XX, já que havia focado seus esforços em química sintética e fermentação alcoólica. Ao passo que nos EUA e Japão tanto a engenharia química, quanto a sua intersecção com aplicações da biologia estavam bem estabelecidas e em ascensão. Nesse sentido, em 1972, a Bayer estabeleceu o *Biotechnikum*, centro de pesquisas em engenharia biológica. Em seguida a DECHEMA (*Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen*),³⁰ comissionada ao *Bundesministerium für Forschung und Technologie* (BMFT),³¹ estudou maneiras de sanar a referida defasagem. Nesse mesmo ano publicou um relatório que define como uma de suas frentes de atuação a biotecnologia, “concernente ao uso de atividades biológicas na aplicação da microbiologia e bioquímica em conjunção com a técnica química e processos de engenharia”. A Alemanha terá especial importância na determinação da biotecnologia, através da DECHEMA, que compõe a organização de países Europeus unidos sob o título *European Federation of Biotechnology*, do qual também faziam parte a *Britain Society of Chemical Industry* e *Institut de Chimie Industrielle Française*. A definição de biotecnologia desse grupo, de 1981, espelha a definição proposta para o DECHEMA: “biotecnologia é o uso integrado das ciências bioquímica, microbiologia e engenharia a fim de alcançar a aplicação tecnológica das capacidades dos microrganismos, cultivo de células de tecido e suas partes”³² (BUD, 1994, p. 151-3).

O surgimento do periódico americano *Biotechnology and Bioengineering* em 1964, fundado e reintitulado por Gaden, foi concomitante com o surgimento do grupo *Biochemistry and Biotechnology*, na Alemanha, fundado por Karl Bernhauer. A semelhança vai além da palavra *biotecnologia*: ambas organizações já existiam e

³⁰ Sociedade Alemã de Aparatos Químicos, que atualmente é conhecida como *Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie* (Sociedade para Engenharia Química e Biotecnologia). O principal propósito dessa organização não governamental é de dar suporte ao desenvolvimento de tecnologias químicas, biotecnologia e proteção ambiental; preenchendo o espaço entre a pesquisa básica e a aplicação industrial (DECHEMA, 2020).

³¹ Ministério Federal de Pesquisa e Tecnologia da Alemanha.

³² Original: “biotechnology is the integrated use of biochemistry, microbiology and engineering in order to achieve the technological application of the capabilities of microorganisms, cultivation of tissue cells and their parts thereof”.

mudam o nome para acomodar novas tecnologias biológicas. Essa mudança, em ambos os casos, é bem sucedida e aumenta a assiduidade dos leitores. Em 1967 Hanswerner Dellweg, colega de formação de Bernhauer, torna-se diretor do importante centro de pesquisa em fermentação *Institut fur Garungsgewerbe*, e no sentido de abraçar um escopo além da cervejaria/fermentação alcoólica, adiciona *Biotechnologie* ao nome do instituto, em 1967 (BUD, 1994, p. 149-50). Essa semelhança entre Estados Unidos e Alemanha também pode ser notada na criação do BMFT, para suporte à indústria, regulando e financiando pesquisas, com estrutura semelhante ao modelo americano de pesquisa aplicada (GOTTWEIS, 1998, p. 128).

A cristalização do conceito de biotecnologia aconteceu em um cenário de instabilidade política, causada pela iminência de uma terceira guerra mundial, explosão populacional e necessidade de aumento na produção de alimentos. No que toca à necessidade de produção de alimentos, a Revolução Verde tornara a produção agrícola uma extensão da indústria. Fertilizantes de solo, pesticidas e máquinas agrícolas, componentes da modernização do campo, resultaram no aumento da produção de alimentos, mas a partir de 1970 esse modelo passou a apresentar sinais de esgotamento. Cientistas identificaram no uso de insumos químicos no campo a fonte de problemas ambientais, que inclui desde problemas no crescimento em outros vegetais, diminuição da população de insetos, até de animais de topo de cadeia, incluindo o homem. A publicação do livro *Silent spring* em 1962, de Rachel Carson (1907-1964), que retrata a redução da população de aves devido ao uso do DDT,³³ é um marco da crítica ambientalista ao agronegócio. A biotecnologia despontou na Revolução Verde a partir da técnica do DNA recombinante, com a promessa de uma diminuição gradativa do uso de pesticidas, criando plantas capazes de resistir às pragas e aos pesticidas agrícolas (ALBERGONI & PELAEZ, 2007, p. 41).

A biotecnologia, além de ser uma tecnologia alternativa, em contraposição àquelas que destroem a terra, sanaria também a fome do mundo através do aumento da produtividade no campo. O *Rhizobium spp.*, descoberto no início do século XX, é uma bactéria que converte nitrogênio atmosférico para amônia, em um fenômeno chamado “fixação biológica do nitrogênio”. Essa bactéria coloniza a raiz de plantas, formando nódulos facilmente identificáveis. As espécies de rizóbio diferem quanto a

³³ Abreviação de diclorodifeniltricloroetano, substância usada no Brasil entre os anos 1930 e 1940, em campanha de saúde pública, para aspersão de solução de DDT em domicílios contra malária (LIGNANI, 2018).

seu local de aplicação (que tipo de planta irá colonizar, clima, umidade, solo), o custo de produção é mais elevado se comparado à produção sintética, já que a amônia é um efluente da extração do petróleo e requer apenas o processo de separação. No momento em que a amônia sintética teve o preço inflacionado, devido à crise do petróleo, o rizóbio ganhou espaço. A produção poderia ser feita por cultivo da bactéria em meio sólido, seguido de suspensão bacteriana em solução. Esse processo foi bem adotado em países como o Brasil, nas lavouras de soja, cana-de-açúcar e feijão.

A solução para o problema da necessidade de proteína para alimento humano viria da fermentação. Produtos como Toprina, Pruteen, SCP (*Single Cell Protein*) são microrganismos (bactéria no caso de Pruteen e levedura nos outros), com potencial utilidade como fonte de proteína para alimentação humana. O termo SCP foi criado pelo MIT para aumentar a aceitação do produto. Dentre os possíveis substratos para cultivo estavam os excedentes industriais de amido, banana e petróleo. Crescer microrganismos em petróleo resolveria o problema dos resíduos da petroquímica. Banana e açúcares poderiam ser usados, diminuindo o desperdício nas colônias britânicas. A ideia teve grande adesão inicialmente, com o investimento de empresas como BP, Shell, ICI e Hoechst. Dentre os produtores merecem destaque Japão, França, Alemanha e Grã-Bretanha, que produziram esse tipo de alimento desde 1950. A produção de soja passou a ser competitiva nesse nicho de alimentos de proteína não convencionais, Argentina e Brasil eram os principais fornecedores (BUD, 1994, p. 133-40). A produção de SCP e similares foi gradativamente abandonada.

Outra aplicação da biotecnologia seria para obtenção de energia. Durante a crise do petróleo, o álcool foi utilizado para diluir ou, em alguns casos, substituir, a gasolina. O que favoreceu países agrícolas como o Brasil. O suporte ao programa de incentivo à produção alcoólica foi anômalo na história da política governamental industrial brasileira. A fermentação alcoólica de produtos agrícolas passa a ser explorada, investimentos em pesquisas no sentido de aumentar a produtividade do processo são feitos a partir de 1970. Em 1974, quando o Brasil vivia o regime militar, Urbano Stumpf, um magnata da cana-de-açúcar, persuade Geisel a incentivar a produção de álcool, no sentido de combustível para carros e substituição do petróleo. Dois anos depois foi criado o PROÁLCOOL, sob o domínio do PLANALSUCAR (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar), por sua vez vinculado ao Ministério da Indústria e Comércio (SILVA, 1989, p. 81). Essa foi a porta de entrada para a biotecnologia no Brasil, que é explicitada em políticas governamentais a partir

de 1980 em organizações como Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), fundada em 1972; Cenargen (Centro Nacional de Recursos Genéticos e Biotecnologia) associado à Embrapa, fundado em 1976; Pronab (Programa Nacional de Biotecnologia), fundado em 1981; Abrabi (Associação Brasileira de Empresas de Biotecnologia), 1986; PPBA (Programa de Pesquisa em Biotecnologia para a Agropecuária), 1986; SBB (Sociedade Brasileira de Biotecnologia), 1988.

A biotecnologia era uma tecnologia de países desenvolvidos, que poderia ajudar países em desenvolvimento, em sua maioria localizados nos trópicos, ricos em biodiversidade e matéria prima. No entanto, no caso do SCP, a fonte de proteína passou a ser destinada ao gado de países ricos, cuja demanda por proteína crescia mais do que a demografia (BUD, 1994, p. 125). Além disso, os parâmetros de segurança para alimentos de gado são menos rigorosos em comparação à segurança para alimento humano.

O selo desenvolvimentista da Revolução Verde, endossada por técnicas biotecnológicas, implicou na ruína de pequenos agricultores, que não podiam arcar com custos de fertilizantes e dispêndio de tecnologia, e como consequência desencadeou o deslocamento rural. Países chamados “em desenvolvimento” ou “subdesenvolvidos” seguiram o modelo de biotecnologia de países da Europa e EUA, o desenvolvimento aconteceu com grande dependência de capital estrangeiro, retardou (muitas vezes inibiu) o desenvolvimento de uma abordagem tecnológica local e própria. Esse recorte comercial da biotecnologia levou à privatização dos ativos de genética pública, controle da indústria local por países desenvolvidos e concentração da pesquisa e comércio com alto valor de mercado. Na farmácia, a consequência desse novo recorte foi relegar doenças de países tropicais (como malária, doença de Chagas, dengue, leishmanioses, esquistossomose e hanseníase) ao segundo plano. O entusiasmo com o qual a biotecnologia foi recebida e difundida, passa a ser substituído por desconfiança.

As políticas em biotecnologia continuam. Atualmente a biotecnologia é uma área estratégica em todos os governos como “tecnologia habilitadora”.³⁴ As políticas de Estado da China elevaram o patamar econômico do país e desenvolveram a indústria biotecnológica, tornando-a uma potência relevante no mercado atual. Em

³⁴ Conceito atrelado ao da “indústria 4.0”, são tecnologias que permitem a criação de produtos ou processos diferentes dos que estão em circulação no mercado, mais eficientes e acompanhando a onda de digitalização.

contrapartida, nessa fase procurou-se expor a maneira como a biotecnologia foi adotada e institucionalizada. Na fase seguinte há uma saliência da genética em relação a outras áreas, de forma que tais políticas serão tratadas após uma breve exposição da forma como a genética adentra a biotecnologia.

2.4 Fase genética e biomolecular

As fases descritas anteriormente tratam da relação desenvolvida entre química e biologia no tocante às aplicações comerciais, em que a fermentação desempenhou um importante papel para a produção de moléculas biológicas ao lado de tecnologias de extração e purificação de biomoléculas. Agora será adicionado um terceiro elemento importante para a construção do paradigma biotecnológico: a genética.

A genética é gestada na biologia, usa modelos matemáticos, estatísticos e químicos para explicar os fenômenos naturais em seu interior. A genética molecular ascendeu como um elemento centralizador da agenda científica: desde a criação da biologia molecular, que orbita o assunto do gene, reverberando em disciplinas já bem estabelecidas como a microbiologia e a bioquímica. A fase genética da biotecnologia tem como marco inicial a criação da técnica de DNA recombinante em 1973, embora haja discussões anteriores relevantes. Algumas dessas discussões serão retomadas, a fim de entender o movimento de incorporação da genética pela biotecnologia, sendo a imagem desta indissociável dos reflexos daquela. A relação entre sujeito/cientista, objeto de pesquisa e ambiente na pesquisa científica é tratada nessa fase a fim de compreender a penetração da genética na biotecnologia, mas receberá maior atenção nas partes II e III deste trabalho.

A genética se estrutura a partir das ideias de evolução e hereditariedade. No século XIX, Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913) conjecturam separadamente, mas ao mesmo tempo, quanto à evolução das espécies. É também nesse século que o monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884) propõe teorias sobre a transmissão das características hereditárias, introduzindo o conceito de fatores para designar o determinante das características constatadas em certa população. Outros cientistas, contemporâneos de Mendel, realizaram experimentos semelhantes, mas sem o tratamento estatístico proposto pelo monge (ARCANJO, 2020, p. 1). As teorias sobre a transmissão de caracteres hereditários foram criticadas e testadas, dois críticos se destacam: William Bateson (1861-1926) e Thomas Hunt

Morgan (1866-1945). Bateson se dedicou a reproduzir e validar os experimentos de Mendel, mas sobretudo buscou as exceções das leis mendelianas, propondo explicações e novas leis que pudessem abarcar as exceções (MARTINS, 2006). No caso de Morgan, ele acreditava no papel do citoplasma no desenvolvimento, seu posicionamento crítico foi atenuado a partir de 1911, quando começou a estudar a herança mendeliana em *Drosophila sp.* e a usar seus experimentos para corroborar as teorias mendelianas (ARCANJO, 2020).

Em 1905, o termo “*genetics*” foi criado por Bateson, quatro anos depois o botânico dinamarquês Wilhelm Johannsen (1857-1927) cunhou o termo “gene”, dando uma nova roupagem ao fator mendeliano e adicionando as distinções de fenótipo e genótipo. Pouco depois, Morgan,³⁵ então professor de zoologia na Universidade de Columbia, em Nova York, publica o livro *Mechanism of mendelian heredity* (1915), fazendo um resgate das ideias de Mendel e relacionando o conceito de gene ao de cromossomo.³⁶ Na década seguinte, o livro *The theory of the gene* foi publicado em resposta às críticas sobre o método da genética. As descobertas de Morgan formam as bases da genética moderna, o que permite constatar a autoridade de seu discurso. Embora a teoria morganiana explicasse a hereditariedade com base em padrões estatísticos e matemáticos, conseguindo até prever características das próximas gerações, ele não era capaz de explicar a natureza química do gene (ARCANJO, 2020, p.4-7).³⁷

Evelyn Fox Keller (1995, p. 9) situa na escola morganiana a formação de um novo modo de falar sobre o gene, que posiciona o gene no centro da vida. Mesmo sem base experimental ou teórica robusta o suficiente para definir “gene” precisamente, os geneticistas de primeira geração atribuíam a ele a base para existência da vida, o determinante da ação de biomoléculas. Esse discurso se espalha para outras áreas do conhecimento, embora o conceito de “molécula da hereditariedade” tivesse caráter teórico na primeira metade do século XX. O *código genético* seria o centro de onde emana a organização, a “ação do gene”, a causa do

³⁵Laureado com o prêmio Nobel de fisiologia/medicina em 1933, por confirmar, através de estudos estatísticos da hereditariedade de moscas de fruta, que os genes estavam contidos nos cromossomos, no núcleo celular.

³⁶ O termo cromossomo foi criado entre 1882 e 1885, por Walther Flemming e Eduard Strasburger, que descobrem estruturas no núcleo das células intensamente coradas.

³⁷ Atualmente há muita informação sobre a estrutura do gene, suas ligações químicas e a composição molecular, entretanto a dificuldade em definir precisamente o que é o gene perdura (cf. JOAQUIM & EL-HANI, 2010).

desenvolvimento e manutenção da vida. Foi essa construção da linguagem científica que ajudou a genética a firmar-se como disciplina independente.

A ciência só existe a partir da linguagem. Parte de um imaginário pronto em que o sujeito/cientista se encontra mergulhado e constrói ativamente outro imaginário; ao mesmo tempo que recebe influência do ambiente, o influencia. Uma das operações dessa circunvolução do discurso científico, que ao mesmo tempo é restringido por um arcabouço teórico *a priori*, quanto redefine ou endossa um modelo de pensamento, são os “atos de fala”³⁸ propostos por J. L. Austin e aplicados por Keller na linguagem científica (KELLER, 1995, p. X); especificamente ao caso da genética: “discurso da ação do gene”. Essa construção da linguagem conferiu à nova disciplina um caráter expansionista:

O progresso anterior (dos geneticistas) tem sido surpreendente e não devido à futilidade de seus esforços, mas pelo fato de estarem cientes de seus poderes primordiais de apropriação, que os geneticistas agora estão à procura de novas conexões. Eles lançaram seus olhos em nós, na mecânica do desenvolvimento³⁹ (SPEMANN *apud* KELLER, 1995, p.12)

Diante da perspectiva do “discurso da ação do gene”, é necessário evidenciar que o processo de construção foi paulatino, inicialmente sofreu resistência de parte da comunidade acadêmica, levando décadas para de fato influenciar a agenda científica. Tal construção é concomitante com o movimento da biologia para fora do núcleo acadêmico, na tentativa de estabelecer a biologia no mercado após a Primeira Guerra Mundial, quando a química já estava bem estabelecida devido a sua participação prática durante a guerra (BUD, 1995, p. 64-5). A comunicação com o público é feita em torno da genética, transmitindo o enaltecimento do gene, cuja discussão era voltada principalmente para humanos. Aplicando o entendimento da seleção genética e hereditariedade, seria possível resolver os problemas da humanidade, mostrando-se alinhado com as ideias de eugenia.

A eugenia não era uma ideia recente, toma forma no início do século XX⁴⁰ e sua relação com o “discurso da ação do gene” é evidente ao colocar o gene como

³⁸ Original: “*speech acts*”.

³⁹ Original: “The previous progress (of geneticists) has been amazing and it is not from feeling of futile labours but rather from being aware of their paramount powers of appropriation that geneticists now are on the look-out for new connexions. They have cast their eye on us, on Entwicklungsmechanik.”

⁴⁰ A primeira conferência internacional de eugenia aconteceu na Inglaterra em 1912, as discussões se concentraram na hereditariedade baseada na seleção artificial. No ano seguinte, houve uma

uma unidade ativa, coordenadora do funcionamento do organismo, capaz de conferir características desejáveis. A eugenia compreendida a partir da perspectiva fascista, de ativamente diminuir a diversidade favorecendo determinados caracteres, é problemática no sentido ético e se fecha em si mesma: supondo um mundo completamente homogêneo (onde as condições ambientais se mantêm as mesmas independente do lugar que o organismo ocupa), um gene, ou conjunto de genes, é considerado melhor que outro a partir de uma comparação; em uma população homogênea essa comparação é inviabilizada, a população sem variabilidade genética estará sujeita a pressões negativamente seletivas, que pode levar à sua extinção. Assim, o argumento de conservar a diversidade em prol da seleção natural é a base para o combate ideológico a regimes antidemocráticos empreendido por Huxley, Hogben⁴¹ e Haldane.

Na visão dos três H, a biotecnologia desempenharia parte fundamental em uma sociedade democrática, igualitária e equilibrada, com a aplicação da bioquímica e genética para controle populacional (SOMMER, 2014, p. 562). Embora tivessem diferenças, a ideia de biotecnologia dos cientistas anglo-saxões tinha um direcionamento “bio-estético”, voltado ao culto do orgânico e natural, e fundamentado na democracia. A ciência, neste caso, é fortemente influenciada pelo posicionamento político dos cientistas.

Voltando às concepções de operações de linguagem, Keller evidencia a importância da *metáfora* para a construção do discurso da ação do gene. As metáforas, importantes no entendimento da efetividade da linguagem científica, compõem o pano de fundo em que conjecturas são propostas e aceitas. A aceitação de uma conjectura sinaliza seu alinhamento com ideologias, teorias e leis que a antecedem; a sua capacidade transformante (i.e., alterações na agenda científica, nos modelos estabelecidos ou no método) é uma das maneiras de avaliar a efetividade do discurso. Assim, metáforas são consequências culturais que, quando aceitas em teorias científicas, são capazes de revelar características do cientista proponente e da comunidade em que está inserido; para mais além, pode levar a transformações na própria atividade científica.

movimentação significativa de profissionais e intelectuais italianos comprometidos com a causa do “desenvolvimento” racial (QUINE, 1990, p. 16-8).

⁴¹ O engenheiramento genético em humanos aparece como “*biotechnology*” no discurso de Julian Huxley. O mesmo termo aparece em Hogben, porém voltado para a agricultura e carregando uma visão bioestética de interdependência entre ciência e sociedade (BUD, 1995, p. 162).

O método reducionista foi emprestado da física pela biologia, repelindo a complexidade e deliberadamente descontextualizando o objeto de estudo a fim de simplificar a análise. No início do século XX, o arcabouço científico favorecia e centralizava as proteínas⁴² como componente principal da vida no metabolismo de organismos, essas biomoléculas tinham isolamento mais simples e muitas informações sobre a estrutura e função de enzimas estavam disponíveis, além da crescente importância comercial. Tal normativa passará a dividir espaço com o discurso da genética de enaltecimento do gene, levando à propositiva de *1 gene: 1 enzima*⁴³ de George Beadle (1903-1989)⁴⁴ e Edward Tatum (1909-1975) em 1940: um gene tem como função fazer uma enzima (proteína). Ao considerar essa propositiva é possível constatar o *status* quase igualitário entre genes e proteínas, embora as proteínas tivessem dados empíricos mais concretos e histórico mais longo de pesquisa. O “discurso da ação do gene” é promovido pela primeira geração de geneticistas como uma estratégia de afirmação da disciplina e terá consequências em todas as ciências naturais.⁴⁵

No mesmo ano em que Beadle e Tatum publicaram sua teoria, Joshua Lederberg (1925-2008) demonstrou que microrganismos poderiam trocar material genético entre si (BUD, 1994, p. 167), identificando mecanismos da recombinação genética em bactérias. Esse processo foi comparado à reprodução sexual e entendido nos termos da “metáfora da bela adormecida” em que a bactéria doadora do material genético seria análoga do espermatozoide, ativo, portanto F+, e a receptora comparada ao óvulo, passivo e F-. Essa metáfora é bastante presente em teorias da primeira metade do século XX e está de acordo com a ideologia machista vigente. O material genético, transmissível, era relacionado às proteínas. Apenas em 1944 que a recombinação, ou princípio transformante⁴⁶, seria associado à molécula de DNA por

⁴² As proteínas são estudadas desde o século XIX, técnicas como cromatografia, eletroforese e espectrofotometria estavam bem estabelecidas.

⁴³ Talvez considerar “enzima” ao invés de “proteína”, este é um conjunto mais amplo que engloba aquele, esteja relacionado com a importância econômica dada às enzimas na década de 1940.

⁴⁴ Aluno de Morgan na Universidade da Columbia.

⁴⁵ Esse discurso levou a novas descobertas que ofuscaram a embriologia, iluminando o assunto do gene e obscurecendo outras partes do organismo (cf. KELLER, 1995, p. 3-42).

⁴⁶ O princípio genético da transformação é um tipo de recombinação genética. Esse princípio foi proposto por Frederick Griffith, bacteriologista britânico, em 1928. Na tentativa de encontrar uma vacina para a pneumonia, conduziu experimentos usando *Streptococcus pneumoniae* inoculado em ratos. A bactéria formava colônias de aspecto liso (S) devido à presença de polissacarídeo em sua parede celular, tornando-se virulenta. Quando na ausência do polissacarídeo, tomava aspecto rugoso (R) e era inofensiva. Misturadas as bactérias R e S, a última desnaturada pelo calor para perder a capacidade

Avery e colaboradores.⁴⁷ Mesmo assim, seus resultados não foram imediatamente aceitos pela comunidade científica (BATISTETI, 2010), muitos cientistas persistiam nas proteínas como responsáveis pela herdabilidade e expressão de características no fenótipo. Apenas na década de 1950 que o DNA seria validado e aceito como a molécula que carrega a *informação genética*.

Vencer a resistência da comunidade científica, que aceitava a teoria das proteínas como componente principal da vida, requereu diversas validações, dentre elas uma se destaca. Em 1952, Alfred Hershey e Martha Chase usaram o bacteriófago T2⁴⁸ cultivado em dois meios de cultura, um contendo fósforo radioativo (P32) e outro contendo enxofre radioativo (S35). Foi misturada uma concentração conhecida de células de *Escherichia coli* (cultivada em meio não radioativo) a esses meios de cultura. Após os bacteriófagos realizarem a infecção das células bacterianas, o cultivo foi transferido para dois tubos e submetidos à agitação e centrifugação, a fim de separar as células bacterianas do capsídeo viral. O capsídeo viral, por ser mais leve, estava no sobrenadante do tubo, e as células bacterianas, de maior densidade, no precipitado. A análise, para constatação do DNA como material que contém a informação genética, baseia-se na detecção das moléculas marcadas radioativamente, provenientes do vírus. O fósforo é incorporado na ligação fosfodiéster do DNA, enquanto o enxofre é componente de proteína do capsídeo viral. No tubo com fósforo radioativo foi constatada sua presença apenas no precipitado. O enxofre do outro tubo foi encontrado apenas no sobrenadante (WATSON *et al.*, 2015, p. 23). Esse experimento indicou que o material genético, necessário para a replicação viral, havia sido introduzido na célula hospedeira através do DNA e não de proteínas, corroborando as ideias de Avery.

A composição do DNA quanto a bases nitrogenadas, açúcares e fosfato era conhecida na década de 1950. Com o experimento de Hershey e Chase, o DNA entrou

infectante, em seguida injetadas em ratos, os ratos desenvolviam pneumonia e morriam. R se transforma em S através do que Griffith denominou "princípio transformante".

⁴⁷ Avery, MacLeod e McCarty realizaram experimentos com os mesmos tipos de bactérias de Griffith (R e S). Plaquearam bactéria R, que formou colônias de aspecto rugoso; e extrato celular de bactéria S, que não formou colônias. Os pesquisadores misturaram o extrato de bactérias S com a suspensão de bactérias R e seguiu plaqueamento, resultando no crescimento de colônias lisas. Outro experimento foi realizado com a mistura (R + extrato de S), que foi plaqueada em três placas diferentes cada uma contendo uma enzima: protease, RNase e DNase. O crescimento das colônias foi observado apenas nas placas com RNase e protease, indicando que nem proteínas e nem RNA são responsáveis pela transformação, o que indica que o DNA seria o "princípio transformante" (cf. AVERY, MACLEOD e MCCARTY, 1944).

⁴⁸ Vírus que infecta *E. coli*.

no contexto de corrida tecnológica. Linus Pauling (1901-1994) e Robert Corey (1897-1971) já haviam proposto uma estrutura para o ácido nucleico, que consistia em três cadeias entrelaçadas, com o grupo fosfato voltado para o interior e as bases voltadas para o exterior. Essa estrutura é refutada no artigo de Watson e Crick, publicado na *Nature* em 25 de abril de 1953.

Usando as imagens de cristalografia de raio-X do DNA produzidas por Rosalind E. Franklin (1920-1958), química britânica, foi possível que Watson determinasse a forma espiral, e Crick visualizasse a simetria dos cristais das hélices em sentidos contrários. No artigo da *Nature*, de apenas uma página, eles sugerem a molécula de DNA com duas cadeias de moléculas em sentidos contrários,⁴⁹ formando uma dupla hélice, ligada em seu interior por bases nitrogenadas (adenina, timina, guanina e citosina) que se conectam através de ligações de hidrogênio. Ainda nesse artigo é indicado as medidas da dupla hélice⁵⁰ e a ligação entre pares de base específicos na forma tautomérica: adenina (purina) com timina (pirimidina) e guanina (purina) com citosina (pirimidina) (WATSON & CRICK, 1953, p. 737-8).

A proposição de Watson e Crick foi rapidamente aceita por possuir relações adequadas com as teorias químicas de forças intermoleculares e ser provada através da imagem de cristalografia, método bem consolidado na experimentação química. A determinação da estrutura do DNA foi significativa para o desenvolvimento de pesquisas na área da biologia molecular e foi recebida com euforia pela comunidade científica, o que acentuou a relevância dada ao gene.

A teoria da informação e a linguagem de programação são usadas como metáforas pela primeira vez na biologia por Watson e Crick, depois amplamente difundida na linguagem das ciências biológicas. Essa compreensão do gene ajudou a criar uma imagem linear do DNA, assim os cromossomos comparam-se a um programa de computador, com sua linguagem própria de nucleotídeos ao invés de zeros e uns, e o gene às linhas de comando, contendo as instruções requeridas para o desenvolvimento (KELLER, 1995, p. 18-22).

⁴⁹ 5'-3' e 3'-5', ou seja, em uma extremidade de uma das cadeias da molécula de DNA há uma hidroxila livre no carbono 5 da primeira pentose, na outra extremidade há uma hidroxila no carbono 3 da última pentose, esse padrão é repetido na outra fita, com sentido inverso.

⁵⁰ Uma espiral de 20 angströms (Å) de diâmetro, que equivale a 20×10^{-10} m. A distância entre as bases da mesma fita é de 3,4 Å. Cada giro da dupla hélice é constituído por 10 pares de base, de forma que possui 34 Å.

Após a proposição do modelo do DNA, as ações por ele executadas passam a ser o objetivo principal das pesquisas em biologia molecular e genética. A replicação semiconservativa, em que cada fita do cromossomo é o modelo para as células filhas é provada por Matthew Meselson (1930) e Franklin W. Stahl (1929) em 1958. O experimento utilizou células de *E. coli* marcadas com nitrogênio radioisotópico (N14 e N15) disponíveis no meio de cultura.⁵¹ É perceptível que o discurso da ação do gene levou à construção de um aparato científico para elucidar suas operações. A produção de proteínas/enzimas passa a ser entendida como consequência da ação do gene, sendo estudada principalmente em *E. coli*.

O metabolismo de lactose por β -galactosidase em *E. coli* deu a base para formular o conceito de *reguladores da ação* de genes estruturais,⁵² esse mecanismo ficou conhecido como *operon Lac*. A ação do gene não se limitava à produção de proteína, mas também à autorregulação baseada em condições exógenas à célula. Aqui começa a haver ruptura com o “discurso da ação do gene”. A transcrição do DNA e o conceito de RNA mensageiro para a produção de proteína foi introduzido pelos cientistas franceses François Jacob (1920-2013) e Jacques Monod (1910-1976), quando publicaram o artigo “Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins” em 1961, dois dias antes que Crick e colaboradores publicarem “General nature of genetic code for proteins”, nos EUA; o que sugere uma alteração da agenda científica, voltando-se para a relação entre gene e mecanismos de produção de proteínas.

Dentre as proteínas, a classe mais estudada entre os anos 1960 e 1970 foram as enzimas. As enzimas de restrição, ou endonucleases de restrição (mencionadas na seção 2.3. Fase política), ganham destaque por contribuir com o desenvolvimento da técnica de DNA recombinante. Em 1972, Paul Berg e colaboradores desenvolveram o método para juntar o DNA de organismos diferentes. Um segmento

⁵¹ As bactérias foram cultivadas em meio contendo cloreto de amônio como fonte de nitrogênio 15, por 14 gerações. No novo meio de cultura, o cloreto de amônio disponível era 10 vezes mais concentrado em relação ao meio anterior. Uma alíquota de células da cultura com N15 foi retirada. Na fase exponencial o meio de cultura foi trocado de forma que a fonte de nitrogênio disponível fosse N14. Em intervalos geracionais amostras foram aliqüotadas. Todas as amostras tiveram as células rompidas para liberação do DNA e foram centrifugadas em gradiente de densidade. Usando imagens de bandeamento foi possível constatar que as fitas de DNA com N15 irão permanecer ao longo das gerações, cada fita filha receberá uma subunidade parental de fita simples, finalmente o ato replicativo faz dobrar as moléculas de DNA (MESELSON & STAHL, 1958, p. 170-1). Tradução minha.

⁵² Genes estruturais codificam os aminoácidos de um polipeptídeo, cuja expressão é regulada por uma sequência de DNA não codificante de aminoácido, chamada *operon*.

de genes do fago λ foi incorporado no plasmídeo operon Lac da *E.coli*, inserindo-os no DNA do vírus símio SV40. O objetivo final do estudo de Berg era desenvolver um modelo inicial para introduzir informação genética em células de mamíferos, por isso a escolha do vírus SV40, capaz de entrar no genoma de mamíferos e ser transmitido para a próxima geração. A ideia era incluir genes de interesse em moléculas de DNA SV40, que serviria como vetor para o DNA de mamífero. O método proposto envolve a clivagem do DNA circular com enzima de restrição endonuclease RI, conversão do DNA SV40 circular para forma linear, adição de fragmento com sequência conhecida de DNA simples fita na extremidade 3' de uma das fitas do DNA linear usando a enzima desoxinucleotidil transferase terminal, adição de fragmentos de DNA complementares aos fragmentos mencionados na dupla fita do plasmídeo do operon, anelamento das duas moléculas de DNA para formar uma estrutura duplex e finalmente ligar os DNAs com DNA polimerase e DNA ligase (JACKSON, SYMONS & BERG, 1992, p. 2904).

O objetivo final dos criadores dessa técnica era o engenheiramento genético de mamíferos, potencialmente humanos. O potencial de produção de substâncias comerciais e organismos geneticamente engenheirados e difundidos no ambiente trouxe a necessidade de discussão das implicações. Uma preocupação com o impacto da atividade humana no meio ambiente começa a ganhar destaque internacional uma década antes da criação da técnica de DNA recombinante. O livro de Rachel Carson, bióloga norte-americana, sobre o perigo de pesticidas sintéticos no manejo agrícola e o *The population bomb* (1968) de Anne Ehrlich (1933) e Paul R. Ehrlich (1932), sobre os efeitos devastadores da população humana crescente nos recursos do planeta, marcaram a década de 1960.

Em 1967, Leon Kass (1939), estudante de graduação de Harvard, criou um grupo de discussão sobre os benefícios dos avanços em biomedicina. Em 1970, Leon Kass, então secretário do Comitê de Ciências da Vida do *U. S. National Research Council*, escreve a Paul Berg sobre a responsabilidade profissional de tornar o público consciente sobre a engenharia genética e cogita enviar cartas à *Science* e outras revistas científicas. Berg defendia os usos da engenharia genética de um ângulo desenvolvimentista: para produção de antibióticos, hormônios, fonte de comida e cura de doenças; balanceava, porém, com as consequências desastrosas do uso da tecnologia: como desenvolvimento de bactérias resistentes a antibióticos e a conversão de organismos inofensivos em tóxicos (BUD, 1994, p. 175).

Usar a engenharia genética sem estudo prévio dos possíveis efeitos era comparado à aplicação da fissão nuclear na bomba atômica. Escritores e cineastas de ficção científica, canais de rádio e intelectuais se debruçaram no tema da engenharia genética, alguns de forma sensacionalista, difundindo conceitos genéticos. Os filmes *The creation of the humanoids* (1962), *Amphibian man* (1962), *Quatermass and the pit* (1965), *Project X* (1968), *The mutations* (1974), *The boys from Brazil* (1978), *The humanoid* (1979), *Plague* (1979) evocam o tema da mutação genética e suas consequências desastrosas para humanidade, o que contribuiu para aquecer o debate acerca da técnica do DNA recombinante.

Em julho 1974 um grupo de biólogos moleculares, liderados por Berg, comunicaram ao presidente da *US Academy of Sciences* os possíveis riscos da técnica do DNA recombinante, publicando em seguida uma carta aberta nas revistas *Science*, *Nature* e *Proceedings of the National Academy of Sciences*, sugerindo que os trabalhos em biologia molecular sofressem uma moratória até a elaboração de um dimensionamento de seus riscos (BERG, 2008). A sugestão foi explorada durante conferência envolvendo cientistas, políticos e jornalistas no período de 24 a 27 de fevereiro de 1975, na Península de Monterey, Califórnia, que ficou conhecida como Conferência de Asilomar. Frente à necessidade de regulamentação, a fim do avanço científico não causar ansiedade na população, foi tomada uma decisão histórica e sem precedentes: uma moratória de 16 meses nas pesquisas de biologia molecular, até que o *National Institute of Health* (NIH) estabelecesse as diretrizes da agenda científica em genética em 1976, considerando a manipulação de microrganismos e questões sanitárias (BERG, 1975, p.1981-4). A moratória de Asilomar só foi possível porque os cientistas engajados com pesquisa de DNA recombinante de 1970 não tinham vínculo com empresas, nas palavras de Berg:

[Asilomar conseguiu] que os cientistas ganhassem a confiança do público - algo que agora é mais difícil para os pesquisadores que trabalham em biotecnologia. Como cerca de 15% dos participantes em Asilomar eram da mídia, o público foi bem informado sobre as deliberações (...) o esforço encorajou uma discussão responsável, que levou a um consenso que a maioria dos pesquisadores apoiava. (...) Acredito que seria muito mais difícil organizar um evento assim hoje. Na década de 1970, a maioria dos cientistas envolvidos na pesquisa de DNA recombinante trabalhava em instituições públicas e, portanto, eram capazes de se reunir e expressar opiniões sem ter que olhar por cima dos ombros. Este não é mais o caso - já que muitos

cientistas agora trabalham para empresas privadas, onde as considerações comerciais são fundamentais (BERG, 2008, p. 291).⁵³

O NIH era uma importante fonte de financiamento em pesquisas disruptivas e não foi diferente com a engenharia genética. Em junho de 1976 o NIH publica o guia de boas práticas, alertando para os riscos de certos experimentos, listando as condições adequadas e inadequadas. Organismos modificados não deveriam ser testados fora do laboratório ou permitidos no meio ambiente. Essas restrições se direcionaram inicialmente apenas para aqueles que recebiam fundos do NIH, posteriormente foi aderido por indústrias de forma voluntária (BUD, 1994, p.178). A partir de 1990, as leis de biossegurança tornaram-se prática obrigatória nos laboratórios de manipulação de organismos biológicos e suas partes.

Na década de 1970, as tecnologias Southern blot,⁵⁴ produção de anticorpos monoclonais através da técnica do hibridoma⁵⁵ e sequenciamento enzimático Sanger foram criadas. A descoberta da enzima transcriptase reversa muda o fluxo da informação de “DNA → RNA → proteína”, para “DNA ↔ RNA → proteína”. No final dessa década o grupo Genentech produziu a primeira insulina a partir de *E. coli* modificada,⁵⁶ o que lançou uma nova tendência: empresas que usavam microrganismos passam a considerar a técnica de edição de DNA; a indústria farmacêutica almejava produzir hormônio de crescimento humano e interferon gama,⁵⁷ para o tratamento de doenças virais.

Para que a nova tecnologia, de caráter tão delicado, pudesse ser empregada para fins comerciais, direta ou indiretamente, um aparato legal deveria ser criado.

⁵³ Original: “Apart from laying the foundations for an effective safety regime, what else did Asilomar achieve? First and foremost, I feel that scientists were able to gain the public’s trust — something that is now much more difficult for researchers working in biotechnology. Because some 15% of the participants at Asilomar were from the media, the public was well informed about the deliberations, (...) the effort encouraged responsible discussion that led to a consensus that most researchers supported. (...) I believe that it would be much more difficult to organize such an event today. In the 1970s, most of the scientists engaged in recombinant DNA research were working in public institutions and were therefore able to get together and voice opinions without having to look over their shoulders. This is no longer the case — as many scientists now work for private companies where commercial considerations are paramount.”

⁵⁴ Desenvolvido pelo britânico Edwin Southern, é um método para identificação da sequência de DNA a partir da transferência do material genético para uma membrana, que será detectado por sondas específicas.

⁵⁵ Desenvolvido por Kohler e Milstein em 1975, produz os anticorpos monoclonais específicos por contaminação de ratos por patógeno de interesse, o processo de humanização desse anticorpo é feito usando DNA recombinante; usados em cuidados da saúde como profiláticos, diagnósticos e terapia.

⁵⁶ Aprovada pelo FDA em 1982.

⁵⁷ Até então o interferon era obtido através do sangue humano.

Alguns estudos da década de 1970 observam os esforços governamentais feitos para reduzir a ansiedade da mídia e enfatizar os potenciais benefícios das novas tecnologias, para alguns cientistas e industrialistas as inovações não precisavam ser reguladas (BUD, 1994, p. 177-81). Inicialmente as políticas de Estado da América do Norte eram favoráveis às leis restritivas e rígidas para pesquisa e comércio envolvendo manipulação genética. Não obstante as indústrias, alinhadas às ideias derivadas do capitalismo *laissez-faire*, objetivavam dissuadir a ideia sobre legislação rígida, já que a regulação do mercado seria diretamente influenciada pelo grau de utilidade do produto e pela aceitação pública, enfatizando a aplicação prática da ciência.

A estratégia industrial deu certo, paulatinamente as ideias de uma regulamentação rígida foram se afrouxando. A OTA (*Office of Technology Assessment*)⁵⁸ foi muito importante no sentido de conter os ânimos da população: começou a publicar em 1979 relatórios anuais sobre manipulação genética. Em 1981 o *Impacts of applied genetics*⁵⁹ foi publicado, tratando de benefícios práticos do uso do engenheiramento genético na indústria, todavia esquivando-se da complexidade da aplicação em humanos. Essa publicação foi feita em um contexto em que as ansiedades de 1970 haviam se minimizado. Bud (1995, p. 184) constata que o conceito de biotecnologia no relatório de 1981 é semelhante ao antigo conceito europeu: uso de organismos vivos ou seus componentes em processos industriais. Nesse contexto, os microrganismos funcionam como uma “fábrica natural” e a genética aplicada melhoraria o planejamento dessa fábrica.

Essa nova tecnologia é uma das representantes da convergência dos setores científico, tecnológico e econômico em um só rótulo. Surgiram as primeiras formulações com enzimas recombinantes. A empresa Biogen produziu interferon através de DNA recombinante. Em 1983, Kary Mullis (1944-2019)⁶⁰ e colaboradores,

⁵⁸ Estabeleceu-se como uma organização neutra de especialistas para prestar assessoria. Em 1970 sua influência cresce vertiginosamente, no contexto de intenso debate sobre questões ambientais.

⁵⁹ O relatório foi dividido em 3 partes: a primeira, com o título “*Biotechnology*”, composta pelo capítulo 3 (*Genetic Engineering and the Fermentation Technologies*), capítulo 4 (*The Pharmaceutical Industry*), capítulo 5 (*The Chemical Industry*), capítulo 6 (*The Food Processing*) e capítulo 7 (*The use of Genetically Engineering Microorganisms in the environment*); a segunda parte, “*Agriculture*”, sub dividida em duas partes capítulo 8 (*The Application of genetics to plants*) e capítulo 9 (*Advances in Reproductive Biology and their effects on Animal Improvement*); a terceira parte, “*Institutions and society*”, capítulo 10 “*The question of Risk*”, capítulo 11 (*Regulation of genetic engineering*), capítulo 12 (*Patenting Living Organisms*) e capítulo 13 (*Genetic and society*).

⁶⁰ Em 1993, Mullis ganhou o prêmio Nobel de Química por elaborar a PCR.

trabalhando na Cetus Corporation, amplificam a betaglobulina usando a PCR (*Polymerase Chain Reaction*) e o termociclador. Em 1984, a técnica do DNA fingerprinting é desenvolvida. Em 1986, o grupo de pesquisadores da Cetus inclui a DNA polimerase do organismo *Thermophilus aquaticus* na reação, evitando a necessidade de reposição da enzima devido à desestruturação causada pelo calor. A vacina contra hepatite B em sua versão recombinante foi lançada no mercado nesse mesmo ano.

Essas *startups* (Genentch, Biogen, Cetus) têm um papel importante no desenvolvimento das indústrias farmacêuticas nos anos 1980, expandindo os horizontes da biotecnologia através de aquisição ou vínculos com pequenas empresas de biotecnologia, já que a indústria farmacêutica não incorporou a técnica do DNA recombinante assim que possível, optando por dar continuidade aos trabalhos em *design* de drogas da biologia molecular, o que deu espaço para a ascensão de pequenas empresas, fortemente vinculadas a professores e pesquisadores de universidades, as chamadas *startups*. Ignorar a técnica de DNA recombinante poderia ter tido consequências desastrosas, porém as indústrias farmacêuticas agiram rápido, estabelecendo laços e acordos com as referidas *startups*, que mais tarde seriam adquiridas por grandes empresas (GALAMBOS & STURCHIO, 1998, p. 250-78).

Nelson Schneider, analista financeiro especializado em indústria farmacêutica, viu nessa produção uma oportunidade para capital de risco. (BUD, 1994, p. 182-3). A metáfora da informação, introduzida na biologia por Watson e Crick (KELLER, 1995, p. 18), facilitou o englobamento das aplicações da biologia no cenário comercial, dado que a TI chegara primeiro que a biotecnologia ao mercado de investimentos. Como nessa esfera do comércio não havia um termo disponível para descrever as novas tecnologias da biologia, Schneider utilizou "*biotechnology*" como uma forma de fazer o *marketing* do conceito no Wall Street, o que popularizou a palavra entre os americanos. Vale ressaltar que a biotecnologia já era conhecida nos EUA desde a década de 1960, quando periódicos passaram a incorporar "*biotechnology*" em seus nomes e políticas governamentais começaram a fomentar pesquisas na área.

A maioria dos produtos e técnicas descritas na presente fase são criadas em solo norte-americano por cientistas estadunidenses. Essa hegemonia tecnológica dos EUA também ocorre na academia, mantendo a posição de liderança até o início do século XXI. O modelo de regulação da biotecnologia dos EUA possuía um comitê de experts e regras detalhadas, o qual foi bem aceito na Europa, alterações foram feitas

no intuito de tornar as leis mais rígidas e prevalecer o ideal de precaução. Todavia a Europa demorou mais para passar a apoiar o desenvolvimento de programas em genética, apenas na segunda metade da década de 1980 o FAST passou a fomentar pesquisas nessa área (BUD, 1994, p. 185-6).

No sentido comercial, a ligação entre a genética e a microbiologia industrial havia se consumado desde o final da década de 1970. Mesmo em 1980 havia diferenças entre Europa e EUA acerca do significado da biotecnologia, assim como implicações políticas diferentes em cada lugar. Em 1989, a biotecnologia adquiriu significância internacional,⁶¹ transformando-se em uma categoria econômica com medidas de investimentos nacionais e políticos (BUD, 1994, p. 189). Na última década do século XX, produtos geneticamente modificados foram aprovados para serem comercializados, genes causadores de condições humanas (e.g. gene da fibrose cística) são catalogados, terapias gênicas são realizadas com sucesso.

A efetividade do discurso pode ser constatada após a enunciação no conjunto de ações relacionados ao tema do discurso, por exemplo na modificação da agenda científica. Essa efetividade depende de variáveis sociais (como autoridade do enunciador e valores sociais sustentados pelo grupo com quem ele se comunica), naturais (os recursos disponibilizados pela natureza) e técnicos (as técnicas disponíveis para comparação da natureza) (KELLER, 1995, p. XIII). O discurso da ação do gene será efetivo no sentido de sustentar a genética como disciplina, além de penetrar em outras, e modificar a agenda científica, culminando no fim do século XX com o Projeto Genoma Humano.

O Projeto Genoma Humano (PGH) foi um consórcio internacional idealizado em 1984, quando pela primeira vez Renato Dulbecco defende a ideia em público, alegando que ela facilitaria entender o câncer. Em 1988, o NIH criou o *Office for Human Genome Research* e, em 1989, o Projeto foi aprovado pela National Academy of Science. Inicialmente houve resistência por parte de cientistas, já que o DNA seria em sua maior parte composta por sequências *junk*,⁶² não valeria a pena sequenciá-

⁶¹ Em 1990, o *Books in print*, compilado de informações sobre títulos de livros e periódicos de R. R. Bowker, que deu origem ao *International Standard Book Numbers* (ISBNs), reuniu 70 títulos em que o termo "biotechnology" aparecia.

⁶² O DNA junk, atualmente chamado "não codificante", compõe cerca de 98% do material genético humano. Dentre esses genes existem os genes de DNA ultraconservado (que é inalterado independente da espécie), totalizando 481 sequências. As funções variam desde mediação de interações entre genes, enovelamento do DNA, composição dos telômeros, pontos de ancoragem do DNA durante o processo de divisão celular, regiões de isolamento que restringem a expressão para regiões específicas dos cromossomos, codificação para RNA (CAREY, 2015).

las, além de não haver tecnologia adequada para tanto. Organizações como o DOE (US Department of Energy) eram a favor do desenvolvimento do Projeto, a fim de entender os efeitos da radiação da bomba atômica, também o Congresso norte-americano; esse apoio foi essencial para possibilitar o desenvolvimento do projeto (HOOD & ROWEN, 2013, p. 79).

O PGH foi finalizado em 2003, antes do previsto e abaixo do teto de gastos, na ocasião em que foi anunciada a versão final da sequência de referência do genoma humano, com menos de 1 erro a cada 100 mil bases. Todo o processo foi acelerado por Craig Venter, com plano paralelo de criar, na empresa Celera, uma abordagem que não usaria fragmentos em BACs para sequenciamento, mas o *shotgun* do genoma completo ao invés do hierárquico (HOOD & ROWEN, 2013, p. 80). Uma disputa entre o consórcio internacional e a Celera aumentou o ritmo do sequenciamento. Venter sequenciou o genoma humano em 13 meses. Os países que participaram do projeto são majoritariamente países desenvolvidos da América do Norte, bloco Europeu, Japão e China (NIH, 2020). 20 centros de mapeamento e sequenciamento fizeram parte do consórcio internacional, dentre eles o Wellcome Trust Sanger Institute, Broad Institute of MIT and Harvard, The Genome Institute of Washington University in St Louis, the Joint Genome Institute e o Whole Genome Laboratory at Baylor College of Medicine. As informações geradas pelo genoma humano são mantidas em bases de dados de acesso livre e o DNA sequenciado serve como DNA referência para confronto com novos dados, a fim de reconhecer a posição do fragmento de DNA e outras comparações. Isso significa que além dos conhecimentos em genética e biologia molecular, conhecimento de bioinformática (i.e. análise de dados de sequência em sequenciador, montagem dos *contigs*, alinhamento de sequência, alocação em base de dados e curadoria) foi necessário para que o PGH fosse empreendido, mas, por ser um ramo importante da biotecnologia e não estar apenas ligado a projetos que envolvam genética, o tema de bioinformática será tratado com um pouco mais de profundidade na próxima seção.

Produzir essa sequência custou ao NIH 2,7 bilhões de dólares no total. Ao longo do tempo houve uma queda significativa no custo⁶³ de sequenciamento (WETTERSTRAND, 2020). O custo do sequenciamento é diretamente proporcional

⁶³ Esse levantamento considera como parâmetro a qualidade desejada da sequência, geração de dados, finalização da sequência, atividades iniciais como o mapeamento, amortização de equipamentos, despesas gerais, utilidades, salários e análises de dados.

ao tamanho do genoma: o genoma humano tem aproximadamente 3 bilhões de bases, ao passo que uma *E.coli* possui 123 milhões. Essa diminuição no preço se deve a evolução da técnica de sequenciamento e processamento de dados, sendo divididas em 3 gerações de sequenciadores. As chamadas NGS (*Next-Generation Sequencing*) tornaram-se comerciais há pouco mais de uma década, novas plataformas de sequenciamento permitem gerar *reads* com kilobases. Para fazer uma comparação cronológica da evolução da técnica em função do tempo necessário para obtenção dos dados finais, o sequenciamento da fita referência do genoma humano levou aproximadamente 10 anos para sua finalização, atualmente é possível gerar a sequência de pares de base de um indivíduo da espécie humana em apenas alguns dias.

As técnicas de sequenciamento evoluíram a partir do método Sanger, que imita, *in vitro*, a replicação de DNA no interior das células, com a adição de nucleotídeos radiomarcados e didesoxirribonucleotídeos⁶⁴ (ddNTPs), para terminação da elongação da fita de DNA, devido à ausência do grupo hidroxila no terceiro carbono da base nitrogenada. A substituição da radiomarcagem por corantes fluorescentes, na década de 1980, possibilitou a detecção durante eletroforese capilar por emissão de fluorescência de cada fragmento, dessa forma o experimento poderia ser realizado em apenas um tubo, mas requeria um sistema de detecção a laser, contribuindo para o processo de automatização do sequenciamento. A utilização de enzimas DNA polimerase estáveis em temperaturas mais altas ajudou a diminuir os “ruídos” causados por sequências de citosina e guanina (MCCOMBIER, MCPHERSON & MARDIS; 2019, p. 2). As técnicas de sequenciamento foram escalonadas para o modelo industrial, permitindo o sequenciamento do genoma humano no início dos anos 2000 através da segunda geração de sequenciadores.

As NGS repensam o modelo Sanger, a fim de tornar o processo menos oneroso e diminuir o custo final.⁶⁵ Atualmente é possível mapear ou sequenciar o genoma individual, como forma de um serviço prestado ao cidadão comum.⁶⁶ O sequenciamento do genoma individual prevê ser uma importante prática médica. No

⁶⁴ Apresenta um H ao invés de um grupamento OH na posição 3 da ribose, impedindo a DNA polimerase de adicionar outro nucleotídeo.

⁶⁵ Os novos instrumentos NGS amplificam e adquirem os dados de maneira gradual, permitindo que dados sejam gerados desde dezenas de milhares a bilhões, simultaneamente.

⁶⁶ Empresas como 23andme, nos EUA, Mendelics (com o projeto MeuDNA) e Genera no Brasil, já oferecem esse tipo de serviço.

cenário ideal, esses dados podem ser usados para fornecer um tratamento médico individual de acordo com as necessidades de base genética do organismo.

A genética adentra a biotecnologia a partir do potencial econômico da edição gênica (BUD, 1994, p.164-72) e se expande por intermédio de outras tecnologias, como é perceptível no caso do sequenciamento, que movimentou a agenda científica e favoreceu a criação de empresas e comércio de instrumentação. As tecnologias de edição genômica tornam-se cada vez menos dispendiosas (em termo de valor monetário) e com maior acurácia quanto ao sítio de inserção. Técnicas convencionais de edição genômica, baseadas em processos fisiológicos envolvendo o sistema de reparo da dupla fita e recombinação homóloga, têm sido suplantadas por novas técnicas emergentes, tais como ZFN (*Zinc Finger Nucleotide*), TALEN (*Transcription Activator Like Effector Nucleases*) e CRISPR/Cas (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*).

Dentre as técnicas existentes de engenharia genética a CRISPR é a que tem recebido mais atenção, por ter custo mais acessível, ser facilmente preparada,⁶⁷ possibilitar o preparo de biblioteca em larga escala, ter maior especificidade e eficiência, quando comparada com outras disponíveis no mercado. Mais para além, a CRISPR/Cas é versátil, podendo ser utilizada para diagnóstico, uso em ensaios clínicos, marcador epigenético, *knockout* de gene, modificação mitocondrial, edição *ex vivo* e *in vivo*, e edição de RNA (KHAN, 2019, p. 331-2).

Todas as técnicas de edição genética são suscetíveis a mutações pelo sistema NHEJ (*Non-Homologous End Joining*), mutações *off-target* e citotoxicidade, levando a efeitos indesejados. No caso específico da utilização CRISPR/Cas para terapia gênica humana, estudos pré-clínicos demonstraram que o sistema imunológico do paciente pode apresentar reações adversas contra as proteínas e ácidos nucleicos administrados, incluindo inflamação via ativação da imunidade inata, indução de anticorpo na imunidade humoral e morte celular por citotoxicidade mediada por células T (CHEW, 2018, p. 1).

Para além das aplicações na medicina, a edição genética modificou o modelo do agronegócio, criando plantas e animais para atender demandas específicas, seja de aumentar a produção de leite no gado leiteiro, ou tornar uma monocultura resistente

⁶⁷ Construir o crRNA é menos complexo que desenhar um plasmídeo.

a determinado pesticida⁶⁸ ou praga. Os impactos do engenhamento genético são discutidos desde a reunião de Asilomar em 1975. Para proteger os interesses comerciais e ecológicos, bibliotecas de microrganismos e de DNA foram criadas a partir do final do século XX. Patentes de Organismos Geneticamente Modificados (OGMs)⁶⁹ e respaldo legal para comercialização são criados a partir da década de 1990, bem como um conjunto de medidas a fim de salvaguardar a biodiversidade e integridade do ecossistema (cf. seção 4.3).

A fase genética da biotecnologia é caracterizada por preocupações éticas quanto ao uso das tecnologias, tocando as disciplinas de bioética e biossegurança. Nesse sentido, o PGH criou o ELSI (*Ethical, Legal and Social Implications*) em 1990, ao qual foi direcionado 5% da verba do programa (NIH, 2020). O ELSI levantou questionamentos quanto à privacidade genética, potencial discriminação, justiça na repartição dos conhecimentos, proteção da subjetividade humana, determinismo genético e identidade política. A utilização dessas tecnologias em células germinativas,⁷⁰ capazes de transmitir verticalmente a alteração no genoma, toca questionamentos éticos profundos que estão fora do escopo deste trabalho; o intuito dessa fase é situar cronologicamente a genética em interface com a biotecnologia.

Embora quase 70 anos tenham se passado desde a publicação de Watson e Crick em 1953, o discurso da ação do gene exerce forte influência nos cientistas do presente,⁷¹ a interface entre as ciências biomoleculares e a tecnologia da informação criou raízes na biotecnologia, com o surgimento da bioinformática. As pesquisas no intuito de compreender a ação do gene acabaram gerando questionamentos quanto à interação do gene com o exterior, diferenciação genética em organismos pluricelulares, papel desempenhado pelo DNA não codificante. Gradualmente surge o discurso de ativação do gene, tendo início no surgimento da biologia do

⁶⁸ Por exemplo sementes de soja, milho e algodão *Round-up Ready*, resistentes a glifosato, ou variedade de milho *Liberty Link*, tolerante a glufosinato de amônio.

⁶⁹ Existe uma diferença semântica entre OGM e transgênico, não havendo consenso na comunidade científica. Transgênico relaciona-se com a inserção de DNA de outra espécie em um organismo-alvo, enquanto OGM é aquele cujo material genético foi modificado.

⁷⁰ Em 2018, o biólogo chinês da *Southern University of Science and Technology of China*, He Jiankui, anunciou a pesquisa para produção de fetos que não expressavam o gene CCR5, que codifica proteína que permite a entrada do HIV na célula, usando a ferramenta de edição CRISPR-Cas. Duas meninas gêmeas nasceram, fruto dessa pesquisa (KOFLEER, 2019).

⁷¹ Uma pesquisa no banco de dados NCBI com a chave “gene action” resulta em mais de 6 mil textos de literatura e mais de 2 milhões de genes identificados.

desenvolvimento⁷² (KELLER, 1995, p. 25), a figura do gene é descentralizada, dando lugar a uma visão mais dinâmica.

A *big science* caracteriza os Projetos do século XXI, que une matemáticos, cientistas da computação, engenheiros físicos e teóricos, químicos, biólogos, médicos e biotecnologistas. O PGH foi concebido e implementado como o primeiro projeto da *big science* na biologia. Desde então outros projetos como o ENCODE, HapMap, *Human Proteome Project*, *Human Brain Project*, foram anunciados. A natureza desses projetos requer a travessia constante de “fronteiras disciplinares”,⁷³ que configura a fase seguinte.

2.5 Fase integrativa

Essa fase corresponde ao amalgamento das fases anteriores, com forte influência da TI. Cronologicamente situada no final da década de 1970 e se estende até o presente. Embora o termo “biotecnologia” ainda conote o engenhejamento genético, movimenta-se no sentido de uma compreensão que integra as disciplinas subjacentes especializadas. Tal integração irá se estabelecer no interior da biotecnologia, enquanto que a união entre biotecnologia e outras disciplinas acadêmicas e as relações com empresas/indústrias transcendem o ambiente acadêmico e serão também evidenciadas. Essas interações também acontecem nas fases anteriores, porém devido à globalização e ao advento da internet, a circulação entre diferentes áreas será uma característica acentuada nas duas primeiras décadas do século XXI.

A interação entre as subdisciplinas que compõem a biotecnologia tende ao estudo da totalidade das biomoléculas, aproximando-se da proposta da biologia sistêmica, ou biologia de sistemas, que considera as diferentes interações do objeto estudado. A biologia sistêmica é definida como:

[O] ramo da ciência que busca entender os organismos biológicos em todos os seus níveis, desde a caracterização de suas partes constituintes (genes, RNAs, proteínas, metabólitos), a elucidação das interconexões entre os distintos membros dessas redes de interações, até a compreensão do organismo como um todo (LABISISMI, 2020).

⁷² Que suscita as mesmas questões da embriologia do início do século XX.

⁷³ Para um melhor entendimento de fronteira, referida aqui, conferir o item 3.2 deste trabalho.

Essa abordagem desenvolveu-se seguindo os anseios da TI por integrar sistemas complexos. Na segunda metade do século XX, repercute na biotecnologia na adoção de uma perspectiva holística. A integração das ciências “ômicas”, que são os blocos construtores da biologia sistêmica, ilustra a tentativa de recontextualização das biomoléculas. Nas ciências ômicas, grupos específicos de biomoléculas compõem o repertório do cientista, a mais antiga é a genômica, que busca entender o genoma de uma espécie, suas relações,⁷⁴ composição, quais são e qual a localização dos genes dessa espécie. Há ainda a transcriptômica, que busca entender o RNA; a proteômica, as proteínas; a lipidômica, os lipídeos; a metabolômica, que estuda os metabólitos e pequenas moléculas celulares; a epigenômica, que estuda as modificações reversíveis que interferem na expressão gênica em diferentes tecidos ou condições celulares; a metagenômica, que estuda a composição genômica de um *habitat* específico; a nutrigenômica, que estuda como a expressão gênica é afetada pela alimentação. O uso do sufixo “ômico(a)” extrapolou a biologia, passou a ser empregado na geologia, por exemplo, para o entendimento do petróleo: a petroleômica.

A biologia de sistemas e as “ômicas” são categorias de *big data*, geradas a partir de ferramentas capazes de fornecer dados em larga escala sobre biomoléculas. O aparato científico que as torna possível são sequenciadores, cromatógrafos e espectrômetro de massas, aliados a *softwares* para leitura, apresentação e manipulação⁷⁵ dos dados. Tende a aumentar o volume, velocidade e variedade de dados produzidos, o número de cientistas e instituições envolvidos na pesquisa;⁷⁶ além da dependência da eletrônica, softwares computacionais e banco de dados, reflete o comportamento da biotecnologia vista pelo prisma da *big science*.

O entendimento biotecnológico é produzido pela experimentação associada com a tecnologia da informação. A quantidade de dados disponíveis é tão grande que hoje é possível gerar entendimento de fenômenos confrontando informações disponíveis em bancos de dados, sem envolver etapas de experimentação no projeto. Isso não implica dizer que é possível gerar entendimento fora da experiência.

⁷⁴ Por exemplo, a influência na expressão de um gene por outro, ou condições relacionadas a deleções (síndrome do 5p-) e translocações (leucemia mielogênica crônica).

⁷⁵ No sentido de alterar o formato do documento ou comparar com outros dados.

⁷⁶ Sobre o aumento da colaboração científica conferir Zhigang *et al.* 2020.

Expressa tão somente a possibilidade de pesquisa em biotecnologia usando apenas ferramentas de bioinformática e bancos de dados como ponto de partida.⁷⁷

A cola que une diferentes nichos e possibilita a existência de uma abordagem holística é a TI. Dentre as várias ciências, apenas as ciências biológicas dão nome a sua relação com a tecnologia da informação: bioinformática. Essa relação tem início quando Frederick Sanger consegue determinar, pela primeira vez, os aminoácidos da insulina em 1953, o que encorajou a criação de métodos para obtenção de sequência de proteínas e posteriormente de DNA.

O primeiro *software* de bioinformática foi criado por Margaret Dayhoff (1925-1983), uma físico-química americana, pioneira na aplicação de métodos computacionais na área de bioquímica. Ela lançou o COMPROTEIN em 1962, programado em FORTRAN, usava três letras para indicar o aminoácido (ex: “Lys” seria a abreviação de lisina) e rodava no IBM 7090. Mais tarde, ela simplificou essas três letras para apenas uma, o que diminui o espaço de alocação de dados e tornou possível construir o primeiro banco de dados biológico *Atlas of Protein Sequence and Structure* (GAUTHIER *et al.*, 2019, p. 2). A partir dessa década diversos algoritmos foram criados para análise de proteínas, incluindo o MSA (*Multiple Sequence Alignment*) (1970) e MSA CLUSTAL (1988), usado até hoje.

Com a proposição do código genético como mensageiro da vida, a genética se torna mais relevante, o que fez com que o interesse outrora depositado no sequenciamento de proteínas, fosse direcionado para o sequenciamento do DNA. O primeiro software a analisar os *reads* da sequência Sanger foi publicado por Roger Staden em 1979 (GAUTHIER *et al.*, 2019, p. 5). Staden foi o primeiro a incluir parâmetros para registrar as incertezas de alinhamento de sequências e das sequências lidas na fase de *base calling* (esse software é desenvolvido e mantido até hoje).

Na década de 1980, o acesso a computadores e softwares cresceu, os computadores tornaram-se menores ao passo que softwares para análise de biomoléculas surgiram rapidamente. Entre 1984-1985 outros softwares foram desenvolvidos com a característica de terem o código de programação aberto e gratuito, inaugurando o movimento que ficou conhecido como *Free Software*

⁷⁷ Como exemplo de pesquisa baseada na busca de padrões e comparação em bancos de dados sugiro a leitura da tese de doutorado de Rafaela Benatti de Oliveira “Big data e dados públicos de expressão gênica: aplicações na pesquisa biomédica e estudo de caso em doenças tromboembólicas”.

Foundation. Nessa época, foram criados o EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*), GenBank, e o DNA *Data Bank of Japan* (DDBJ), que se uniram para padronizar o formato dos dados e definir as informações mínimas para reportar as sequências de nucleotídeos, a fim de facilitar o compartilhamento entre os bancos de dados. Hoje essa união é nomeada *International Nucleotide Sequence Database Collaboration* (INSDC).

O NCBI (*National Center of Biotechnology Information*) foi criado em 1988 pelo NIH, e disponibilizado na internet em 1994, sendo dividido, desde a sua criação, em 6 categorias: literatura, saúde, genomas, genes, proteínas e químicos. É o banco de dados de maior relevância em biotecnologia da atualidade. Recebe dados de pesquisadores e colaboradores nacionais e internacionais, conta com consórcios de pesquisa e curadoria interna, gerencia o GenBank, participa do EMBL-EBI *European Nucleotide Archive*, é parceiro internacional do DDBJ e INSDC, além de permitir o acesso a 35 outras bases de dados.⁷⁸

À medida que o aprofundamento em genética foi levando à necessidade de considerar o ambiente e as *condições celulares*,⁷⁹ um novo tipo de recorte dentro do método biológico ascendeu. Os fatores que controlam a pluripotência e totipotência de células tronco, controlando assim a reprogramação de várias células diferenciadas a células tronco, inaugurou uma nova era de pesquisa médica e produção de modelos genéticos de doenças. A origem dessa descoberta está nos estudos de diferenciação e embriogênese, como por exemplo os trabalhos dos laureados Nobel em 2012 Cristiane Nusslein-Volhardt e Sir John B. Gurdon e Shinya Yamanaka (BUCHHOLZ & COLLINS, 2013, p. 3760).

O discurso da ação do gene foi cedendo lugar para o discurso de ativação do gene (KELLER, 1995, p. 100-1). A globalização da informação, o advento da internet e a cooperação internacional em compartilhamento de dados (e.g. sequências de

⁷⁸ Banco de dados (número de dados disponíveis): PubMed (30.090.705); PubMed Central (5.706.133); NLM Catalog (1.604.689); Books (758.285); MeSH (297.004); ClinVar (561.351); dbGaP (1.357); MedGen (327.671); GTR (60.029); SNP (686.600.501); Nucleotide (409.361.023); Probe (32.407.891); BioSample (11.474.586); SRA (8.945.479); dbVar (5.954.211); Taxonomy (2.254.489); BioProject (374.697); Assembly (462.179); Genome (47.065); BioCollections (8.902); GEO Profiles (128.414.055); Gene (25.258.008); GEO DataSets (3.345.732); PopSet (331.479); HomoloGene (141.268); Protein (771.516.322); Identical Protein Groups (249.297.183); Protein Clusters (1.137.329); Sparcle (173.523); Structure (154.783); Conserved Domains (57.242); PubChem Substance (245.012.057); PubChem Compound (96.257.804); PubChem BioAssay (1.067.621); BioSystems (983.968).

⁷⁹ Relação com a matriz extracelular, reações do citoplasma e organelas, como mitocôndrias, que tem seu próprio DNA e é transmitido através de herança materna.

DNA, modelo de proteína, mapas metabólicos, árvores filogenéticas), criaram o contexto para o NIH tornar seus dados disponíveis.⁸⁰ Esse tipo de rede é ubíquo no âmbito científico, a TI modificou a forma como a sociedade se relaciona, alterando o modo de fazer ciência.

No caso das ciências ômicas, integradas pela bioinformática na biologia sistêmica, a união das diferentes cátedras não ultrapassa a disciplina. Todavia a biotecnologia, através dos trabalhos realizados pelos cientistas, nutre relações fora do seu núcleo disciplinar, em dois níveis: acadêmico e comercial. Para a discussão proposta nessa fase, o viés integrativo, ou seja, a “circulação” e “respiração” (conceitos explicados no item 3.3), entre as diferentes esferas que compõem a disciplina será relevante.

No nível acadêmico, a circulação de cientistas com formação em biotecnologia acontece através de projetos envolvendo ponta tecnológica. Exemplo da interação entre biotecnologia e disciplinas externas é a nanobiotecnologia, que se movimenta fora do domínio puramente biotecnológico, sem criar uma instrumentação própria (como no caso dos softwares de bioinformática), mas se apropria da instrumentação da nanotecnologia e a aplica à biotecnologia; portanto, tal relação é dita multidisciplinar.⁸¹ A multidisciplinaridade ocorre nas interações para aplicação comercial e no mercado de trabalho. Tanto a multidisciplinaridade quanto a interdisciplinaridade, esta última cria instrumentação e profissionais específicos, são alternativas para a fragmentação do conhecimento produzido pela especialização.

A versatilidade da biotecnologia, capaz de apropriar-se rapidamente de novas tecnologias, como computação e nanotecnologia, confere uma potencialidade de disrupção, bastante estudada no empreendedorismo comercial. O caráter genérico do termo e das definições de “biotecnologia” permite que essa disciplina esteja alinhada às inovações da ciência e suas aplicações, em um processo contínuo de transformação disciplinar, cujo universo de aplicação se expande conforme as invenções humanas aumentam em número.

A nanobiotecnologia é um campo de atuação de cientistas químicos, físicos, biólogos, engenheiros computacionais, biotecnologistas e pesquisadores de áreas correlatas. As aplicações variam: nanopartículas podem ser utilizadas para melhorar

⁸⁰ Como a sequência de RNA do vírus Sars-CoV-2.

⁸¹ É necessário atenção ao classificar a biotecnologia como “inter” ou “multi” disciplinar, não é a ciência ou tecnologia em si que tem essa classificação, mas as relações que dela emanam.

o sistema de *drug delivery*, marcar áreas cerebrais, diminuir tumores (SHRIVASTAVA, 2019, p. 1-11), promover crescimento de plantas e tolerância a estresse (ZHAO, 2020), podem ser aplicadas no desenvolvimento de pesticidas (NEHRA, 2020) ou no diagnóstico de doenças como a COVID-19 (ÁLVAREZ *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2020; QIU *et al.*, 2020). Examinar o momento científico resultante da COVID-19 permite perceber a influência do mercado na biotecnologia. O esforço conjunto de diversas instituições internacionais para desenvolver métodos diagnóstico e imunizante ou tratamento adequado contra o vírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19, fornece um exemplo da interação entre ambiente acadêmico e comercial, empregando a mão de obra de cientistas de áreas diversas, em um projeto teoricamente de curto prazo que requer o máximo de agilidade possível.

Declarada pandemia em março de 2020, o número de óbitos por COVID-19 reportados para OMS no início de janeiro de 2021 ultrapassa os 1,8 milhões de pessoas, com mais de 84 milhões de casos confirmados no mundo (WHO, 2021). O vírus de RNA, Sars-CoV-2, é transmitido pelo ar ou superfícies contaminadas, utiliza a Enzima Conversora de Angiotensina 2 (ACE 2) para penetrar em células do epitélio pulmonar e se replicar no organismo. Pode afetar pulmão, rins, intestino, cérebro, coração e vasos sanguíneos. Cerca de 20% dos infectados apresentam sintomas graves, podendo levar a insuficiência respiratória e AVC (ZORZETTO, 2020, p. 21-4). Nesse cenário, investimentos públicos⁸² e privados para incentivar o desenvolvimento de vacinas e drogas favorecem o setor biotecnológico e farmacêutico. Além disso, as empresas de medicamentos e biotecnologia de capital aberto não sofreram queda de suas ações durante a pandemia, que está levando a economia mundial à recessão (HANSEN, 2020).

Das mais de 200 vacinas em desenvolvimento para combate ao SARS-COV2, 60 estão em fase de teste em humanos,⁸³ a estimativa é ter uma vacina efetiva e

⁸² Segundo levantamento do IPEA (sistemizado em 12 de maio de 2020), os EUA é o país que mais investe em pesquisa e inovação sobre COVID-19 (os investimentos ultrapassam os 6 bilhões de dólares), seguido de Alemanha (2,4 bilhões de dólares), Reino Unido (1,7 bilhões de dólares) e Canadá (995,9 milhões de dólares). A China não foi considerada devido à dificuldade de obtenção de dados. O investimento do Brasil na data de sistematização somava 104 milhões de dólares.

⁸³ O desenvolvimento de testes de vacinas são divididas em 4 fases: as fases pré-clínicas, em que a vacina é testada em modelo celular e animal, para avaliar a toxicidade; na fase clínica iniciam os testes em humanos, que variam quanto a ordem de grandeza numérica de pessoas em que a vacina é testada: na fase 1, a vacina é testada em dezenas de pessoas, verificando efeitos e reações adversas; na fase 2, teste em centenas de pessoas, demonstrando a validação da teoria e determinando a dose que produza efeitos desejados sem consequências deletérias; na fase 3 é aplicada em milhares e dezenas

segura em 2021. Até a presente data⁸⁴ existem 11 vacinas na fase 3 dos testes clínicos: (1) vacina baseada em vetor viral não replicativo, desenvolvida pela Universidade de Oxford em parceria com a empresa de biotecnologia e farmacêutica AstraZeneca, no Reino Unido; (2) vacina baseada em vírus inativado desenvolvido pela empresa chinesa Sinovac Biotech; (3) vacina baseada em vírus inativado desenvolvida pelo Instituto de Produtos Biológicos de Wuhan em parceria com a Sinopharm; (4) outra vacina baseada em vírus inativado desenvolvida pelo Instituto de Produtos Biológicos de Beijing em parceria com a Sinopharm; (5) vacina baseada em mRNA desenvolvida pela Moderna em parceria com o Instituto Nacional de Alergia e Doenças Infecciosas (NIAID), dos EUA; (6) uma parceria entre BioNTech, Fosun Pharma e Pfizer, também baseada em mRNA; (7) vacina baseada em vetor viral não replicativo desenvolvida pelo CanSino Biological Inc. em parceria com o Instituto biotecnológico de Beijing; (8) vacina baseada em vetor viral não replicativo desenvolvida pela Companhia Farmacêutica Janssen; (9) vacina baseada em subunidade proteica desenvolvida pela Novavax; (10) vacina baseada em vetor viral não replicativo desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa Gamaleya e (11) vacina baseada em vírus inativado, desenvolvida pela empresa indiana Bharat Biotech (WHO, 2021, p. 1-3).

É interessante notar que das vacinas em testes clínicos, estão todas ligadas a empresas farmacêuticas e de biotecnologia, seja como desenvolvedora ou fabricante. Enquanto que apenas nove são desenvolvidas por universidades⁸⁵ e quinze por institutos,⁸⁶ ainda que em parceria com empresas, em ambos os casos. Essa diferença pode ser explicada pela quantidade de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento em instituições privadas, que sobretudo contam com a mão de obra de pesquisadores com mestrado e doutorado realizados em instituições públicas.

de milhares de pessoas, testando a capacidade de alcançar o efeito esperado em larga escala; na fase 4, atinge até milhões de pessoas, verifica os resultados após aplicação na população (WHO,2020).

⁸⁴ Informações coletadas no dia 05 de janeiro de 2021 do site da OMS, foram sistematizadas no dia 29 de dezembro de 2020.

⁸⁵As universidades são: University of Oxford, Xiamen University, Osaka University, University of Munich, University of Queensland, Sichuan University, University Hospital Tuebingen, University de Pittsburg; Colégio Imperial de Londres (WHO, 2021).

⁸⁶Os institutos são: Instituto de Produtos Biológicos de Wuhan; Instituto de Produtos Biológicos de Pequim; Instituto de Biotecnologia de Pequim; Instituto de Pesquisa Gamaleya; Instituto de Microbiologia da China; Academia Chinesa de Ciências; Instituto Chinês de Biologia Médica; Instituto de Pesquisa para Problemas de Segurança Biológica do Cazaquistão; Instituto de Israel Research; Serum Institute of India; Instituto Chinês de Biotecnologia, Academia de Ciências Médicas Militares; Instituto Finlay de Vacunas de Cuba; Instituto Finlay de Vacunas (Cuba); Instituto Pasteur (WHO,2021).

Além disso, o aparato pronto para produção em larga escala das empresas parceiras é importante na fase clínica, enquanto nas universidades a produção se restringe ao nível laboratorial. Dessa forma, é mais provável que uma empresa ou instituto que produza em nível industrial leve a cabo a produção em larga escala de uma vacina.

Nesse cenário a necessidade de inovação fica evidente. Tanto a “destruição criativa” (1945) do economista austríaco Joseph Schumpeter, quanto a “inovação disruptiva” (1995) do economista norte-americano Clayton Christensen, preconiza o cientista como criador da inovação. O empreendedor deixa de ser o gerenciador do capital e garantidor da inovação: agora ao capitalista compete o recrutamento de mão de obra qualificada e administração do capital humano, e ao cientista o protagonismo da inovação ou disrupção criativa; desse modo, o cientista ganha destaque, sendo a figura que garante a inovação e formula as tecnologias. O vínculo entre universidade e empresa/indústria é consubstanciado pelo papel da inovação. Essa ligação será manifesta em University-Industry Research Centers (UIRCs) e Parques Tecnológicos,⁸⁷ onde o desenvolvimento da ciência, tecnologia de ponta e empresas de todos os portes dividem o mesmo espaço físico, o que permite o fluxo estreito de informações entre as citadas instituições. Não raro são os casos de professores de universidades que são sócios ou fundadores de empresas biotecnológicas, cujo interesse no resultado da pesquisa vai além do valor cognitivo.

A interação entre grandes (e.g., Amgen, Genentech, Millenium, Alza, Gilead, MedImmune, Celltech, Shield, Shire) e pequenas empresas de biotecnologia, em que essas fornecem serviços (ferramentas ou substâncias potenciais para descoberta de drogas e escalonamento, ou equipamento e manipulação de grande quantidade de dados) àquelas e a outras grandes empresas, por exemplo as empresas farmacêuticas e químicas, assegura que os riscos para grandes empresas, relacionados com pesquisa e desenvolvimento, sejam minimizados (CHRISTENSEN, 2002). Quando uma empresa de pequeno ou médio porte torna-se lucrativa, as empresas de grande porte acabam adquirindo-a. Exemplos dessa prática: as empresas brasileiras Braskalb, Grupo Maeda, Seminis, Agroeste, Agrocere, FT Sementes, Cargill do Brasil, 2000 MDM, Alellys, CanaVialis, D&P Land, Nidera do

⁸⁷ Tanto os Parques Tecnológicos quanto University-Industry Research Centers (UIRCs) são resultado de uma união forte entre a iniciativa pública e privada, em geral sendo aquela responsável por um amplo fomento ao projeto e execução. Segundo dados da Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia (SDECT) entre os anos de 2015 e 2018 foram investidos cerca de R\$ 19 milhões em Parques Tecnológicos no Brasil.

Brasil, foram adquiridas pela Monsanto; as empresas Granjas 4 Irmãos, Mitla Pesquisa Agrícola, Wehrtec, Sementes Fartura, Sementes Ribeiral, Soy Tech Seeds, Melhoramento Agropastoril, Agrosul Genética, foram adquiridas pela Bayer; a Empresa Brasileira de Sementes, a Agromen, a Sedol s/d Híbridos Colorado, a UBS da Coodetec, a Dinamilho, a FT Biogenética e a Coodetec, foram adquiridas pela Dow; as empresas Delta Pesquisa e Sementes, Riber Sementes, Semília Genética e Melhoramento adquiridas pela KWS; Syngenta, Nidera, adquiridas pela ChemChina; Gaviolon pela Takii e Agroflora foram adquiridas pela Sakata (BANDEIRA & ESPÍNDOLA, 2019, p. 5).

Arelado ao comércio/mercado estão as Leis de Propriedade Intelectual (Lei nº 9.279/1996) e Leis de Propriedade Industrial (Decreto-Lei nº 7.903, de 1945; Decreto-Lei 1.005 de 1971 e Lei nº 5.772). Esses instrumentos legais visam proteger o titular quanto a um processo ou produto inventivo (denominadas patentes de invenção) ou quanto a um processo ou produto no plano das formas ou modelagens (patentes de modelo de utilidade). Atualmente no Brasil podem ser patenteados *processos* e *produtos* farmacêuticos, alimentícios, microbiológicos, químicos e genéticos, desde que cumpram a condição de ser: um novo desenvolvimento, com características inovadoras; contar como uma produção humana, fruto do conhecimento acumulado; deve ser passível de reprodução em escala industrial (NERO, 2002, p. 200; TOZI, 2020). A crítica moderna à ciência repulsa as patentes, por impedirem o livre acesso ao conhecimento, na atual conjuntura as patentes recebem crítica ainda mais acaloradas.⁸⁸

A integração da biotecnologia com o mercado contribui para a manutenção de países pobres (os ditos em desenvolvimento ou subdesenvolvidos) dependentes de tecnologia estrangeira. As *startups* nacionais são vendidas quando começam a ser competitivas no mercado. É preciso lembrar que o Brasil não havia completado o ciclo de desenvolvimento industrial quando o setor de serviços começou a dominar a economia local. Os impactos da revolução industrial 4.0 no Brasil podem diminuir ainda mais a competitividade das empresas nacionais.

A integração a que essa fase se refere advém de condições materiais e sociais; dito de outro modo, a integração é consequência do desenvolvimento da

⁸⁸ A Resolução da 73ª Assembleia da OMS (Organização Mundial da Saúde) apoiou a quebra da lei de patentes farmacológicas, recuperando a noção de licença compulsória dos acordos TRIPS (TOZI, 2020, p. 9).

instrumentação tecnológica, alocação de recursos financeiros para pesquisas em instituições e ação dos agentes sociais. A especialização crescente no interior da biotecnologia é consoante ao surgimento de novos instrumentos e disciplinas. Há ainda outro nível de relação: a relação com o mercado, que foi intensificada a partir da década de 1980. Como mencionado, a integração entre ciência e mercado na indústria 4.0 coloca os cientistas como desenvolvedores das tecnologias habilitadoras.

Os cientistas, protagonistas da inovação e do processo de disrupção, são capazes de atuar na criação de bens de consumo de forma inovativa e de acordo com as necessidades do mercado, desse modo, seus trabalhos são orientados principalmente pelo ganho econômico, seja individual ou institucional. Assim, os artefatos biotecnológicos não são capazes de criar uma humanidade “transumana”, mas apenas uma parcela da população que pode pagar por tais bens e serviços. A integração do conhecimento biotecnológico em suas várias frentes é causal no desenvolvimento do *biohacking*,⁸⁹ que enfrenta dificuldades de regulamentação e controle, configuram potenciais ameaças como bioterrorismo, comprometem a biossegurança humana e ambiental. Além dos problemas de distribuição, outros problemas relacionados à sustentabilidade advêm da produção biotecnológica. Embora mais de 70 anos se passaram desde a criação das SCP e correlatos, a fome e desnutrição continuam a crescer.⁹⁰ Ironicamente os países empobrecidos (ou “em desenvolvimento”) são responsáveis pelo cultivo de mais da metade dos transgênicos no mundo (CIB, 2013). No Brasil, o agronegócio toma proporções cada vez maiores, a cultura de transgênicos representa 92% da cultura de soja no país (CIB, 2020).

Os objetivos articulados pela biotecnologia estão centrados em melhorar a qualidade de vida do homem, alimentar uma população crescente e criar tecnologias mais amigáveis ao meio ambiente; tais objetivos podem ser sumarizados pelo “alívio da condição humana” através do controle da natureza (MARICONDA, 2006). Ao usar organismos e suas partes como instrumentos tecnológicos, a biotecnologia esbate a distinção entre organismo vivo e artefato. Essa delimitação tênue entre natural e

⁸⁹ O *biohacking* é uma prática popular que busca integrar as aplicações da informática com a biologia, em uma espécie de “do it yourself”. Está inserido nessa prática o uso de kits comerciais (e.g. controle remoto via *smartphone* dos movimentos de uma barata, comercializado pela RoboRoach, ou kits comerciais de experimentação genética em plantas, animais e humanos, comercializado pela empresa The Odin sem necessidade de licença) em experimentos caseiros.

⁹⁰ Segundo dados da ONU a África possui a maior número de pessoas em situação de desnutrição, com mais de 19% de pessoas abaixo da linha da pobreza, seguido de Ásia com uma taxa de 8,3% e América Latina e Caribe com 7,4%. Com a crise sanitária causada pelo SARS-COV-2 a tendência é uma piora rápida desse cenário.

sintético na biotecnologia provoca diversos questionamentos, mais ainda quando somado à aplicação com finalidade comercial. Antes de tecer uma crítica acerca da relação entre ciência e os valores do capital e do mercado, é fundamental distinguir a biotecnologia das demais atividades humanas, delimitando-a, por assim dizer.

PARTE II

Um mapa mental: o limite da biotecnologia

O “limite”, que nomeia esta segunda parte, é a linha imaginária que distingue a biotecnologia das demais atividades humanas. Nesse sentido, “limite” está de acordo com a definição de “fronteira”, conceito importante para entender as interações da biotecnologia fora de seu núcleo disciplinar. Bud, ao estudar a biotecnologia, a define como objeto de fronteira⁹¹ entre engenharia e biologia. As relações que originaram o conceito de biotecnologia, expostas na Parte I, serão analisadas sob a luz da organização transversal do conhecimento proposta por Terry Shinn e colaboradores.

A biotecnologia será aqui tomada como “ciência aplicada”. Situá-la desta forma está de acordo com as interpretações atuais (Quadro 1), sumarizadas por unidades léxicas como “uso”, “utilização” e “aplicação”. Considerar a potencialidade de desenvolvimento de técnicas e tecnologias ao estudar os fenômenos biomoleculares, reitera a concepção de aplicação da ciência

Obviamente, para que haja ciência é necessário um modelo de investigação obediente aos princípios racionais e dedutivos ou indutivos, que terão como marco inicial a revolução científica do século XVI e XVII. Para além disso, a revolução industrial, engendrada por valores do capital e do mercado, dirigiu o desenvolvimento da agenda biotecnológica (e.g. fermentações industriais, cf. seção 2.1 e 2.2), ao passo que a biotecnologia influenciou o direcionamento comercial (e.g. tecnologia do DNA recombinante e bioinformática modificaram o modo como a indústria farmacêutica produzia drogas), em uma circunvolução que acompanha a ação e efetividade da linguagem.

⁹¹ Original: *boundary object*.

Quadro 1 - DEFINIÇÕES DE BIOTECNOLOGIA

Instituição	Definição
OECD	“A <u>aplicação</u> da ciência e tecnologia a organismos vivos, assim como de suas partes, produtos e modelos, para alterar materiais vivos ou não vivos para produção de conhecimento, bens e serviços” ⁹² (FRIEDRICHS, BEUZEKOM, 2018)
UNESCO	“Biotecnologia é o termo dado ao uso de plantas, animais, microrganismos e processos biológicos para alcançar o avanço nas áreas da indústria, medicina e agricultura. É a <u>utilização</u> de organismos vivos para promover o desenvolvimento em benefício da humanidade.” ⁹³ (UNESCO, 2017)
EMBRAPA	“A Biotecnologia é um ramo da ciência que <u>aplica</u> os conceitos da moderna engenharia genética na geração de novos produtos na agricultura, nos processos industriais ou na medicina” (EMBRAPA, 2020).
Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança	"Biotecnologia moderna significa a <u>aplicação</u> de: a) técnicas <i>in vitro</i> de ácido nucleico b) fusão de células de outras taxonomias que supera barreiras fisiológicas reprodutivas naturais ou barreiras de recombinação e que não são técnicas usadas na seleção e reprodução tradicional.” ⁹⁴ (DOMMELEN, 2000, p.9)
Convenção sobre Diversidade Biológica ⁹⁵	“[Biotecnologia é definida como] qualquer <u>aplicação</u> tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica” (AMANCIO & CALDAS, 2010, p.132)
SBBiotec	“[...] BIOTECNOLOGIA, entendida no seu sentido amplo de estudo e aproveitamento das propriedades dos seres vivos para fins produtivos ou de serviços à Sociedade” (SBBiotec, 2004)

FONTE do autor

A biotecnologia foi explicada na Parte I seguindo o contexto histórico de seu desenvolvimento, o que permite acompanhar a evolução do termo e a presença constante de elementos comerciais. Na fase fermentativa-agrícola, a comercialização de cervejas e alimentos fermentados; na fase industrial, a expansão da fermentação para outras atividades comerciais, como produção de acetona e butanol, impulsionada

⁹² Original: The application of science and technology to living organisms, as well as parts, products and models thereof, to alter living or non-living materials for the production of knowledge, goods and services.

⁹³ Original: Biotechnology is the term given to the use of plants, animals, micro-organisms and biological processes to achieve advancement in the areas of industry, medicine and agriculture. It is the utilization of living organisms to promote development for the benefit of mankind.

⁹⁴ Original: Modern biotechnology means the application of: a) *in vitro* nucleic acid techniques b) fusion of cells beyond the taxonomic family that overcomes natural physiological reproductive or recombination barriers and that are not techniques used in traditional breeding and selection.

⁹⁵ A ideia de uma Convenção de Diversidade Biológica a nível mundial surgiu nos EUA em 1987 e entrou em vigência em 1993.

pela Primeira Guerra Mundial, e penicilina na Segunda Guerra Mundial; na fase política, a institucionalização da biotecnologia contou com revistas, políticas estatais e industriais; a fase genética e biomolecular é marcada pela presença do agronegócio e da indústria farmacêutica, que já havia englobado a microbiologia na linha de produção, e na década de 1980 se apropriou da tecnologia do DNA recombinante, é nessa fase que surgem as *startups* e são incorporadas pelo mercado financeiro de capital de risco; a fase integrativa segue o recorte da TI, a bioinformática caracteriza os projetos, embora o elemento comercial seja menos evidente, a inovação científica é imanente ao sistema capitalista e determina a permanência e competitividade das empresas no mercado.

Ao mesmo tempo que a biotecnologia ganha *status* disciplinar, consolida-se no mercado comercial. Essa concomitância será explicada em termos de circulação entre fronteiras. Para estudar os fatores que direcionam as atividades dessa ciência aplicada, segue uma breve explicação da atividade científica.

3.1 A prática científica

O modelo científico abordado será aquele desenvolvido no seio de instituições (institutos de pesquisa, departamentos de universidades e setores empresariais de pesquisa e desenvolvimento), onde o delinear de teorias e desenvolver das pesquisas acontece em condições iniciais e de contorno bem estabelecidas e de acordo com critérios cognitivos. A intenção dessa delimitação da ciência é aproximar a abordagem do método científico da prática da biotecnologia.

Na prática científica o fundo ideológico faz parte da estratégia adotada para estabelecer o entendimento, definindo as perguntas a serem feitas, que organismos estudar, quais experimentos fazem sentido e que pesquisas são permitidas. Esse fundo ideológico é influenciado por valores pessoais, sejam eles intencionais ou não. Keller (1995) fornece dois exemplos em que a linguagem científica foi direcionada por valores pessoais e promoveu mudanças na agenda científica. O primeiro exemplo é o modo inicial de divulgação da fertilização biológica: há 20 anos o processo era descrito segundo a “metáfora da Bela Adormecida”, em que todo protagonismo viria do espermatozóide, o óvulo esperaria, inerte, a sua ativação pelo agente exógeno, o que estava perfeitamente alinhado aos estereótipos sexuais que prevaleciam na época; com a transformação na *ideologia de gênero*, houve uma mudança na descrição, que

colocou ambos, espermatozóide e óvulo, como protagonistas da fertilização: “o processo pelo qual óvulo e espermatozóide se encontram e se fundem”⁹⁶ (ALBERTS *et al. apud* KELLER, 1995, p. XII). O segundo exemplo é o obscurecimento da embriologia causado pelo “discurso da ação do gene” (comentado na seção 2.4 da Parte I).

O valor pessoal que é repercutido na linguagem da fertilização é facilmente identificável, fruto do machismo estrutural. No caso do discurso da ação do gene, escrever trabalhos que enalteceram o gene, dotando-o de uma espécie de inteligência capaz de organizar as células e conseqüentemente os organismos, é uma conduta adotada por geneticistas com o intuito de promover a genética e cooptar recursos materiais para desenvolvimento do seu trabalho. Em ambos os casos os valores pessoais levam à adoção de uma linguagem específica e eficaz.

Quando valores pessoais direcionam a ciência para obtenção de benefícios monetários ou individuais, consoma-se o “conflito de interesse”. De fato, o momento de articulação da ciência com a sociedade, principalmente por canais midiáticos, pode servir a interesses pessoais de pesquisadores ou a interesses empresariais: a forma de divulgação de pesquisas pode ser um movimento estratégico para obscurecer áreas de interesse ou cooptar recursos para pesquisas.

O resgate histórico e as fases do desenvolvimento da biotecnologia corroboram a ideia de que o plano ideológico voltado para o mercado é necessário na ideia de “biotecnologia”. Pode-se dizer que ela foi elaborada para atender à necessidade do *controle* matemático e parametrizado de objetos biológicos. Os âmbitos científico e empresarial se misturam ao ponto de tornar difícil dissociá-los e visualizar os limites entre os dois. No intuito de explicitar o modo de operação da ciência aplicada, os momentos da atividade científica propostos pelos filósofos da ciência Hugh Lacey e Pablo Mariconda serão descritos nesta seção. Para efeito de exposição, a atividade será separada da análise dos valores, esta será retomada na Parte III deste trabalho.

Os autores citados dividem a atividade científica em cinco etapas: (1) a escolha da estratégia de pesquisa, (2) desenvolvimento da pesquisa, (3) avaliação cognitiva de teorias e hipóteses (etapa em que o cientista conclui, com base na experimentação, sua pesquisa), (4) disseminação dos resultados científicos através de diferentes tipos

⁹⁶ Original: “*The process by which egg and sperm find each other and fuse*”.

de mídia e, por último, (5) a fase de aplicação dos resultados científicos (LACEY & MARICONDA, 2014a, p. 181-4).

Os cinco momentos da atividade científica seguem a sequência “observação - formulação da teoria - observação - não aceitação/aceitação da teoria - disseminação - aplicação”. Na etapa (1) a estratégia que conduzirá a pesquisa é adotada. A estratégia exerce forte influência na formulação da teoria, delimitando o arcabouço teórico *a priori*, que tipo de linguagem será aceitável, qual fenômeno será relevante e os dados que serão buscados. Em regra, a estratégia adotada pela ciência segue os preceitos materialistas de redução, experimentação e parametrização através da matemática. Os dados buscados são aqueles quantitativos, que possibilitam categorizar a natureza em torno da frequência de fenômenos e estabelecer leis. Lacey denomina esse tipo de estratégia de “estratégia materialista de restrição e seleção” ou “estratégia materialista” (2008a, p. 91; 2010, p. 46), ou ainda “estratégia descontextualizadora” (LACEY, 2008a, p. 189; LACEY & MARICONDA, 2014a, p. 182; LACEY & MARICONDA, 2014b, p. 646-7), que representa um conjunto de estratégias congruentes, mas não idênticas entre si. Quando o objetivo da pesquisa é estabelecer o controle da natureza, a estratégia adotada é a descontextualizadora, todavia diferentes disciplinas adotam estratégias descontextualizadoras peculiares ao tipo de controle da natureza que desejam exercer.

A estratégia é dita “descontextualizadora”, pois isola o objeto de estudo de seu entorno, retira o pano de fundo histórico, subtrai seu papel social nas práticas humanas (LACEY, 2008a, p. 95), embora facilite o entendimento, o afasta do mundo tal como ele é. Esse tipo particular de estratégia é frutífero e versátil: frutífero, porque permite o acúmulo de diversos fenômenos, a descoberta dos componentes e das leis da ordem subjacente aos fenômenos e permite que possibilidades desconhecidas sejam identificadas; versátil, porque novas estratégias descontextualizadoras são planejadas para dar conta de fenômenos que as anteriores não foram capazes de tratar. “A variedade de estratégias descontextualizadoras, o amplo espectro de objetos/fenômenos que elas podem abarcar, e as novas possibilidades de aplicação (...) continuam a expandir-se aparentemente sem limites”⁹⁷ (LACEY, 2018, p. 607).

⁹⁷ Original: “The variety of fruitful DSs, the range of objects/phenomena that can be grasped under them, and the novel possibilities for practical application that become identified, all continue to expand apparently *without limit*. (grifo do autor)

A estratégia adotada pela biotecnologia, mesmo no recorte da biologia sistêmica e das ômicas, abstrai das relações humanas o organismo, usa teorias da química e da física como arcabouço teórico *a priori*, e busca nas frequências dos fenômenos relações matemáticas, o “controle da natureza”; portanto, a estratégia adotada pela biotecnologia é a descontextualizadora.

A etapa (2) diz respeito à experimentação, observação dos fenômenos e coleta dos dados (preferencialmente quantitativos). Essa etapa não se restringe apenas aos laboratórios ou locais onde há controle das condições iniciais e de contorno, mas está associada à validação, englobando toda a cadeia de desenvolvimento da pesquisa. As instituições de fomento, sejam empresariais ou estatais, fornecem os recursos materiais para o desenvolvimento da pesquisa. Instituições regulatórias são relevantes a fim de manter condições favoráveis para aceitação da teoria da próxima etapa (LACEY & MARICONDA, 2014a, p. 183-4; 2014b, p. 647-8). Assim, além das restrições que a adoção da estratégia impõe, o desenvolvimento da pesquisa deve ser (mas nem sempre é) limitado pelo aparato legal, a fim de garantir a segurança do indivíduo, meio ambiente e sociedade.

A etapa (3) de avaliação cognitiva está relacionada com a aceitação ou não aceitação da teoria pela comunidade científica. No modelo de interação entre atividade científica e valores, a racionalidade é analisada em termos de um conjunto de valores específicos, os valores cognitivos, de tal forma que:

“(...) os juízos científicos corretos são feitos por meio do diálogo entre os membros da comunidade científica acerca do nível de manifestação de tais valores por uma teoria, ou por teorias rivais, em vez de por meio da aplicação de um algoritmo ideal por cientistas individuais” (LACEY, 2008a, p. 83).

Em geral, a escolha de hipóteses ocorre em um contexto de escolha entre hipóteses alternativas; por isso, os valores cognitivos devem ser expressos em alto grau, de modo que escolher entre duas teorias significa optar por aquela que expressa os valores cognitivos em maior grau (LACEY & MARICONDA, 2014a, p. 181-2; 2014b, p. 645-6). Alguns dos valores cognitivos, que devem ser expressos, são: adequação empírica, que está relacionada com a precisão dos dados obtidos e primazia dos dados experimentais e quantitativos; correspondência empírica entre as hipóteses investigadas e os dados experimentais; consistência no interior da própria teoria e com teorias ou concepções dominantes sobre a natureza; simplicidade, ou seja, clareza

conceitual, parcimônia, ausência de hipóteses *ad hoc*; poder explicativo e preditivo; fecundidade, quer dizer, deve dar origem a novas questões, desencadeando novos programas de pesquisa (LACEY, 2008a, p. 84-6).

Após a aceitação de uma teoria pela comunidade científica, ela é disseminada (4), seja dentro da academia – em forma de periódicos, livros, congressos, comunicações – ou fora dela - em jornal, rádio, televisão, blog, podcast, propaganda. Essa é a etapa em que o cientista se comunica com seus pares e com o público, circulando a pesquisa empreendida, divulgando os resultados (LACEY & MARICONDA, 2014, p. 648). Como já mencionado, a biotecnologia, especialmente a genética, procurou comunicar-se com o público com o intuito de elevar o *status* disciplinar. A exemplo de Craig Venter,⁹⁸ a divulgação pode ser usada para dar visibilidade ao cientista e instituição associada à pesquisa: “O caso do experimento de Venter [2010] é sintomático, porque revela como a lógica da divulgação científica se funde com a lógica do espetáculo” (BLASCO, 2013, p. 17).

A propaganda, disseminação da pesquisa sem revelar (ou revelando parcialmente) seus métodos, com o propósito de despertar interesse, decorre da formulação de produtos. O interesse, nesse aspecto, é com a aplicação (5) e na rentabilidade que a pesquisa pode trazer aos seus desenvolvedores. Esse é o último momento da atividade científica, onde interesses de grupos sociais distintos se chocam com maior vivacidade.

Para facilitar o entendimento toma-se como exemplo a pesquisa direcionada para o teste de eficiência de certo princípio ativo, com intuito de liberação comercial, para controle de *Phakopsora pachyrhizi* em monocultura de soja. Antes de criar uma teoria, uma observação inicial é necessária, nesse exemplo: a existência da doença do campo conhecida como ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora spp*, responsável pela diminuição significativa da safra do grão. A instituição onde se desenvolve a pesquisa exerce forte influência na escolha da estratégia, já que o intuito do pesquisador, ao pensar em uma teoria, é que ela seja aceita por seus pares. Assim, adota-se uma estratégia que reconhecidamente irá levar ao sucesso da teoria, a

⁹⁸ Em 2010, Craig Venter e colaboradores foram divulgados como pioneiros em produzir a primeira célula sintética (*synthia*). De fato, a produção *de novo* de um genoma de organismo já existente (bactérias *Mycoplasma mycoides*) e sua inserção em organismo do mesmo gênero (*Mycoplasma capricolum*), foi bem sucedida, com a substituição total do genoma, a bactéria passou a expressar um novo DNA. Entretanto, não é possível dizer que uma nova célula foi gerada, o DNA sintético usou a maquinaria celular pré-existente.

ciência favorece a adoção da estratégia descontextualizadora para o fim de eficácia no controle da doença.

A pesquisa irá seguir os princípios da química de interação entre substância e as rotas metabólicas do microrganismo e da soja. Os experimentos devem ser delineados para espelhar a base teórica da fitopatologia, microbiologia e se o princípio ativo for sintético, da química e caso seja orgânico, da bioquímica. A estratégia adotada é descontextualizadora e envolve a restrição da hipótese à base teórica adotada, além da seleção dos dados correspondentes relevantes para a base escolhida.

Após ser delineada, ela deve ser aceita pelo financiador (órgãos do governo, empresas, fundos compartilhados)⁹⁹ e com os recursos materiais e sociais a pesquisa é desenvolvida. Experiências de toxicidade no microrganismo patogênico e na cultivar são realizadas em diferentes concentrações. O microrganismo é isolado e cultivado, assim como a soja cresce, em condições controladas. O enviesamento laboral do experimento deve ser evitado, dessa forma o experimento deve ser feito no mínimo em duplicata, as amostras devem ser randomizadas. Dados matemáticos e computacionais são gerados, relacionados com as estruturas, interações de seus componentes e leis subjacentes aos fenômenos. As condições laboratoriais são diferentes das condições reais. Para criar um produto comercializável, a escala deve ser ampliada, seguindo para ensaio em casa de vegetação, em estufas de maior porte e depois em experimento para o campo aberto.

Ainda durante o desenvolvimento, a ação do MPT, CTNBio, Anvisa, MAPA, asseguram que a pesquisa estará de acordo com as leis e normas estabelecidas para proteção do cientista e seus colegas de trabalho, meio ambiente e sociedade, inclui ambiente de trabalho e EPI conforme as normas de biossegurança e segurança no trabalho, testes de citotoxicidade do princípio ativo, tratamento dos resíduos da pesquisa no intuito de minimizar o impacto ambiental no descarte. Quando a pesquisa se desenvolve conforme essas diretrizes, a probabilidade de aceitação aumenta.

Essa pesquisa, por envolver várias etapas, tem múltiplos pontos em que a teoria é avaliada para aceitação ou não aceitação. Na etapa laboratorial e em cada etapa de escalonamento (estufas e campo) a pesquisa será avaliada. Os dados

⁹⁹ Os chamados *crowdfunding*, foram implementados pela UFRJ em 2016 no sítio “Entropia Coletiva”. Ligando pesquisadores, com acesso a laboratórios comprovados, a qualquer pessoa que queira contribuir financeiramente com o desenvolvimento da pesquisa.

experimentais têm primazia epistêmica, que significa que as informações geradas da experiência serão superiores a outras não submetidas ao controle experimental.

Na etapa de disseminação, a pesquisa deve ser aceita pelo público que irá implementá-la. No exemplo: o agricultor. O público deve preferir o produto originado da teoria ao invés de outros existentes no mercado. Ou se não houver no mercado produto similar, a aplicação abrirá um novo nicho de mercado em um processo de disrupção criativa, na melhor das hipóteses. A formulação que envolve o produto comercial não é pública, apenas o princípio ativo o pode ser. Patentes e defesa de propriedade intelectual agem nessa etapa. O princípio ativo é transformado em produto e aplicado na lavoura. Quando aplicado, o princípio ativo é reintroduzido em atividades sociais como um produto comercial, de forma que deve atender a uma perspectiva de geração de lucro para o desenvolvedor. As consequências que derivam da utilização do produto pela sociedade escapam do controle da pesquisa.

Em cada uma das etapas, determinados conjuntos de valores são manifestados. Nas etapas (1), (2), (4) e (5) os valores cognitivos se misturam aos valores sociais, éticos, políticos e econômicos. Na etapa (3) apenas os valores cognitivos podem ser expressos. Em suas manifestações concretas os valores não cognitivos não são separáveis dos cognitivos; contudo, na avaliação de como certa hipótese pode ser eficaz para o controle de fenômenos e processos (no caso da estratégia descontextualizadora) valores sociais, éticos, políticos ou econômicos são irrelevantes. A principal distinção entre valores cognitivos e não cognitivos é que estes mantêm relações com os desejos que impelem as ações humanas, enquanto aqueles estão relacionados à racionalidade.

O modelo de interação entre atividades científicas e valores assume a existência de comunicação entre diferentes atividades sociais. A ideia de prática científica inclui atividades relacionadas ao laboratório, práticas de comunicação e diversas outras interações sociais entre cientistas e não cientistas. Por ser produto da ação de pessoas, não é estática. As etapas da atividade são flexíveis e muitas vezes não se dão necessariamente na ordem exposta. Cada atividade possui seu próprio conjunto de valores, divisão de trabalho, público-alvo e modo de cognição (linguagem, armazenamento de informações, fenômenos de interesse e dados relevantes). Na biotecnologia, a comutação entre ciência e mercado/comércio é premissa para sua existência, com efeito a comunicação entre diferentes atividades sociais faz parte do modo como se estrutura o conhecimento biotecnológico.

3.2. A biotecnologia como atividade de fronteira

É na fronteira que a comunicação entre diferentes formas de organização acontece. Abbott (1995) propõe as fronteiras como precedentes às instituições. Os atores sociais movimentam-se em diferentes atividades e então objetos de fronteira surgem. Entidades sociais passam a existir quando os atores sociais criam fronteiras. A existência da fronteira precede a existência da entidade (ABBOTT, 1995, p. 860). Na história da biotecnologia apresentada na Parte I, as atividades que envolviam a fermentação evidenciaram a conjunção das ideias das ciências biológica e química com a engenharia, à medida que a instrumentação avançou e novos artefatos foram criados (antibióticos, sequenciadores de biomoléculas, bioinformática), surgiu a necessidade de um conceito que fosse capaz de agrupar a produção dos artefatos emergentes. Diferentes denominações para a mesma fronteira foram adotados em momentos diferentes (zimotécnica, biotécnica e biotecnologia), posto que a fronteira antecede as entidades, a forma da fronteira é dependente do contexto.

Tal como a linguagem, a fronteira é dinâmica, está continuamente em alteração (e.g. caso da incorporação da nanobiotecnologia pela biotecnologia). Bud, ao classificar a biotecnologia como objeto de fronteira entre engenharia e ciência aplicada, constata a impossibilidade do termo adquirir sentido preciso, essa impossibilidade é corroborada pela variedade de definições disponíveis. Portanto, diz-se “objeto de fronteira”, um objeto plástico suficientemente capaz de atender às necessidades locais, havendo variações para palavra (objeto) conforme localidade e necessidade de tradução¹⁰⁰ entre diferentes idiomas. Quanto menos específica for a definição de um termo que denomina um objeto de fronteira, mais artefatos decorrentes da atividade social ele pode englobar, logo maior será sua adequação à dinâmica da fronteira. Ademais, essa classificação permite situar a biotecnologia entre as instituições públicas (acadêmicas) e privadas (empresas) e reafirma a premissa anteriormente mencionada, i.e., de que a biotecnologia é imbricada ao mercado/comércio.

É no momento de aplicação do conhecimento que o vínculo entre biotecnologia e comércio é mais perceptível. É nesse momento que o artefato, transformado em

¹⁰⁰ Tradução deve ser entendida como *processo dinâmico* entre diferentes localidades.

produto, tem potencial de gerar ganhos econômicos. Através do contato com o usuário o artefato é inserido nas atividades sociais. As relações que permitem que artefatos biotecnológicos sejam criados e direcionados à utilidade envolvem várias entidades, ou instituições (jurídicas, políticas, religiosas, educacionais). Para o estudo aqui proposto aponta-se para duas: acadêmica e comercial.

3.3 Regimes de operação da biotecnologia

A biotecnologia usa, para sua produção, a lógica de mercado e a intersecção entre as várias expressões da ciência. Localiza-se entre a engenharia e a ciência, a academia e a empresa. Dessa forma, é bem representada pela teoria transversalista de produção e difusão da ciência, proposta por Terry Shinn (SHINN & JOERGES, 2002; SHINN & LAMY, 2006; SHINN, 2008; MARCOVICH & SHINN, 2012). Shinn propõe a organização da ciência em quatro regimes, a saber: disciplinar, utilitário, transitório e transversal. As fronteiras distinguem entre as atividades humanas e permitem a comunicação entre os regimes (MARCOVICH & SHINN, 2012, p. 34). Há cruzamento entre os regimes por ação dos atores sociais, que se envolvem com projetos de pesquisa capazes de integrar diferentes disciplinas e regimes.

Os dois regimes principais são o disciplinar e o utilitário. As instituições acadêmicas são representadas pelo regime disciplinar e as comerciais pelo regime utilitário. Os regimes transitório e transversal circulam entre os dois principais. É interessante ressaltar que o regime transversal não tem as suas fronteiras apagadas, contudo essas fronteiras são transponíveis e limitadas pelo que os autores chamam “transversalidade”.

O Regime Disciplinar tem sua origem no século XIX e é central para a ciência, uma vez que divide e aprofunda o conhecimento nas diversas áreas que compõem a ciência. É desse regime que emana a base teórica, que será importante na construção dos outros regimes. Há um papel dual no regime disciplinar: reproduzir conhecimento na forma de ensino, cuja implicação é o estudante graduado (capital humano); e produzir conhecimentos originais na atividade de pesquisa (capital científico), que toma forma de publicações. Um traço marcante desse regime é a orientação segundo a autorreferência, com uma lógica circular em muitos aspectos (MARCOVICH & SHINN, 2012, p. 39-42). O mercado a que se destina é o próprio regime disciplinar, seus consumidores são os próprios praticantes (o produto das pesquisas e a avaliação

da qualidade são endereçados, geralmente, aos pares da disciplina), assim ele gera e absorve seus próprios produtos. A forma de disseminação da informação é através de artigos, publicados em revistas científicas ou banco de dados, cuja curadoria é composta por parceiros disciplinares. O regime constitui, portanto, uma *economia cognitiva fechada*; contudo

Isso [a estabilidade do regime] não implica em dizer que nada muda no regime disciplinar, mas a quantidade de mudança, como a tentativa de introduzir componentes econômicos/empresariais, é pequena quando comparada à aparente força e autonomia do regime disciplinar, que é tanto plástico quanto se apropria de oportunidades estatais, militares e industriais e continua na sua própria estrutura e agenda de auto referêcia” (Shinn & Lamy *apud* Marcovich & Shinn, 2012, p. 39)¹⁰¹

O aumento da produção e quantidade de conhecimento, de novas formas de tecnologia, da complexidade cognitiva e técnica da pesquisa e o crescimento no fluxo da comunicação, característicos da *big science*, criam uma disciplinaridade mais flexível, mesmo assim autorregulada e fechada em si mesma. Nesse sentido os cientistas podem tanto desenvolver seus projetos no núcleo disciplinar, quanto na fronteira entre as disciplinas. Quando no desenvolvimento de teorias é necessário a comunicação entre disciplinas, um profissional se une a outros de outras áreas, sem abandonar a disciplina de referência. Os projetos são cruciais para a extensão transversal do conhecimento, assim como para a evolução da disciplina. Nesse caso a fronteira permite a preservação da identidade cognitiva e institucional da comunidade a que se refere, além de possibilitar a colaboração entre diversas áreas.

O regime utilitário de produção e difusão da ciência e tecnologia não tem como parâmetro a produção de conhecimento, mas sim a utilização de conhecimento técnico a fim de produzir bens e serviços. Portanto, a existência do regime disciplinar é anterior ao regime utilitário. De fato, o regime utilitário surgiu mais de meio século após o regime disciplinar, sua base institucional reside nas escolas de engenharia, por sua vez relacionadas às indústrias (MARCOVICH & SHINN, 2012, p. 43). O regime utilitário usa as teorias e leis propostas pelo regime disciplinar. O rigor formal e matematização das engenharias assemelha-se às disciplinas científicas, o que permite a circulação de seus artefatos em revistas científicas, boletins internos e relatórios públicos. Todavia os objetivos e epistemologia diferem: a disciplinaridade

¹⁰¹ Original: This does not imply that nothing changes in the disciplinary regime, but the amount of change, such as attempts to introduce economic/entrepreneurial components, pails when compared to the apparent strength and autonomy of the disciplinary regime which is both plastic when seizing state, military or industrial opportunities and steadfast to its own self-referencing agenda and structure.

busca proposições universais e transcendentais em termos de espaço, tempo, cultura; já as proposições utilitárias buscam soluções para problemas específicos e locais. Esse regime é regulado pela economia, serve à indústria, e também está presente nas forças armadas. Sua principal característica é a busca por controle dos objetos. A metodologia é baseada em tentativa e erro, onde a modelagem funciona como solução simplificada para resolver problemas ligados à aplicação; entretanto, a toda modelagem é adjacente uma margem de erro, os problemas que emergem daí sempre são *pos facto*, ou seja, são sempre percebidos depois que o produto é materializado e então observa-se o mal funcionamento, ou catástrofe. Esse regime difere dos outros por seu caráter oportunista de não querer o avanço cognitivo *per se*, mas por querer apenas utilizar esses avanços (MARCOVICH & SHINN, 2012, p. 47).

O regime transitório da ciência e tecnologia foi o primeiro regime a surgir, em um momento de pouca especialização do conhecimento científico, aos poucos tornou-se um regime menos frequente. Transita entre o regime disciplinar e o regime utilitário em um movimento transfronteira ou de “respiração”. Esse movimento tende a ser um componente, embora pouco frequente, da trajetória profissional de cientistas. A maioria dos indivíduos atravessam a fronteira disciplinar em um empreendimento e então voltam a sua disciplina de origem, uma ou duas vezes. Os profissionais identificam a si próprios como participantes do regime disciplinar e estrategicamente querem estar ligados a ele. No regime transitório, a lógica do regime disciplinar é continuamente desafiada nas atividades industriais. As regras e lógicas profissionais, a balança do poder, o poder da economia, as considerações pragmáticas, satisfação do cliente e os motivos capitalistas, todos, fazem parte do balanço – considerações ausentes no regime disciplinar (MARCOVICH & SHINN, 2012, p. 50-2). Os profissionais do regime disciplinar não transgridem a fronteira disciplinar, como as pessoas identificadas com o regime transitório, seu referencial é único: a comunicação extra disciplinar é mantida com cientistas que trabalham em outras disciplinas, e não além. A comunicação emana do terreno da disciplina e é feita na segurança da fronteira.

Os indivíduos que formam o regime transitório devem, em algum grau, sobrepor algumas operações mentais transitórias a um substrato epistemológico disciplinar mais forte e permanente, quando envolvidos em um empreendimento. Eles mobilizam componentes selecionados da epistemologia utilitária com o intuito de elaborar questões específicas de possíveis interesses empresariais que tenham lidado ou

formulado no curso de pesquisas disciplinares anteriores. Quando concluem seus empreendimentos voltam para as suas disciplinas de origem, onde eles “regeneram” a epistemologia disciplinar. A esse movimento “universidade→empreendimento comercial→universidade” que é feito pelos profissionais do regime transitório Marcovich e Shinn (2012) nomeiam “respiração”. Eles a definem como uma dinâmica que se origina dentro do regime disciplinar. Pode ser vista como o motor que promove a circulação de certos profissionais entre o regime disciplinar e as empresas, e ainda é a principal força que sustenta o regime transitório.

No momento inicial de formação da fronteira em que se insere a biotecnologia, os cientistas que irão direcionar o rumo dessa disciplina atuam predominantemente neste último regime. A trajetória profissional de Louis Pasteur ilustra tal afirmação. Doutor em química e física em 1847, foi professor de química na Universidade de Dijon, depois em Estrasburgo e em 1854 foi nomeado decano da Faculdade de Ciências na Universidade de Lille. Ao longo de sua carreira adicionou importantes contribuições para a ciência: estudou a capacidade de saturação do ácido arsenioso, descobriu o dimorfismo dextrógiro e levógiro do ácido tartárico, refutou a proposição da abiogênese (ou vida espontânea), correlacionou a cristalografia com fermentação de microrganismos.

É em Lille, local onde o vínculo universidade-indústria já estava estabelecido no século XIX, que Pasteur realiza suas contribuições para o mercado. A fabricação de álcool de beterraba era importante para o comércio local. Foi um estudante dos laboratórios de Pasteur, filho do industrialista produtor de álcool MC Bigo, que levou o cientista ao problema de diminuição do rendimento da destilação e o fez voltar seu interesse para a fermentação. Em 1857, Pasteur publica seu primeiro artigo em fermentação, no qual indica a centralidade da atividade de microrganismos no processo, mais ainda, que o tipo de fermentação está relacionado com o tipo de organismo, o meio em que esse organismo está inserido e a presença de compostos químicos que podem intervir em seu funcionamento. Embora Pasteur nunca tenha mencionado o apoio à indústria, seus trabalhos (principalmente entre 1857-1876) refletem a demanda industrial (GEISON, 1995, p. 92). Em 1863, ele propôs um processo para melhorar a qualidade e preservar vinhos, cervejas e laticínios, naquilo que depois viria a ser conhecido como pasteurização.

Pasteur nunca teve um vínculo explícito com a indústria. A maior parte de seu trabalho foi financiado pelo Estado e desenvolvido sobretudo na universidade. O

movimento transfronteira acontece no tocante à fermentação. Ele foi responsável por inculcar em seus alunos da Universidade de Lille os conhecimentos para atuação na indústria local¹⁰² (princípios e técnicas de fabricação e refino de açúcar, fermentação e fabricação de álcool de beterraba). Pasteur beneficiou-se comercialmente das suas descobertas relacionadas à fermentação, com patentes e licenças: patente para o processo de fermentação alcoólica, filtro bacteriano, método de manufatura e preservação de vinho, vinagre e cerveja (pasteurização) (GEISON, 1995, p. 41).

O quarto regime, denominado regime transversalista de pesquisa de tecnologia, surge na Alemanha no século XIX, através da reunião dos setores militar, político e industrial. O objetivo do novo regime era juntar diversidade de aplicações em uma ampla faixa de domínios disciplinares e industriais, sob a forma de uma nova tecnologia. Mais do que entender as leis da natureza, esse regime explora as leis de instrumentação. O controle será exercido nesta última, ou seja, na instrumentação, e implica no desenvolvimento de dispositivos genéricos. Um dispositivo genérico expressa *princípios fundamentais de instrumentação* que poderiam subsequentemente ser integrados em funções tecnológicas específicas e tarefas através de uma instrumentação adequada (MARCOVICH & SHINN, 2012, p. 55). Esse tipo de instrumentação permite o redesenho de acordo com a necessidade, tornando-o flexível e multifuncional. O profissional deste último regime opera em áreas intersticiais. Shinn (2008, p. 35) os denomina de “tecnólogos de pesquisa”, trabalham em áreas de fronteira, situadas no espaço temporal relativamente livre de restrições exógenas imediatas, podem focar-se no estudo de princípios de instrumentação. Trabalhar nessa região intersticial facilita as oportunidades de travessia da fronteira.

Para distinguir entre o regime de tecnologia de pesquisa e o do regime transitório, cujos profissionais são também envolvidos na travessia de fronteira, olha-se para o referencial adotado: no último a troca entre o referencial disciplinar e o referencial utilitário é simultânea com a respiração. A travessia de fronteira, entretanto, ocorre infreqüentemente no caso do regime transitório, em contraste com os tecnólogos de pesquisa, que rotineiramente se movem nas fronteiras. Então, em um caso a travessia da fronteira é uma atividade excepcional, enquanto no outro, é uma atividade normativa. Outra diferença fundamental é que os profissionais do regime transitório são muito ligados a suas disciplinas. As suas disciplinas constituem o local

¹⁰² Pasteur em 1854 criou um novo diploma “certificado de capacidade em ciências aplicadas”, para atender a necessidade de estudantes que queriam trabalhar em fábricas (GEISON, 1995, p. 26).

onde eles operam, isso lhes dá identidade e legitimidade. Com os tecnólogos de pesquisa, a identidade primária e referencial é todo o tempo a instrumentação e os esforços relacionados ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de instrumentos. Genericidade e os princípios de instrumentação compõem o seu parâmetro de realização, em vez das leis da natureza e as distinções disciplinares.

À medida que a indústria toma a inovação como diretiva de mercado e o número de empresas de biotecnologia cresce, a figura do cientista empreendedor ao lado do cientista inovador aumenta em número, influência e autoridade. Nessa conformação, o regime que predomina é o transitório (SHINN, 2008, p. 29), a respiração tem sua frequência aumentada e o cientista passa a ter maior contato com o mercado. Ainda que o modo de produção do conhecimento biotecnológico seja coerente com o regime transitório, acumula características do regime transversalista de tecnologia de pesquisa: é objeto de fronteira, ou seja, os atores sociais atuam numa área intersticial (engenharia e ciência); é capaz de criar instrumentação aplicável em vários campos, por exemplo a edição genética, usada na agricultura, farmácia, química, medicina e na ciência para produção de outras tecnologias; o referencial teórico da biotecnologia não é a produção de conhecimento *per se*, como já discutido a biotecnologia é orientada pela aplicação comercial. A instrumentação biotecnológica produzida nas universidades não está necessariamente relacionada a empresas, mas sempre está relacionada à resolução de problemas humanos, com potencial ganho econômico.

A análise desenvolvida por Shinn sobre a emergência e dinâmica dos regimes disciplinar, utilitário, transitório e de tecnologia de pesquisa leva em consideração bases históricas, institucionais, organizacionais, epistemológicas e sociais, e demonstra a pluralidade dos aspectos da ciência, o que torna inconcebível a ideia de unidade da ciência como um todo homogêneo. Os regimes propostos são interconectados e fluidos. Interconectados porque são dependentes entre si. Fluidos porque são divisões que caracterizam a atividade humana na ciência, que está em constante movimento, fruto da historicidade. Variantes do regime transitório estão emergindo com a *big science*, que caracteriza a fase integrativa da biotecnologia. Não é absurdo dizer que a produção e difusão dessa ciência use artifícios característicos aos regimes transitório e de tecnologia de pesquisa. A nova variação no regime de produção científica, mesmo que mantenha adequação aos quatro regimes de Shinn,

[...] prenuncia a queda da academia e da universidade, o fim das disciplinas e sua substituição por questões derivadas das questões econômicas e sociais, o fim da “teoria” enquanto fim central e sua substituição por soluções práticas para problemas concretos, o desaparecimento de laboratórios e da pesquisa em equipe tal como os conhecemos e sua substituição por grupos fluidos que se decompõem e recompõem à medida que as habilidades são requeridas. O modo 2 [que surge pós Segunda Guerra Mundial] anuncia o eclipse e o final da ciência tal como historicamente conhecida. Seus promotores frequentemente usam a tecnologia, a nanociência e a biotecnologia como exemplares (SHINN & LAMY, 2006, p. 496).

O excerto acima indica o fim de uma forma disciplinar anterior, “historicamente conhecida”, que garante a teoria o fim em si mesma, dito de outro modo, a ciência livre de valores está cedendo lugar à ciência comercialmente orientada. Retoma-se agora a divisão da atividade científica proposta por Lacey e Mariconda (2014a, 2014b). O quinto momento (aplicação) dessa divisão é especialmente adequado aos regimes transitório, suas variantes e regime de tecnologia de pesquisa. A aplicação é o motivo para movimentação nesses regimes, que terão como base de sustentação a disciplina acadêmica. É a partir das possibilidades materiais das teorias científicas que a aplicação comercial é possível, assim sendo, para investigar tais possibilidades primeiro adota-se uma estratégia. Se o intuito é criar uma aplicação voltada para o capital e mercado, então a estratégia materialista de restrição e seleção tem se provado bastante funcional nos citados regimes. Os valores que direcionam essa estratégia serão determinantes para a aplicação.

PARTE III

Os valores na ciência: possível rota para o uso da biotecnologia de forma contextualizada

A biotecnologia é uma atividade social delimitada através da sua relação de fronteira, suas instituições buscam resolver problemas humanos por intervenção da instrumentação, que usa o regime disciplinar como referencial teórico para dar legitimidade às teorias propostas. Cada regime de produção e difusão da ciência e tecnologia tem um modo de operação próprio e o conjunto de valores que compõe cada regime é diferente entre si.

Se o regime disciplinar é autorregulado e livre de interferências exógenas para seu funcionamento, então é possível dizer que esse regime sustenta o ideal de ciência livre de valores. Sem embargo, os valores cognitivos devem ser as causas genitivas das teorias desenvolvidas e aceitas nesse regime. Nos outros regimes esse valor desempenha função no que toca a retórica e legitimidade, mas para o norteamento das pesquisas outros valores serão proeminentes. A proposição da ciência livre de valores e suas críticas são estudadas a seguir a fim de entender o problema que a atuação da biotecnologia nos moldes dos regimes transitório e transversalista traz para comunidade científica.

4.1 Os ideais da ciência livre de valores

As bases epistemológicas do método científico moderno são abrangência, imparcialidade/objetividade,¹⁰³ neutralidade e autonomia. Ideais que endossam a afirmação de que “a ciência é livre de valores”. Essa configuração carrega proposições de filósofos como Francis Bacon (1561-1626), Galileu Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650) e David Hume (1711-1776), que nesse texto serão discutidos através dos trabalhos de Pablo Rubén Mariconda e Hugh Lacey, centrais na discussão da influência dos valores sociais na ciência e para a proposta do uso da biotecnologia de forma contextualizada. Retomar essas premissas coloca luz na disciplinaridade historicamente conhecida e induz uma reflexão acerca do ideal científico.

¹⁰³ A imparcialidade assegura a objetividade, sendo, portanto, conceitos complementares (MARICONDA, 2006, p. 467). A existência da imparcialidade é condição necessária para existência da objetividade, por esse motivo a discussão foca na imparcialidade ao invés de objetividade.

A estrutura do método das ciências naturais surge entre o século XVI e XVII, com a contestação do autoritarismo religioso. Autores como Bacon, Galileu e Descartes, na tentativa de elaborar uma forma de conhecimento que não fosse influenciado pela autoridade da Igreja católica, afastaram ativamente a esfera dos valores do método da ciência, o que levou, em última análise, à separação entre ciências naturais e ciências morais no contexto de construção do Estado laico (MARICONDA, 2006, p. 453-8). A dicotomia entre fato e valor garante que os fenômenos possam ser explicados usando os sentidos e o intelecto. Fatos são objetivos e categóricos, enquanto valores são subjetivos e estão sujeitos a fantasias e predileções.

Os efeitos distorcidos da subjetividade humana podem, e devem, ser “expurgados”, como coloca Bacon no *Novum Organum* (1620), do âmbito científico. O afastamento, maior possível, das influências valorativas em relação às teorias científicas faz parte da crítica baconiana à autoridade religiosa, ao hábito desenvolvido pela educação e convívio social (MARICONDA, 2006, p. 455-6). Bacon apresenta a mente humana como espelho distorcido, que reflete a forma de quatro ídolos¹⁰⁴, a serem sistematicamente eliminados para o florescimento da ciência verdadeira, que é experimental e instrumental. A ciência baconiana cria uma relação direta com o controle da natureza (LACEY, 2008a, p. 212), ao enaltecer a instrumentação e a utilidade técnica. Assim, Bacon contribui para dois conceitos caros na crítica desenvolvida por Lacey e Mariconda: controle da natureza e imparcialidade.

Descartes também distingue “fato” e “valor”, reforça a imparcialidade do método e a ideia de que o conhecimento objetivo, ou seja, o mundo tal como ele é, é alcançável pela prática científica (MARICONDA, 2006). Estabelece, tal como Galileu, uma compreensão mecanicista da natureza, pautado em princípios matemáticos e exatos. O método cartesiano ao pensar o organismo a partir da relação mecânica de suas partes, descontextualiza-o em vias de algebrizar o objeto de estudo e conferir-lhe utilidade; será empregada nas ciências naturais, a matematização dos processos através de variáveis conhecidas e controláveis (ou no mínimo observáveis), para estabelecimento de leis subjacentes aos fenômenos, que possibilitam a predição.¹⁰⁵

¹⁰⁴ Os ídolos da tribo; ídolos da caverna; ídolos do foro; ídolos do teatro

¹⁰⁵ A matematização de acordo com o plano cartesiano, de disciplinas como “genética de populações”, bioestatística, a estrutura terciária no eixo x, y, z de biomoléculas, necessária para predição de fenômenos, demonstram a longevidade desses ideais na biotecnologia.

A condenação de Galileu na primeira metade do século XVII, suspeito de heresia por defender o heliocentrismo copernicano, manifesta a submissão, na concepção religiosa tradicional, da ciência à moral religiosa. Ele desenvolve o argumento dos “dois livros” no sentido de asseverar a autonomia da ciência: se os resultados científicos obrigatoriamente não contrariam verdades teológicas, mas conflitos aparecem, é porque o livro da revelação (Bíblia) e o livro da natureza estão escritos em linguagens diferentes; a bíblia está escrita na linguagem cotidiana (com metáforas, alusões, parábolas) e a natureza na linguagem matemática. O uso da linguagem matemática, técnica e exata admite que a ciência seja cognitivamente neutra em relação aos valores (MARICONDA & LACEY, 2001, p. 60-2).

Resultado da neutralidade cognitiva, a imparcialidade é necessária para a autonomia dos juízos científicos. Para que haja imparcialidade do método os cientistas devem cultivar virtudes, segundo Galileu, como “a disposição de alcançar suas conclusões desinteressadamente, sem dar preferência às suas próprias contribuições”, ou de aceitar apenas teorias imparciais (MARICONDA & LACEY, 2001, p. 54). A teoria é dita imparcial por consequência da decisão do cientista em dois níveis: “subjetivo” (afastar suas predileções) e racional. Em Galileu a dicotomia fato-valor é inaugural (MARICONDA & LACEY, 2001, p. 49), sintoma da ruptura com o autoritarismo, torna-se recorrente nos trabalhos de caráter científico do século XVII.

No século seguinte, a ascensão da teologia natural induz uma tendência de misturar os dois domínios. O resgate e manutenção da separação entre fato e valor é encontrado por Mariconda (2006, p. 462) na filosofia de David Hume, especialmente no Livro III do *Tratado da natureza humana*, que trata da moral. Para Hume, fatos estão no domínio da *observação* e somente através da *experiência* é possível chegar a conclusões. Os valores se aproximam das crenças naturais, que são gestadas pela imaginação, necessárias, espontâneas e inevitáveis, resultantes de princípios que regem a natureza humana. A expressão máxima da dicotomia entre fato e valor, reintroduzida por Hume está no Princípio de Hume (MARICONDA, 2006, p. 462), que postula a impossibilidade de extrair a partir de conhecimentos científicos (fatos) conclusões no domínio dos valores, ou seja, através de fatos não se deduz normas (valores), uma vez que os valores não passam pela razão natural, isto é, a razão jamais tem a capacidade de impulsionar valores (moral). Portanto, Hume deixa claro, através de seu princípio, que diferencia o discurso científico sobre fatos do discurso normativo sobre o método, e, este último, para Mariconda, é o fundamento para a

neutralidade cognitiva e neutralidade aplicada. Essa distinção pode ser encontrada já em Galileu, que, de certo modo, confere à ciência autonomia com relação a outros discursos, a saber, os discursos de valor e o discurso teológico (MARICONDA & LACEY, p. 61).

Assim é possível observar que o tripé que sustenta a ciência foi formulado com o propósito de desvincular o saber científico da atividade social religiosa e política, tornando-a autônoma e independente (principalmente da teologia). Esses ideais reforçam o direcionamento que a ciência tomou. Devido à importância dos conceitos de imparcialidade, neutralidade e autonomia, segue suas definições nas próximas linhas.

O conceito de “imparcialidade” significa que o conhecimento/entendimento científico deve ser avaliado sob a luz de dados empíricos apropriados e critérios que não são imbuídos de “valores não cognitivos” (LACEY, 2018, p. 604). A imparcialidade é um conceito fortemente vinculado à aceitação da teoria: quando uma teoria expressa corretamente o entendimento de um determinado fenômeno, ela será aceita, segundo o ideal de imparcialidade, se expressar o único conjunto de valores: aqueles chamados cognitivos. Há uma distinção importante dos critérios para avaliação epistêmica de uma teoria, tomados como valores cognitivos, e outros valores (sociais, religiosos, morais, ou outros), de modo que as teorias científicas aceitas devem manifestar valores cognitivos¹⁰⁶ em grau elevado a respeito dos dados empíricos selecionados. Os valores cognitivos estão relacionados ao domínio dos fatos, a objetividade também guarda relação com esses valores (LACEY, 2008b, p. 299). Uma teoria ou hipótese científica será objetiva quando estiver de acordo com a experiência (adequação empírica) e mantiver relações incontestáveis com os fatos estabelecidos imparcialmente.

O ideal de “neutralidade” atesta que uma teoria científica independe da percepção, valores ou interesses de seu proponente, e representa o mundo tal como ele é, assim, pode ser adotada por qualquer perspectiva de valor. A neutralidade cognitiva está relacionada ao discurso científico sobre os fatos, significa que o procedimento para obtenção do conhecimento é imparcial; o discurso científico sobre o método inclui a neutralidade aplicada, o ideal de que os conhecimentos gerados

¹⁰⁶ Uma breve lista de alguns dos valores cognitivos necessários para a aceitação de uma teoria científica pode ser encontrada na página 61 deste trabalho.

pela ciência devem ser utilizados a partir de qualquer perspectiva de valor. Lacey (2018, p. 605) define neutralidade:

[...] para qualquer perspectiva de valor viável, existem práticas sociais nas quais essa perspectiva está incorporada, que podem ser servidas por aplicações de (ou, de outra forma, informadas por) algum item do estoque de conhecimento científico estabelecido (i.e., o estoque de itens corretamente realizada de acordo com [a imparcialidade]); e, no geral, esse estoque atende a todas essas perspectivas de valor de maneira mais ou menos equitativa, sem privilegiar alguns em detrimento de outros.¹⁰⁷

A neutralidade deriva da aspiração da ciência não ser subordinada a interesses individuais, de forma a atender aos interesses da humanidade. A diferença principal entre a imparcialidade e a neutralidade é que a imparcialidade está relacionada ao momento de aceitação da teoria ou hipótese científica, já a neutralidade mantém uma relação mais próxima com o momento da aplicação.

Conforme visto no início desta seção, a autonomia foi um ideal construído para desvencilhar o conhecimento e a prática científica das autoridades religiosas e estatais. A existência de imparcialidade e neutralidade nas teorias e hipóteses científicas é condição necessária para a existência do ideal da autonomia. Assim, as agendas da investigação científica são adaptadas e institucionalizadas pelo interesse em produzir teorias que manifestem imparcialidade e neutralidade e em descobrir novos fenômenos que favoreçam esse interesse (LACEY, 2008).

4.2 Como os valores influenciam a ciência

Se a ciência é livre de valores, o objeto não possui valor em si mesmo, então suas teorias poderiam ser aplicáveis a todos os estratos da sociedade, não a uma parcela enriquecida que pode pagar pela tecnologia. Assim, o conhecimento científico faz parte do patrimônio compartilhado da humanidade e serve a todas as perspectivas de valor, sem privilegiar uma em detrimento da outra. Em contraste, multiplicam-se os

¹⁰⁷ Original: “N[eutrality]: for any viable value-outlook, there are social practices, in which that outlook is embodied, that can be served by applications of (or otherwise be informed by) some items of the stock of established scientific knowledge (i.e., the stock of items correctly held in accordance with [imparciality]); and, overall, this stock serves all these value-outlooks more or less evenhandedly, without privileging some at the expense of others.”

exemplos de enviesamento comercial na produção científica, para citar alguns: os pacotes tecnológicos da Revolução Verde associados à biotecnologia, assim como a possibilidade de sequenciamento genético por empresas (23andMe, Genera, MeuDNA), não podem ser adquiridos pela maioria da população de países empobrecidos. A aplicação é consequência e também uma das etapas componentes da atividade científica, dito de outro modo: a teoria não é separável de suas aplicações enquanto atividade social no interior do regime que é produzida.

Defender que a ciência é livre de valores não extingue os valores da atividade científica, mas mina a possibilidade de compreensão da ciência como ela é. A finalidade do método científico é o controle da natureza, possibilitado pelo ciclo teoria-instrumento-experimento. O ideal explicação/predição, que é por si mesmo valorativo, usa a estratégia descontextualizadora para explicar fenômenos e obter leis subjacentes, então prever e controlar. Sobre o estabelecimento do controle como valor articulado e manifesto nas universidades, Mariconda escreve:

O controle da natureza só se tornará um valor quando efetivado pelas práticas científicas do mecanicismo do século XIX, agora enraizado no sistema universitário europeu e favorecido pelo avanço do capitalismo industrial, que organiza o controle da natureza na prática da objetivação dos seres naturais, isto é, na redução dos seres naturais a objetos desprovidos de toda dimensão moral; o que possibilitou, em nossos dias, a produção de artefatos biológicos, de máquinas moleculares (MARICONDA, 2006, p. 465).

A existência do valor de controle, por si só, é suficiente para colocar em questão a estrutura da ciência como livre de valores. Adiciona-se ainda a predileção pelo regime transitório da ciência e suas variações, a estratégia descontextualizadora e valores do capital e do mercado para direcionar as hipóteses, teorias e pesquisas. Essa conformação resulta na brecha¹⁰⁸ entre valores articulados e valores empreendidos, e fornece material para a crítica pós-moderna à base epistemológica da ciência, em que a autonomia é um ideal irrealizável. Lacey defende a imparcialidade não aos moldes “ciência livre de valores”, ao contrário, ele reconhece a necessidade dos valores e os acomoda para que expressem esse ideal.

¹⁰⁸ Para Lacey a brecha é um tipo de deformação do discurso, quando os valores são separados dos desejos e aspirações do indivíduo e quando a ação (valores manifestos) difere do que é articulado na consciência ou intenção. A brecha também está presente em instituições quando os valores centrais são suplantados por valores extrínsecos.

O único momento em que a ciência pode ser dita livre de valores (sociais, éticos, políticos e econômicos) é na etapa de avaliação cognitiva de teorias e hipóteses, quando o cientista conclui, com base na experimentação, sua pesquisa (LACEY, 2008a, p. 41). Nas outras etapas, os valores são expressivos e desejáveis. Os valores em toda a extensão da atividade científica serão definidos com base na adoção da estratégia de pesquisa. Quando se opta pela estratégia descontextualizadora, passo inicial para o desenvolvimento da atividade científica, as possibilidades dos fenômenos são encapsuladas em termos de controle.

Abstrair os objetos de pesquisa de seu contexto de atividade social é uma estratégia bastante útil para que haja circulação no regime transitório, em direção ao regime utilitário, sem que a pesquisa perca seu referencial disciplinar, garantindo-lhe um falso-positivo da imparcialidade. Ora, se o pano de fundo do objeto é apagado, ou seja, é retirado da relação com todas as atividades humanas e das relações ecológicas com o ambiente, o estudo se desenvolve sem interferência de influências externas. Os dados coletados são de caráter quantitativo e uma instrumentação é desenvolvida a fim de que os vícios e vontades humanas não interfiram no resultado. Essa asserção é falsa, dado que influências externas e valores sociais direcionam a agenda científica.

O desenvolvimento de pesquisas é tal que as condições materiais que o sustentam são favorecidas à medida que grupos seletos de pessoas já enriquecidas se tornam mais ricas. Isso é verdade para o setor inovativo em corporações empresariais e é verdade para a pesquisa em universidades públicas, já que a política de recursos alocados é direcionada preferencialmente para criação de patentes, desenvolvimento de tecnologias habilitadoras e estratégicas, que comutam para a geração de lucros e fortalecimento militar do Estado. Isso garante baixa aderência a pesquisas que levem em consideração valores de justiça social, participação democrática e sustentabilidade, em oposição a valores do capital e do mercado.

Os valores na atividade científica parecem estar em tensão: ora apenas valores cognitivos são aceitáveis em vista da objetividade, ora os valores sociais aparecem direcionando a ciência. Para defender a imparcialidade, Lacey faz uma distinção importante, que permite entender essa alternância entre valores: o nível da adoção da estratégia está em um nível diferente da escolha concreta de teorias (LACEY, 2008a, p. 16-7). Na escolha de uma teoria, há espaço apenas para valores cognitivos na

decisão entre aceitar ou não aceitar a hipótese. Mas a estratégia é adotada de acordo com valores não cognitivos (ou seja, econômicos, políticos, sociais ou éticos).

Uma estratégia determina os tipos de fenômenos a serem observados, quais dados devem ser pesquisados, o tipo de linguagem que deve ser empregada. Restrição e seleção da estratégia estão alinhadas à ordem social e valores articulados por instituições dominantes da sociedade, manifestados por políticas, leis e programas. Por exemplo: uma sociedade tem seus valores representados por suas leis, que por sua vez reforçam que o conjunto de valores seja expresso na sociedade em que se aplica. Valores sociais são um conjunto de valores pessoais incorporados por uma sociedade, expressos nas práticas cujas condições eles proporcionam e reforçam (LACEY, 2008a, p. 57-67). Os valores pessoais são transformados em valores sociais quando a incorporação é interessante para as instituições dominantes. Para que valores cognitivos se manifestem devem existir instituições que garantam a imparcialidade das práticas científicas. Em um esquema lógico, a adoção de estratégias antecede a aceitação de teorias. Então os valores sociais podem fazer com que os valores cognitivos sejam ou não aplicados. Um exemplo de valores não cognitivos interferindo na aplicação de valores cognitivos é quando regimes políticos decidem se uma teoria deve ou não ser aceita.

Os critérios propostos para representar os valores cognitivos levam, na estrutura proposta por Lacey (2008a, p. 89), em consideração o momento em que o cientista enuncia uma teoria, a comunidade científica e como essa relação se dá ao longo do tempo. Existem quatro tipos de interação: entre o cientista e a teoria, entre a teoria e outras teorias, entre o cientista e a comunidade científica e entre a teoria e as “práticas reais”. O cientista propõe sua teoria segundo uma estratégia que restringe as teorias e seleciona os tipos de dados relevantes; se a hipótese foi formulada segundo uma estratégia descontextualizadora, apontará as estruturas subjacentes aos fenômenos definidas por leis que expressam as interações dos componentes das estruturas, que serão utilizadas pelo cientista para revelar o potencial cognitivo de sua teoria.¹⁰⁹ A adoção quase que exclusiva da estratégia descontextualizadora por instituições de pesquisa fere o ideal de abrangência, de que qualquer objeto ou fenômeno do mundo pode ser submetido à pesquisa científica.

¹⁰⁹ A teoria se relaciona com práticas reais, dentro e fora das instituições, em um quadro que muda conforme a passagem do tempo, todavia os valores cognitivos são relativa e historicamente estáveis.

Ao diferenciar dois níveis na atividade científica e a sua lógica sequencial, ou seja, primeiro a seleção de estratégias e depois a escolha concreta de teorias (LACEY, 2008a, p. 113), Lacey assegura o momento da aceitação (ou escolha) da teoria como imparcial, isso significa que uma teoria é legitimamente aceita quando expressa os valores cognitivos em grau elevado em relação a uma série apropriada de dados empíricos. Essa definição salva o ideal de imparcialidade, mas não impede que os valores sociais, considerados subjetivos, sejam articulados e expressos em outros momentos da atividade científica.

Minha conclusão é que a crítica pós-moderna fracassa em sua tentativa de refutar a imparcialidade e que o materialismo científico igualmente não é bem sucedido, na defesa da neutralidade. A distinção de níveis que introduzi é essencial para admitir que a imparcialidade deve permanecer um ideal factível, mas também não implica a neutralidade na aplicação (LACEY, 2008a, p. 42).

Não há garantias de que as consequências da aceitação da teoria esteja livre da influência de valores sociais, ou ainda, que tais consequências não tenham implicação para valores não cognitivos adotados, em um esquema de retroalimentação. Isso quer dizer que após aceita, uma teoria pode ser aplicada e derivar produtos, bens e serviços, determinados segundo valores não cognitivos. Com efeito, as condições materiais para o desenvolvimento da pesquisa segundo as estratégias descontextualizadoras são fornecidas pelo valor de capital e de mercado, assim como a disseminação e aplicação da pesquisa. A ciência não consegue ser aplicada equitativamente por qualquer perspectiva de valor. Exemplos que corroboram essa asserção já foram fornecidos anteriormente neste trabalho. Desse modo, a escolha de estratégia, o desenvolvimento de pesquisa, a disseminação dos resultados da pesquisa e a aplicação mantêm relações de reforço mútuo com valores sociais.

Como visto na Parte II, existem duas estruturas de operação do método científico: uma relacionada aos fatos, pautada essencialmente na observação e experimentação, agregados e apresentados pelos valores cognitivos; outra de caráter valorativo, de escolha da estratégia e do procedimento da pesquisa, em que valores sociais desempenham papel importante e muitas vezes desejado. Essa divisão é reafirmada na distinção de níveis de Lacey, mas, diferentemente da causa da dicotomia entre fato e valor, os valores não são afastados da ciência pelo filósofo

australiano. Havendo na atividade científica a expressão de valores sociais, mais do que isso, o favorecimento dos valores do capital e do mercado, o ideal de neutralidade¹¹⁰ aparentemente é solapado e, por conseguinte, o ideal de autonomia.

Para resolver o problema da neutralidade e reduzir as consequências desastrosas da relação universidade-mercado/capital, Lacey propõe as estratégias sensíveis ao contexto, ou o desenvolvimento de pesquisa multi-estratégica. Sem abandonar a restrição e seleção da abordagem descontextualizadora do objeto, a estratégia sensível ao contexto une a encapsulação de possibilidades materiais sem apagar o pano de fundo em que a pesquisa se desenvolve. As relações do objeto com a sociedade e com o ambiente são mantidas, a fim de conduzir a ciência a promover o bem estar de todos, em todos os lugares, e assegurar respeito à natureza. Assim, complementando a estratégia da pesquisa científica é possível salvaguardar, em certa medida, a neutralidade. Contudo, a estratégia materialista de restrição e seleção não sustenta os mesmos valores que a estratégia sensível ao contexto. Os resultados da estratégia descontextualizadora, quando aplicada, não estão de acordo com a neutralidade fora do contexto do pluralismo estratégico (LACEY, 2018, p. 615). Seus conjuntos de valores sustentados são excludentes entre si: aplicações que favorecem valores do capital e mercado *versus* aplicações direcionadas por valores de justiça social, participação democrática e sustentabilidade.

4.3 Os valores que conduzem as atividades biotecnológicas

Os valores manifestos diferem, em maior ou menor grau, dos valores articulados. Para a análise dos valores na biotecnologia, suas manifestações no momento da aplicação serão investigadas. As teorias propostas pela biotecnologia funcionam no mundo como ele é, isso garante que os valores cognitivos são um dos fios condutores das atividades biotecnológicas para elaboração de teorias, o ideal de imparcialidade da teoria é contemplado. Por outro lado, é no momento de interação entre instrumento e sociedade que a ação de valores manifestos retoma o problema da neutralidade e, por consequência, da autonomia.

¹¹⁰ Lacey desenvolve a ideia de neutralidade limitada pelo recorte do entendimento extensivo. A ciência desenvolvida de forma extensiva e explicada em espaços fechados, garante certo grau de neutralidade (LACEY, 2008a, p.194-5).

Dentre as aplicações da biotecnologia, a transgenia é o de caráter mais controverso. A produção de animais comerciais transgênicos é recente, suas aplicações – instrumentação experimental em laboratório (e.g. camundongos para estudar doenças humanas), produção de substâncias de interesse em animais biorreatores (e.g. cabra transgênica que produz leite com anticoagulante ATryn),¹¹¹ produção de insetos transgênicos para diminuição da população da espécie selvagem (e.g. diminuição de população de mosquito transmissor da dengue, febre amarela, zika e chikungunya por mosquito transgênico),¹¹² produção de animais para consumo humano (e.g. salmão transgênico que tem seu ritmo de crescimento acelerado em cerca de três vezes em relação ao selvagem¹¹³) – foram introduzidas no mercado na última década, sem muita movimentação no sentido comercial, além de apresentar baixa taxa de sucesso de transferência nuclear de célula somática.¹¹⁴ Dessa forma, as discussões epistemológicas concentram-se nas plantas transgênicas, inseridas no mercado no final do século XX¹¹⁵ e responsáveis por aproximadamente 200 milhões de hectares cultivados no mundo.¹¹⁶ Para efeito da investigação dos valores proposta nesta seção, o comportamento valorativo do agronegócio será, de antemão, estendido para a pecuária em relação a OGMs, mesmo que seja uma indústria incipiente.

A liberação de transgênicos para plantio e comercialização é feita de acordo com o princípio de equivalência substancial, adotado pelo maior produtor de alimentos transgênicos do mundo: Estados Unidos da América. Esse princípio, introduzido pela OECD em 1993,¹¹⁷ analisa a equivalência química entre organismos de ocorrência natural e OGM: características moleculares, fenotípicas, nutritivas e presença de

¹¹¹ O primeiro produto biológico gerado por animais transgênicos, aprovado em 2009 pelo FDA, é autorizado como medicamento na União Europeia.

¹¹² Liberação comercial de *Aedes aegypti* transgênico pela CTNBio em 10 de abril de 2014.

¹¹³ O salmão transgênico foi liberado pelo FDA para consumo como alimento humano em novembro de 2015.

¹¹⁴ Técnica “padrão ouro” para produção de animais transgênicos, já estabelecida há mais de 20 anos. Sua eficiência depende da seleção de oócitos viáveis, ativação química paternogenética e reprogramação celular após fusão do núcleo da célula doadora com o citoplasma da célula receptora (LEDUR, 2019), fatores que não possuem relação direta com a eficiência das técnicas de edição genética.

¹¹⁵ Em 1994 foi liberado pelo FDA o tomate transgênico Flavr Savr para consumo humano nos Estados Unidos, seguido da aprovação da soja, cana-de-açúcar, canola, milho e algodão.

¹¹⁶ Segundo dados da EMBRAPA, em 2016 as lavouras com plantas comerciais transgênicas ocupavam uma área de 185,1 milhões de hectares, o que equivale a quase 2 trilhões de m².

¹¹⁷ Recebeu influência do *Food and Drug Administration* (FDA) - responsável pelo controle de fármacos, alimentos, cosméticos, materiais biológicos - para propor a “equivalência substancial”, que já era usada pelo órgão dos EUA para definir uma nova categoria de dispositivos médicos que possuíssem função e desempenho clínico semelhante aos seus antecessores. (ZATERKA, 2019).

substâncias tóxicas. Tanto a soja RR (*Roundup Ready*) quanto o milho *Bt* (*Bacillus Thuringiensis*) foram liberados para comercialização e consumo humano usando esse princípio. Em oposição está o princípio da precaução, cuja aplicação requer testes exaustivos a fim de eliminar ou, quando não for possível, minimizar efeitos prejudiciais e irreversíveis. Seguindo esse princípio, medidas proibitivas podem ser adotadas caso não haja certeza científica sobre a maleficência da aplicação de instrumento ou artefato de produção tecnológica. No Brasil, o princípio da precaução é instrumento orientador da Lei n. 11.105/05, sem vinculação ao dever de agir. A regulamentação da disseminação para cultivo e consumo de OGM determina que essa deve fornecer a mesma segurança que o organismo receptor, ou parental, sem efeitos negativos para o meio ambiente ou saúde animal. A lei de biossegurança enfatiza o aumento da vigilância, através da criação de estruturas e mecanismos de fiscalização (FERREIRA, 2008, p.170-1; ZATERKA, 2019, p. 273).

O benefício corrente alegado pelos defensores dos vegetais transgênicos costuma centrar a aplicação dessa tecnologia na diminuição do uso de agrotóxicos, fome e desnutrição. Nesse caso, os valores articulados são justiça social e sustentabilidade. A suposta diminuição do uso de agroquímicos, que colocou a biotecnologia como tecnologia alternativa à revolução química, provou-se falaciosa: assiste-se hoje a um aumento da quantidade de cultivares transgênicos resistentes a químicos usados na lavoura, mais ainda, o desenvolvimento de resistência de microrganismos aos princípios ativos dessas substâncias; juntos esses fatores impõem a utilização crescente de agroquímicos para conter as doenças de monocultura.

Os OGM chamados de primeira geração são capazes de diminuir as consequências de pragas e o tempo de cultivo, aumentando a produtividade do campo. A combinação entre química e biotecnologia agrícola possibilitou a produção de quantidade maior de alimento em período igual ou mais curto em relação aos cultivares de ocorrência natural. Em teoria, a incorporação da biotecnologia na revolução verde tem aplicação universal, ou seja, pode ser usada em distintas situações ecológicas e é capaz de resolver o problema da fome, em uma interpretação malthusiana.¹¹⁸

¹¹⁸Thomas Malthus, economista do século XIX propôs que o aumento populacional acontece em progressão geométrica e produção de alimentos em progressão aritmética, em algum momento a população irá suplantará a capacidade de produção alimentar.

A desnutrição também parece ser resolúvel sob a luz das produções biotecnológicas. O caso do arroz dourado é emblemático nessa tentativa, por ser o primeiro produto “biofortificado” por transgenia, embora ainda não seja produzido em larga escala. Vegetais biofortificados¹¹⁹ são característicos da segunda geração de OGM, que visa a incorporação ou aumento do nível de expressão nutricional biodisponível nos alimentos. Na prática, os cultivares são modificados para aumentar o teor de Ferro, Zinco e Vitamina A, micronutrientes essenciais ao funcionamento do organismo, cuja deficiência afeta com maior intensidade países empobrecidos.

O arroz dourado é modificado para produzir betacaroteno, por isso a cor dourada, precursor do retinol (vitamina A). A deficiência de vitamina A tem como efeito na saúde humana a piora da visão, causando cegueira em crianças e declínio do funcionamento do sistema imunológico. Para sanar esse problema pelo viés do agronegócio a fundação Rockefeller nos anos 1990 financiou pesquisas para inserção de dois genes no genoma do arroz: um do vegetal *Narcissus sp.* que produz a fitoeno sintase (PSY), catalisadora da conversão de geranylgeranyl difosfato em fitoeno; o outro inserido foi o da bactéria *Erwinia uredovora* que produz a proteína caroteno desaturase, catalisando a conversão de fitoeno em licopeno. O licopeno é convertido em beta-caroteno no endosperma do arroz por reações de ciclização (MORAES *et al.*, 2009, p. 308-9).

O exemplo do arroz dourado, ou de produtos transgênicos comercializados, como o milho Bt e soja RR, tornam perceptível que a tecnologia dos transgênicos recebe forte influência do conhecimento científico, suas teorias são baseadas no empirismo e no controle dos fenômenos. As sementes são redutíveis aos seus genomas e a expressão bioquímica dos genes componentes e, por conseguinte, suas possibilidades são encapsuladas em termos da possibilidade de serem geradas a partir de sua estrutura molecular subjacente (e de suas possibilidades de modificação) e de processos bioquímicos regidos por leis (LACEY, 2010, p. 221). O ideal de imparcialidade, no nível de aceitação da teoria, é válido. Isso posto, segue uma breve análise da presença dos valores cognitivos no momento da aplicação.

¹¹⁹ O projeto BioFORT coordenado pela EMBRAPA produz alimentos biofortificados (aumento de ferro, zinco e vitamina A) por melhoramento genético convencional. O projeto conta com o suporte do programa HavestPlus, financiado pela Fundação Bill e Melinda Gates. Esses alimentos biofortificados já estão disponíveis no mercado.

A liberação de transgênicos pautada na equivalência substancial não está de acordo com teorias anteriores de estereoquímica,¹²⁰ ou isomeria óptica, cuja presença na natureza é constatada por Pasteur na fermentação de suco de uva no ácido tartárico. Ao discutir sobre os parâmetros reducionistas de análise do princípio da equivalência substancial, Zaterka (2019, p. 275-6) relembra o caso dos príons, um tipo inusual de proteína encontrada naturalmente em células de mamíferos com alta taxa de conservação interespecífica, o que significa que desempenha um papel funcional importante em organismos superiores¹²¹. Alterações conformacionais, que mantêm a sequência aminoacídica, são causadoras de doenças neurodegenerativas como a encefalopatia espongiforme bovina (doença da vaca louca). Essas partículas de proteínas infectantes são capazes de converter outras moléculas de proteína em substâncias estranhas ao hospedeiro, pela conversão da estrutura espacial. De acordo com o citado princípio a carne contaminada com príon e a não contaminada são equivalentes substanciais. Isso significa dizer que no momento da aplicação dos OGM os valores cognitivos não necessariamente são expressos.

Na saúde humana, os organismos transgênicos podem estar envolvidos com o aumento da taxa de alergia,¹²² ou apresentarem toxicidade,¹²³ além de diminuir a eficácia de antibióticos e tornar outros microrganismos resistentes por transferência genética horizontal (SHETTY *et al.*, 2018, p. 2409). Dos riscos da liberação desses organismos no meio ambiente, destaca-se a inserção de genes transgênicos em

¹²⁰ Isômeros moleculares são da forma *cis* ou *trans*, que podem ser opticamente ativos, ou seja, desviar a luz em ângulos que variam de acordo com a isomeria (dextrógiro e levógiro). No corpo humano o sinal nervoso que permite o sentido da visão é formado a partir da interação da molécula *cis*-11-retinal, acoplada à opsina; com um feixe de fótons, que altera sua forma para *trans*-11-retinal (a forma *trans* não tem afinidade ao sítio ativo da opsina) a molécula de retinal se dissocia da opsina. Em seguida, será restaurada por ação enzima retinal-isomerase. A dissociação gera a despolarização da membrana nervosa, transmitida ao cérebro (LABIQ, 2020). Uma forma de isomeria que ganhou bastante espaço na mídia é a “gordura *trans*”, associada com o aumento do LDL e conseqüente elevação das chances de infarto, inflamação e arteriosclerose. Óleos e gorduras são compostos de ácidos graxos, que na natureza são majoritariamente encontrados na forma *cis*. Alimentos obtidos através de ruminantes (carne, leite e derivados) são fontes naturais de ácidos graxos *trans*, devido a ação da flora microbiana no rúmen desses animais. O processo industrial de desodorização e o uso de óleos para fritura induzem a conversão de ácidos graxos *cis* para *trans* (MERÇON, 2010).

¹²¹ Refiro-me a animais eucariontes, não necessariamente pluricelulares. Em fungos (e.g. *Sacharomyces cerevisiae*) os príons têm papel de regulador de fenótipo (TUIE *et al.*, 2008)

¹²² A toxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* inserida em milho e algodão é alérgena para humanos (SANTOS-VIGIL *et al.*, 2018).

¹²³ O tomate FlavrSavr mostrou evidências de toxinas; das 20 ratas alimentadas com o tomate geneticamente modificado, 7 desenvolveram lesões estomacais; o tipo de lesões estomacais ligadas ao tomate poderia levar a uma perigosa hemorragia, particularmente em idosos que usam aspirina para prevenir coágulos sanguíneos. Os ratos alimentados com batatas manipuladas para produzir a toxina Bt desenvolveram células anormais e danificadas, bem como o crescimento celular proliferativo na parte inferior do intestino delgado (VERMA *et al.*, 2011, p. 7-8).

variedades não transgênica através de sementes residuais ou pólen (o que afeta a produção orgânica), alteração da dinâmica populacional do cultivar ou eliminação de espécies não domesticadas, geração de plantas daninhas e pragas resistentes, impactos negativos em organismos não alvo (mariposas e inimigos naturais dos insetos), contaminação do mel (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

Ainda sobre a legislação relativa ao momento de aplicação, a observância do princípio de precaução fica resguardada aos valores articulados, no contexto brasileiro. Convém lembrar que a Lei n. 11.105/05 foi tramitada em um cenário de aprovações para plantio e consumo humano (diga-se, não informado ao consumidor sobre a procedência transgênica do alimento adquirido)¹²⁴ de dois cultivares de transgênicos da Monsanto (a saber, soja RR e algodão Bollgard) pela CTNBio, sem nenhum tipo de teste prévio, na total contramão da Lei n. 8.974/95, que estabelece como princípio basilar o sistema acautelatório do meio ambiente (FERREIRA, 2008, p. 186; FORMIGA *et al.*, 2019, p. 22). Para exercer o princípio da precaução na liberação do uso comercial são necessárias mais pesquisas, principalmente relacionadas ao monitoramento e reavaliações periódicas a longo prazo. No tocante à regulamentação brasileira, cujos órgãos competentes são CTNBio, Anvisa e Ibama (colegiados ao Ministério da Agricultura e Pecuária, Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Saúde): a segmentação dos órgãos regulatórios implica na distinção entre OGM, substâncias químicas tóxicas (das quais os OGM possuem resistência) e meio ambiente (MARICONDA, 2014, p. 768-9) revelam a estratégia descontextualizadora no contexto de aplicação.

Entender sementes segundo essa estratégia separa radicalmente a realização de suas possibilidades de qualquer impacto que elas possam ter nos arranjos sociais, na vida e experiência humanas, sobre as condições sociais e materiais da pesquisa e sobre o extenso impacto ecológico a longo prazo e, portanto, de qualquer ligação com os valores de justiça social, participação democrática e sustentabilidade (LACEY, 2010, p. 221). Ora, se há evidências empíricas que contestam a beneficência ou não maleficência dos transgênicos, significa que a investigação das consequências das aplicações precisam adotar estratégias de contextualização. Ademais, as pesquisas

¹²⁴ Os produtos derivados de microrganismos, tais como pães, doces e salgados, massas, misturas para bolos, biscoitos, produtos de confeitaria, queijos, leites fermentados, frios (salame, presunto, etc.), detergentes, sabão em pó, papel e celulose, couro, jeans, podem conter enzimas ou microrganismos geneticamente modificados, mas por não ser componente principal e a baixíssima concentração, não é indicado ao consumidor na embalagem.

para desenvolvimento de plantas transgênicas atendem às demandas do agronegócio, atreladas a patentes e direito de propriedade intelectual, práticas que em si ferem os ideais de abrangência, neutralidade e autonomia.

O arroz dourado é um caso de prática diversionista: é orientado pelo agronegócio (já que as instituições que financiam as pesquisas em biofortificação são as mesmas que financiam o agronegócio) e está subordinado ao mercado, mas, ao ser articulado como uma forma de combate à desnutrição, confunde a percepção das consequências dos principais OGM em uso que são todos resistentes a agrotóxicos. A deficiência da vitamina A é descontextualizada, as pesquisas em biofortificação propõem soluções para o efeito, não para a causa. Lacey (2010, p. 227-8) fornece alguns contra-argumentos a respeito da aplicação da biofortificação para o arroz dourado: não foi possível ser feita apenas uma doação de sementes de arroz dourado para os produtores de países empobrecidos, como os desenvolvedores pretendiam, pois o genoma mutado é instável e pode haver eventos de epistasia¹²⁵ ou pleiotropia,¹²⁶ excisão de gene ou deixar de expressar ao longo das gerações o fragmento inserido; é improvável que o arroz dourado se integre na agricultura sustentável; pesquisas novas serão necessárias para lidar com novas pragas e outros problemas; o filósofo prevê a necessidade de novas culturas que respondam a outras necessidades nutritivas, o problema da desnutrição ou subnutrição permanecerá; solucionar a deficiência de vitamina A de maneira “científica” pode, ao mesmo tempo, promover a pobreza e a desnutrição em geral.

Os motivos (fome e desnutrição) para a produção de transgênicos vinculados pelos apoiadores do agronegócio possuem como valores articulados a justiça social e sustentabilidade e como valores expressos o valor de mercado e capital, de modo que há uma enorme brecha (*gap*) entre valores articulados e valores expressos. Os transgênicos servem para aumentar o lucro do agronegócio sem servir para diminuir a fome e desnutrição. Quando a desnutrição e fome são recortadas da realidade e perdem sua causalidade, mas mesmo assim são argumento para uma falsa-neutralidade, a biotecnologia está subordinada ao interesse de instituições neoliberais.

¹²⁵ A epistasia é um tipo de interação genética, ocorre quando genes de um alelo inibem a manifestação das características de outro alelo.

¹²⁶ A pleiotropia, diferentemente da interação gênica, é quando a expressão de um par de alelos afeta diversas características fenotípicas.

A aplicação da biotecnologia à farmácia, pecuária, ou mesmo às indústrias biotecnológicas segue a mesma lógica: usam a falsa-neutralidade para justificar e difundir seus projetos, mas praticam o valor de mercado e capital. Quando cientistas vinculados a esse tipo de prática são confrontados com outras pesquisas que expõem a maleficência ou não beneficência de pesquisas que projetam os valores de capital e de mercado acima de outros valores, tendem a concordar com os efeitos colaterais, mas enfatizam a beneficência, mesmo que descontextualizada. Se as aplicações da biotecnologia são transformadas em produtos, conduzidas por instituições privadas de pesquisa ou em departamentos de universidades onde os recursos investidos advém ou estão ligadas a interesses comerciais e de mercado, disso é possível inferir que nesse âmbito a biotecnologia expressará valores do capital e do mercado. A existência de “doenças negligenciadas” em países pobres (os ditos subdesenvolvidos ou em desenvolvimento) e a subserviência da biotecnologia à indústria apoiam esta asserção.

Em alternativa, há casos em que biotecnologia sobrepõe valores de justiça social, participação democrática e sustentabilidade aos valores do capital e do mercado. Isso acontece em contextos de não existir outra alternativa viável na conformação vigente, por exemplo em casos de extinção ou diminuição drástica de espécies (a partir da página 104 serão discutidos dois casos que melhor exemplificam essa afirmação: biorremediação e preservação do mico leão dourado). Aqui as ciências ômicas da Fase Integrativa (cf. seção 2.5) desempenham papel de produção de instrumentos genéricos, ou universais, i.e., as tecnologias de sequenciamento e derivados são viáveis quanto à neutralidade.

A diminuição de espécies e biodiversidade é consequência da ação antrópica. Pode-se citar, além da ação da indústria orientada por princípios neoliberais e expansão da urbanização, que ativamente diminuem o *habitat* natural e precarizam as condições de vida, a caça predatória e biopirataria, para a extinção de espécies insubstituíveis no ecossistema. A caça predatória¹²⁷ para comercialização de dentes, peles e proteína animal exótica, aliada ao tráfico de animais, contribuem para a ameaça de extinção de espécies como a antas e queixadas na região da Mata

¹²⁷ Proibida no país desde 1967, com a Lei da Fauna, a caça predatória somou cerca de 23 milhões de animais silvestres entre os anos de 1904 a 1960: 5,4 milhões de caititus, 804 mil jaguatiricas e gatos maracujá, 183 mil onças-pintadas, 4,4 milhões de jacaré-açu e 1,9 milhão de mamíferos aquáticos (peixe boi, ariranha, lontra e capivara) (ANTUNES, 2016).

Atlântica, mamíferos de grande porte dispersores de sementes grandes. A diminuição populacional desses animais prenuncia a diminuição da diversidade de plantas de sementes grandes, por conseguinte, alterações no ecossistema e redução da capacidade de retirada de gás carbônico atmosférico. Convém mencionar que os maiores índices de caça predatória estão presentes em regiões com menos recursos financeiros, como na região Amazônica. Nesse sentido, regulamentações que permitem a caça para subsistência em regiões largamente cobertas por florestas (Lei dos Crimes Ambientais, de 1998) e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação do ano de 2000 permitem acesso controlado das populações tradicionais aos recursos naturais (ANTUNES, 2016).

Quanto à biopirataria – que é a utilização de recursos naturais ou conhecimento tradicional associado para fins de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e de produto, sem atentar para a conservação ambiental e a repartição justa dos lucros com os povos que deram origem ao conhecimento ou detinham o recurso natural – a incidência é alta no Brasil. Existe uma concentração dessa prática na região da Amazônia, bioma com cerca de 60% de todas as formas de vida do planeta (SILVA, 2019, p. 22), mas também atinge outros biomas com espécies endêmicas. Casos de apropriação indevida (o que inclui comercialização e patenteamento de produtos e processos utilizando recursos naturais) foram acumulados no Brasil ao longo dos séculos, a começar pelos casos mais conhecidos, pau-brasil e cacau, no período colonial, e seringueira, no fim do século XIX, seguida do pau-rosa, castanha-do-pará, açaí, cupuaçu, pupunha, guaraná, andiroba, ayahuasca, copaíba, cunaniol, espinheira-santa, jaborandi, amapá-doce, piquiá, jambu, tipir, unha de gato, kambo (vacina do sapo), pau-pereira, erva-baleeira, erva-da-praia, priprioca, murmuru (HOMMA, 2005, p. 49-51; RODRIGUEZ, 2010). Essas atividades estão relacionadas ao extrativismo e tráfico de animais selvagens, cujas demandas esgotam a capacidade de oferta das florestas. Os efeitos da biopirataria vão além da diminuição da fauna e flora, colocam em risco o patrimônio genético, ameaçam a soberania nacional e são fonte de injustiça social (pela não repartição dos lucros de produtos que utilizam o conhecimento tradicional associado como fonte de desenvolvimento).¹²⁸

¹²⁸ Esse conhecimento é de fácil acesso em feiras locais, onde trabalham pessoas que estão inseridas em práticas de comunidades tradicionais (comércio de garrafadas, banhos de cheiro, produção de sabonetes, xampus); também pode ser obtido em publicações, inventários, filmes, artigos científicos, ou qualquer outra forma de sistematização do conhecimento tradicional associado.

A Lei n. 13.123/15, ou Lei da Biodiversidade, que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético brasileiro, conhecimento tradicional associado (a definição inclui comunidades indígenas, moradores de populações locais, como agricultores tradicionais, quilombolas, e fontes secundárias, como feiras, filmes, artigos científicos) e repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade, regulamenta o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, de direito ao ambiente equilibrado, impondo ao poder público e coletividade resguardá-lo para futuras gerações, em vista de coibir a prática da biopirataria. Mas, tal qual a lei de biossegurança, a lei da biodiversidade foi elaborada com caráter genérico, coube ao decreto n. 8.772/16 a explicitação das práticas consideradas relativas à biopirataria e as respectivas sanções a serem aplicadas. Esse decreto criou o Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e Conhecimento Tradicional Associado (SISGEN), subordinado ao Conselho de Patrimônio Genético (CGEN) (SILVA, 2019, p.34-8, 45-8). Entretanto, nem a lei e nem o decreto contaram com a participação dos povos e comunidades afetadas. Na prática, existem muitos entraves e dificuldades de distribuição de forma monetária aos possuidores dos saberes regionais (o retorno financeiro nem sempre acontece)¹²⁹, persiste a vulnerabilidade dos saberes desses povos além de aumentar a chance de acesso ao bioma brasileiro (ROCHA, 2019, p.107-10).

Dada a extensão territorial brasileira e fatores políticos nacionais, a fiscalização de biomas é diminuta em relação à demanda. O desmatamento é intensificado pelas queimadas de biomas e mudanças climáticas.¹³⁰ Os incêndios na Amazônia no ano de 2019 foram as maiores em relação às décadas anteriores, superadas pelo ano de 2020.¹³¹ O pantanal também sofre com a seca e as queimadas, registrando mais de 27 mil focos de calor entre 1 janeiro e 22 de setembro, estima-se que mais de 20% da vegetação pantaneira foi destruída pelas chamas do presente ano (FAPESP, 2020).

¹²⁹ A Lei n. 13.123/15 suscita questionamentos por beneficiar pessoas jurídicas: no artigo 17, § 5º, torna isentos de necessidade de repartição de benefícios as microempresas, empresas de pequeno porte, microempreendedores individuais, agricultores tradicionais e suas cooperativas com receita bruta anual igual ou inferior ao limite máximo (ROCHA, 2019, p.115).

¹³⁰ Segundo relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) da ONU o aquecimento global deve ser limitado a 1,5°C, a fim de conter os impactos negativos (como perda total de corais, aumento de 10cm no nível do mar, aumento dos ciclones tropicais). Isso significa uma queda de 45%, em relação a 2010, nas emissões de dióxido de carbono até 2030, ou seja, uma mudança no sistema de produção e consumo “sem precedentes”.

¹³¹ Os focos de incêndio medidos entre 1 janeiro e 14 de setembro de 2020 aumentaram 11% em relação aos focos de incêndio de período similar de 2019 (STAM, 2020).

Além da degradação direta da fauna e flora, a atmosfera é prejudicada pela liberação de carbono derivado da combustão, prejudicando a qualidade de vida de todo organismo dependente das condições atmosféricas.

Nesse cenário desolador, a biotecnologia ascende no empreendimento para conservação da biodiversidade. Dentre as várias tecnologias aplicáveis para minimizar, ou reverter, os impactos anteriormente mencionados, destacam-se dois conjuntos: a biorremediação e as ômicas. O primeiro mantém relações com o estudo da microbiologia e bioprocessos industriais, o segundo, com as ciências biomoleculares, especialmente ferramentas genômicas. A proeminência da genômica em relação às outras ômicas pode ser explicada pelo reducionismo genético promovido pelo discurso da ação do gene, que alterou de tal forma a agenda científica que instrumentações cada vez mais robustas foram implementadas.

Os processos de biorremediação são desencadeados por ação de microrganismos (bactérias, fungos e microalgas), plantas (a chamada fitorremediação, menos frequente), suas partes (enzimas), ou pela integração entre eles. Nessa tecnologia, a abordagem de biologia de sistemas tem papel fundamental na dinâmica da decomposição e formação de outros compostos. Os substratos para esse processo são os compostos tóxicos, transformados em compostos menos tóxicos¹³² ou atóxicos por reações bioquímicas. As técnicas existentes dividem-se em *in situ*, quando a biorremediação acontece no local de contaminação, e *ex situ*, quando o processo de descontaminação é conduzido em outro local. Água e solo contaminados por xenobióticos¹³³ podem, através dessas técnicas, ser reabilitados. O tipo de biorremediação varia conforme o ambiente (ph, calor, umidade, luminosidade, presença de ar, granulometria no caso de solo), dispersão, toxicidade e concentração do contaminante.

A biorremediação *in situ*¹³⁴ tem o custo menos elevado, e encontra no clima tropical condições ótimas para sua realização. Pode ser dividida em biorremediação passiva, a técnica de mínima intervenção, onde microrganismos autóctones atuam na

¹³² No caso de metais pesados, como cádmio e mercúrio, são transformados em compostos menos tóxicos, mas não degradados.

¹³³ Substâncias químicas não encontradas normalmente nos organismos, que costumam ser tóxicas ao ser humano: pesticidas agrícolas (DDT, 2,4D, mancozeb), inseticidas, derivados de petróleo (BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno - e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), produtos de limpeza, fármacos.

¹³⁴ Quando se opta pela biorremediação *in situ* a dinâmica ecológica da microbiota, seja autóctone ou estrangeira, deve ser considerada. Os níveis de toxicidade local são periodicamente mensurados. Embora seja a estratégia mais barata e mais utilizada, a atenuação pode levar anos ou décadas.

remediação; bioestimulação, que consiste na adição de nutrientes orgânicos e inorgânicos para estimular a proliferação de microrganismos; bioaugmentação, que é a inoculação de microrganismos com potencial de degradação conhecido para o contaminante alvo; bioventilação, que introduz oxigênio molecular no solo para estimular o crescimento de microrganismos introduzidos ou encontrados naturalmente. Nas técnicas *ex situ*, o material contaminado é levado para uma estação de tratamento, onde há maior controle das condições processuais, três tipos se destacam: *landfarming* (primeira técnica utilizada em larga escala, usada nas refinarias de petróleo), que consiste em revolver constantemente o solo para promover contato com o oxigênio do ar na camada superior, estimulando o crescimento de bactérias aeróbicas; a segunda técnica consiste em biorreatores de tanque agitados, que combinam catalisadores e microrganismos, funcionam na fase líquida, com a solução (seja solo ou água contaminados), há um alto controle de pH, disponibilidade de nutrientes, aeração e temperatura nessa técnica; a terceira é a técnica de compostagem, ou biopilhas, usada no tratamento de compostos sólidos de alta toxicidade (e.g. hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), construindo-se camadas de material contaminado com composto orgânico, onde agem microrganismos conhecidos, que transformam ativamente as substâncias contaminantes em outras inofensivas (COUTINHO *et al.*, 2015; BERTICELLI *et al.*, 2016; FRANCISCO & QUEIROZ, 2018).

Embora as supracitadas técnicas de desinfecção ambiental desempenhem um papel importante na reabilitação ambiental a longo prazo, e dessa forma manifestem o valor de sustentabilidade, podem surtir o efeito oposto e perpetuar a poluição. Mineradoras e petroleiras usam essas técnicas para diminuir a toxicidade de seus rejeitos e acidentes. Do ponto de vista de valor de capital e de mercado essa técnica é estabelecida a fim de fazer cumprir a lei de biossegurança dos rejeitos industriais. Não há um ganho econômico direto ao fazer biorremediação, mas um gasto necessário para o funcionamento industrial em adequação com a legislação local. Essa tecnologia tende a expressar o valor de sustentabilidade, mas está associada à atenuação de uma forma de produção e consumo de alto impacto negativo ambiental. É imprescindível não perder de vista que uma vez perdida fauna e flora de determinado ambiente (por desmatamento, contaminação, ou outra ação antrópica) a recuperação e restabelecimento tal qual o original é *impossível*. O valor de sustentabilidade, justiça social e participação democrática da biorremediação poderá

ser melhor expresso em condições de produção e consumo também associadas à sustentabilidade (e.g. agroecologia), ou, uma vez que a transição entre um sistema de produção degradante para um sustentável inicie, a biorremediação atue na revitalização de solo e água contaminados pelo sistema anterior.

As ômicas são tecnologias que também são capazes de atuar na restauração ambiental. Fauna e flora degradadas têm chance de serem “restabelecidas” quando estudadas visando o controle da saúde de populações, de animais e plantas locais em interação, proporcionando condições para que ocorra a diversidade. Essas tecnologias, associadas à bioinformática, compõem a fase integrativa da biotecnologia. A comunicação com as disciplinas da ecologia e biologia da conservação sob a égide da abordagem da biologia de sistemas é essencial em projetos que têm como intuito estudar e reintroduzir organismos em seu ambiente natural. Esse tipo de projeto demanda um grande número de cientistas de diversas áreas, trabalhando em conjunto, tal como discutido na seção 2.5.

Um caso exemplar da aplicação da biotecnologia em pesquisa multiestratégica é no projeto de conservação do mico-leão-dourado (PCMLD) (*Leontopithecus rosalia*), espécie de primata endêmica da Mata Atlântica de baixada costeira do Estado do Rio de Janeiro,¹³⁵ o aumento da urbanização, a fragmentação das áreas florestais e a biopirataria contribuíram para a diminuição da população dos micos. Considerados extintos na década de 1960, foram vistos novamente no início de 1970, com população baixa (cerca de 200 indivíduos) na natureza. Em 1974, foi criada a Reserva Biológica do Poço das Antas, onde projetos em prol da conservação dessa espécie possibilitaram o crescimento da população para 2500¹³⁶ indivíduos vivendo livremente. O sucesso do projeto está relacionado à atuação da Associação Mico-Leão-Dourado, cuja estratégia é dividida em dez frentes: (1) manejo da população, monitoramento de MLD de vida livre e reintrodução de animais de cativeiro, para criar uma metapopulação viável; (2) aumento de áreas de mata atlântica protegidas na forma de Unidades de Conservação de proteção integral e reserva legal; (3) incentivo à agricultura familiar, buscando a reintrodução da vegetação típica de Mata Atlântica por coleta de sementes georreferenciadas e validadas quanto à qualidade fisiológica

¹³⁵ Atualmente essa área está reduzida a 17% da área original, fragmentada e em diferentes estágios de degradação (GRATIVOL, RUIZ-MIRANDA, TEIXEIRA, SCHMIDT, 2008, p.136).

¹³⁶ Devido a um surto de febre amarela que ocorreu na região a partir de 2017, a população de mico-leão caiu de 3200 para 2500.

e genética, além do incentivo da troca de sementes entre viveiristas; (4) restauração florestal nas áreas de escopo, dentro e entre as unidades de manejo da metapopulação; (5) educação ambiental através da formação de professores, oferta de cursos aos visitantes e intervenções urbanas (e.g. ação “Mico vai às Ruas”); (6) infraestrutura linear, construção de equipamentos para passagem de fauna em risco de atropelamento; (7) planejamento territorial, já que a região de exploração de petróleo de Campos/Macaé está localizada em um dos fragmentos de ocorrência do MLD; (8) turismo sustentável; (9) comunicação e marketing; (10) fortalecimento institucional (AMLD, 2020).

Técnicas baseadas em sequenciamento genético (e.g. *Single Nucleotide Polymorphisms* - SNPs, *Diversity array technology* - DArT, *DNA barcode*), hibridação (e.g. *Restriction Fragment Length Polymorphism* - RFLP) e PCR (e.g. *Random Amplified Polymorphic DNA* - RAPD, *Amplified Fragment Length Polymorphism* - AFLP, *Sequence Characterized Amplified Region* - SCAR, *Inter Sequence Simple Repeats* - ISSR, *Simple Sequence Repeat* - SSR) possibilitam a análise de marcadores moleculares para a determinação de variabilidade genética tanto de fauna quanto flora da Mata Atlântica. A fragmentação da Mata Atlântica teve efeitos sobre o pool genético do mico-leão-dourado, diminuindo o fluxo gênico (por barreira geográfica) e a diversidade do grupo. Grativol e colaboradores (2003) sequenciaram o DNA mitocondrial¹³⁷ de 57 amostras antigas obtidas de espécimes coletadas há cerca de dois séculos, que são preservadas em museu, a análise dos marcadores moleculares revelou uma diversidade de 18 haplótipos mitocondriais de linhagens maternas.

Essas amostras foram comparadas com 195 amostras de DNA de mico-leão-dourado remanescentes (incluindo espécimes de cativeiro), que possuíam uma diversidade de 6 haplótipos. A comparação entre os dois conjuntos de haplótipos permitiu encontrar um tipo na população de micos, criados em cativeiro, com o mesmo haplótipo de micos de vida livre da região sul do Rio de Janeiro, cuja população está atualmente extinta. Essa identificação permitiu que iniciativas fossem tomadas para

¹³⁷ Usado para estudo de indivíduos em populações, por ter uma alta taxa de evolução (em plantas a variação mitocondrial acontece de forma mais lenta, quando comparada aos mamíferos), alto número de cópias e ser herdável da mãe. Pode ser usado como marcador individual, permitindo diferenciar entre indivíduos da mesma espécie, ao passo que possui semelhanças interespecíficas, o que permite caracterizar espécies diferentes.

multiplicar e reintroduzir essa variante na natureza, a fim de aumentar a diversidade e resistência à seleção natural da espécie.

A conservação *ex situ* de animais é importante para manutenção de matrizes de alta variabilidade genética, nesse aspecto leva-se em consideração o relaxamento da seleção natural do animal de cativeiro. Uma alternativa é induzir a reprodução entre indivíduos de diferentes genealogias, combinado com tecnologias genéticas e moleculares, para averiguar o grau de parentesco e estruturação da população. Com base nessas análises é possível prever possíveis genótipos da progênie. A genotipagem permite estimar o nível de dispersão de animais de vida livre, além de verificar que a dispersão em MLD é enviesada pelo sexo (as fêmeas tem um nível de dispersão inferior) (MORAES *et al.*, 2018). Esse tipo de instrumentação também pode ser aplicado no manejo *in situ*, facilitando a tomada de decisão quanto a reintrodução de um animal em cativeiro. O sucesso de reintrodução depende da adaptação de enriquecimento ambiental do cativeiro, aproximando-o do ambiente natural.

Ainda sobre a fragmentação de floresta, por impedir que indivíduos em idade de reprodução possam transitar livremente e encontrar parceiros não consanguíneos, a reprodução fica restrita a um pequeno grupo, aumentando o efeito da deriva genética¹³⁸, endogamia, homozigose e expressão de genes recessivos, ligados à carga genética, o que diminui a variabilidade da população e a torna muito suscetível a eventos de seleção negativa. Além disso, essa separação favorece eventos de especiação e formação de espécies crípticas,¹³⁹ o que intensifica o processo de extinção. A fim de aumentar o fluxo gênico entre diferentes populações de MLD foi construído neste ano de 2020 um viaduto vegetado com espécies de mata atlântica, ligando a Reserva Biológica do Poço das Antas e a Área de Proteção Ambiental Rio São João na BR-101 km 218, espécies nativas de mata atlântica vindas de viveiros de agricultura familiar de um dos projetos da AMLD estão sendo plantadas interligando a reserva com a área de proteção (MARINHO, 2020). É importante ressaltar que os projetos de preservação do MLD não são projetos biotecnológicos, mas utilizaram

¹³⁸Frequência de alelos ao longo das gerações se altera ao acaso. Ocorre em todo tipo de população, mas tem efeitos especiais quando a população é pequena, podendo, na pior das hipóteses, resultar na perda de alelos benéficos ou fixação (100% da população apresentará aquele par) de alelos prejudiciais.

¹³⁹ São espécies fenotipicamente idênticas, mas geneticamente muito distintas, sendo classificadas como espécies distintas. Não reproduzem entre si, ou quando acontece, a prole perde gradativamente a capacidade de reprodução.

aplicações biotecnológicas (instrumentos e artefatos) que possibilitam controlar a natureza.

A biotecnologia fornece instrumentação para parte da estratégia do PCMLD: diagnóstico e monitoramento de processos genéticos e ecológicos associados a extinção de espécies, que utiliza instrumentação subjacente ao sequenciamento, (i.e., marcadores moleculares, metabarcoding, metagenômica e metatranscriptômica) associada a softwares de bioinformática, outras ferramentas baseadas em microrganismos e suas partes como biorremediação para restauração de áreas de extração de petróleo. Embora haja reducionismo genético do organismo, considerado quanto a sua variabilidade genética, o pano de fundo não sofre apagamento: características ambientais devem ser levadas em consideração na reprodução do organismo, o que garantirá sua permanência no ambiente e aumento da diversidade, assim como características sociais no incentivo à produção de agricultura familiar e minimização do impacto ambiental. O papel ecológico do mico como dispersor de sementes auxilia na região, favorece a manutenção da Mata Atlântica, e aparecimento de seus predadores naturais (onças, iraras, jibóias e aves de rapina). Esse é um exemplo de Estratégia Sensível ao Contexto, em que pesquisas multi-estratégicas se unem com estratégias materialistas de restrição e seleção.

Em síntese, a biotecnologia produz instrumentação no seio de estratégias descontextualizadoras, que podem ser integradas a estratégias sensíveis ao contexto. Entretanto, em razão da importância dada às indústrias e ao comércio, há um predomínio da expressão de valores do capital e do mercado. Como analisado no caso do agronegócio – e estendendo-se para áreas da farmácia, pecuária e alimentar – dentro das estratégias descontextualizadoras os valores são articulados para induzir a uma falsa-neutralidade. É impossível, por definição, que a biotecnologia, orientada por valores de capital e de mercado, expresse a neutralidade aplicada. Isso não inviabiliza a existência de projetos que expressem valores de justiça social, participação democrática e sustentabilidade, características das estratégias sensíveis ao contexto, o que aumenta, em certa medida, a manifestação da neutralidade aplicada da biotecnologia.

A lógica do regime transitório se aplica quando a biotecnologia está agindo de acordo com a estratégia descontextualizadora. A biotecnologia pode agir também no regime transversal: quando há criação de instrumentos sem vínculos a valores específicos (e.g. sequenciamento de biomoléculas). Os valores diretivos da

biotecnologia são dependentes das instituições que a aplicam, entretanto, há tecnologias que são mais propensas a servir ao mercado (e.g. bioprospecção e transgenia); o que está de acordo com a liquidez proposta pelos regimes transversalista de produção e difusão da ciência e tecnologia. O problema da falta de neutralidade da biotecnologia nasce quando sua aplicação é majoritariamente dominada pela economia.

No interior das atividades que compõem a biotecnologia, ela procura manter-se neutra usando regulamentações, leis que direcionam como deve acontecer a produção e aplicação do conhecimento. Em oposto, a regulação é frágil e mesmo havendo penalidade para determinadas ações, não quer dizer nem que as ações "proibidas" cessem, nem que esteja garantida a aplicação da penalidade (e.g. impunidade a desastres ambientais causados por negligência de grandes empresas). A diretiva de valor moral é suplantada pelo valor do capital e mercado, engendrada por uma noção competitiva e individualista da ciência, mostrando-se bem alinhada com os valores das instituições dominantes. Uma vez percebida a impossibilidade de neutralidade na biotecnologia e a necessidade do entendimento da sua relação com a sociedade e o ambiente (desde a reunião de Asilomar, refletindo em programas como o ELSI), a institucionalização da cátedra de bioética nos bacharelados de biotecnología como disciplina obrigatória¹⁴⁰ está se consolidando, um potencial indicativo de uma biotecnologia mais próxima a valores ligados às estratégias sensíveis ao contexto.

¹⁴⁰ Os 5 cursos de graduação em biotecnologia com avaliação máxima pelo MEC foram analisados quanto a sua grade curricular. A relação universidade - cátedra relacionada à bioética na biotecnologia é dada a seguir: UFSCAR - bioética, PUC(PR) - vida e sociedade na era da biotecnologia e bioética e direitos humanos, UFU - ética, Unifesp - bioética e biossegurança, UFAM - bioética, UFRGS - metodologia e informação científica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento bibliográfico e a discussão das páginas anteriores levam a situar a biotecnologia, antes de mais, como uma invenção humana baseada no método científico para exercer controle sobre a natureza. Isso significa que a biotecnologia tem sua origem após a Revolução Científica, precisamente no século XX, e possui ancestralidade na zimotécnica remete ao século XVIII. As proposições que situam a origem da biotecnologia antes desse período são desvios que induzem ao erro. Os aparatos técnicos que a biotecnologia engendra atravessam e redirecionam os processos e fenômenos naturais, o que dificulta a distinção entre natureza e artefato.

É uma atividade de fronteira com muita plasticidade, capaz de rapidamente englobar novas disciplinas. Sua dinâmica de funcionamento se ajusta bem ao regime transversalista, marcado pelos processos de respiração e circulação. Seus praticantes podem atuar tanto no regime transitório, quanto no de tecnologia de pesquisa. Devido à generalidade do termo e a característica mutante do conjunto de subdisciplinas que compõem a biotecnologia, uma definição precisa nunca será alcançada. As definições genéricas e voltadas para o utilitarismo são características de disciplinas de ponta tecnológica, já que qualquer precisão na definição tem o risco de caducar. A formação da disciplina de biotecnologia é gradativa e o conhecimento é acumulativo, sem revoluções significativas no seu interior.

Os ideais epistemológicos da ciência historicamente construídos a partir do século XVII não são adequados ao recorte científico proposto na pós-modernidade. A imbricação com o comércio, desde sua concepção, é suficiente para que o pilar do ideal científico que sustenta a biotecnologia contemporânea como neutra seja rompido. Mais do que isso, a biotecnologia tem se provado, ao longo da história, como ferramenta que acaba favorecendo o enriquecimento de países enriquecidos. Dada a não consonância com a normativa de neutralidade científica, entende-se que outros valores, além de valores econômicos, precisam ser cultivados nesse grupo de pesquisadores a fim de construir uma biotecnologia socialmente robusta.

A legislação e debate público não podem fazer papel de regulador principal da atividade do biotecnologista, visto que são passíveis de incongruências, impunidades, diferem entre localidades e não há garantia de que sejam seguidas. Mais do que legislar ou levar ao público o assunto da atividade da biotecnologia, é necessário

incutir no cientista o pensamento crítico sobre sua própria produção, inserida numa delicada fronteira entre natureza e artefato, para que haja clareza em suas decisões como sujeito histórico e que a ciência possa ser conduzida congruentemente com seus valores articulados. O pensamento crítico não pode ser criado tendo como fundamento único a atividade do cientista no laboratório, ao contrário, ele deve surgir através do ambiente ensino-aprendizado das universidades que almejam servir, para além das necessidades do mercado, ao bem estar social. A cátedra de bioética, nos moldes que é ministrada, é insuficiente para esse propósito. Disciplinas que promovam o encontro entre historicidade e epistemologia se fazem necessárias na grade curricular da biotecnologia

Este trabalho é, antes de tudo, um apelo que aponta para a necessidade de estabelecer o pensamento crítico na formação do biotecnologista, para que se compreenda como indivíduo histórico, que move e perpetua, através da inovação, a máquina do capital na indústria 4.0. O planeta passa por mudanças climáticas e diminuição de habitats naturais que colocam em risco a existência de muitas espécies de seres vivos, incluindo o homem. É cada vez menos provável que a falsa neutralidade da ciência seja tolerável e que valores de justiça social, participação democrática e sustentabilidade sejam periféricos às discussões desenvolvimentistas. Para que a civilização humana chegue ao século XXII, uma reestruturação das grades curriculares é impreterível nas próximas décadas, a fim de assentar um novo sistema de produção e conseqüentemente de consumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, A. Things of boundaries. *Social Research*, 62, 4, p. 857-82, 1995.
- ALBERGONI, L., PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigma? *Revista de Economia*, 33, 1, p. 31-53, 2007.
- ÁLVAREZ, J. C. D.; AVELAR, C. M.; ALMAGUER, D. M. El papel de la nanociencia y la nanotecnología en el marco de la pandemia de Covid-19. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 13, 25, p. 1-29, 2020.
- ANTUNES, A. Os efeitos danosos da caça ilegal. *Revista Fapesp*, 249, nov. 2016. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/os-efeitos-danosos-da-caca-ilegal/>>. Acesso em 15/out./2020.
- ARBER, W. The impact of microbial genetics on the development of genomics and biotechnology. *The Pontifical Academy of Sciences*. Cidade do Vaticano, p. 219-37, 2006. Disponível em: <<http://www.papstlicheakademiederwissenschaften.va/content/dam/accademia/pdf/acta18.pdf#page=287>> Acesso em 03/mar./2021
- ARCANJO, F. C. O conceito de gene em “The theory of the gene” (1926) de Thomas Hunt Morgan. *Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia*, 17, UNIRIO, Anais eletrônicos, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.17snhct.sbhct.org.br/resources/anais/11/snhct2020/1599868354_ARQUIVO_0359202de4865995256f575fa46d32b0.pdf> Acesso 16/fev./2021.
- ASSOCIAÇÃO MICO-LEÃO-DOURADO (AMLD). Mico-leão: genética, ecologia e comportamento. c2020. Disponível em: <<https://micoleao.org.br>>. Acesso em 17/nov./2020.
- AVERY, O T.; MACLEOD, C. M.; MCCARTY, M. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types: Induction of transformation by a deoxyribonucleic acid fraction isolated from *Pneumococcus* Type III. *Journal of Experimental Medicine*, 79, 2, p. 137-58, 1944.
- BARRETO, M. L. et al. Mudanças dos padrões de morbimortalidade: uma revisão crítica das abordagens epidemiológicas. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 3, 1, p. 127-46, 1993.
- BELL, M.; BLAIS, J. M. “-Omics” workflow for paleolimnological and geological archives: A review. *Science of The Total Environment*, 672, p. 438-55, 2019.

- BANDEIRA, J. L.; ESPÍNDOLA, C. J. Oligopolização e financeirização do Setor Genético no Brasil: Desnacionalização, Fusões e Iniciativa Chinesa no Setor. *XIII ENANPEGE*, 2019. p. 3-12.
- BARTHLOTT, W.; RAFIQPOOR, M. D.; ERDELEN, W. R. Bionics and biodiversity–bio-inspired technical innovation for a sustainable future. In: Knippers J., Nickel K., Speck T. *Biomimetic Research for Architecture and Building Construction. Biologically-Inspired Systems*, 8. Springer Nature. 2016. p. 11-55.
- BATISTETI, C. B. *Os estudos de Avery, Macleod e Mccarty e a ideia do DNA como responsável pela hereditariedade: interpretações historiográficas e apontamentos para o ensino de biologia*. Tese de Mestrado em educação para ciência. UNESP. 2010. 97p.
- BENNATI, R. O. *Big data e dados públicos de expressão gênica: aplicações na pesquisa biomédica e estudo de caso em doenças tromboembólicas*. Tese de doutorado em ciências médicas. UNICAMP-SP, 2019. 135p.
- BERG, P. Nobel Lecture. *Nobel media*, 2004. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1980/berg/lecture/>>. Acesso em 07/jul./2020.
- _____. Asilomar 1975: DNA modification secured. *Nature*, 455, p. 290-1, 2008. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/455290a>>. Acesso em 22/jul./2020.
- BERTICELLI, R. et al. Compostagem como alternativa de biorremediação de áreas contaminadas. *Revista CIATEC-UPF*, 8, 1, p.12-27, 2016.
- BLASCO, J. M. Biologia sintética e a vida à la carte. Entrevista concedida a M. Junges e A. Costa. Tradução M. Sbardelotto. *Revista do Instituto Humanitas Unisinos* (on-line). XIII, 429, p. 15-9. Acesso em 15/out./2020.
- BRANKOV, T.; LOVRE, K. *GM food systems and their economic impact*. Nutrition and food sciences, CAB e-book, 2019.
- BUCHHOLZ, K.; COLLINS, J. *The roots: a short history of industrial microbiology and biotechnology*. Applied Microbiology Biotechnology, Springer, 97, 9, p.3747-3762, 2013.
- BUD, R. The zymotechnic roots of biotechnology. *The British Journal for the History of Science*, 25, 1, p.127-44, 1992.
- _____. *The uses of life: a history of biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

- _____. History of biotechnology. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. New York: John Wiley, p. 1-6, 2001.
- CAREY, N. *Junk DNA: a journey through the dark matter of the genome*. New York: Columbia University Press, 2015.
- CARVALHO, G. G. S. et al. *Morfogênese computacional: da bio-inspiração ao biodesign*. Tese de mestrado em arquitetura, tecnologia e cidade, UNICAMP, 2019.
- CHANG, K. M. Fermentation, phlogiston and matter theory: chemistry and natural philosophy in Georg Ernst Stahl's "Zymotechnia Fundamentalis". *Early Science and Medicine*, 7, 1, p. 31-64, 2002.
- CHEN Z et al. Rapid and sensitive detection of anti-SARS-CoV-2 IgG, using lanthanide-doped nanoparticles-based lateral flow immunoassay. *Anal Chem.*, 92, 10, p. 7226-31, 2020.
- CHEW, W. L. Immunity to CRISPR Cas9 and Cas12a therapeutics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*, 10, 1, p. 1. 2018.
- CHRISTENSEN, R. et al. Biotechnology – an overview. *European Investment Bank (EIB) Sector Papers*, June 2002. Disponível em: <https://www.eib.org/Attachments/pj/pjbio_en.pdf>. Acesso 20/set./2020.
- CIB, Centro de Informação da Biotecnologia. *Grandes áreas biotecnológicas*. Portugal. 2008. Disponível em: <<https://cibpt.wordpress.com/2008/10/10/grandes-areas-biotecnologicas/>>. Acesso em: 25/nov./2020.
- _____. *Transgênicos: países em desenvolvimento cultivam mais do que países industrializados*, Portugal. 2013. Disponível em: <<https://cibpt.org/inicio/index.php/cib/comunicados/2013/223-transgenicos-paises-em-desenvolvimento-cultivam-mais-do-que-paises-industrializados>>. Acesso em 10/out./2020.
- _____. *Soja transgênica no Brasil: o carro-chefe da agricultura e da economia*. Portugal, 2019. Disponível em: <<https://cib.org.br/soja-transgenica-no-brasil/>>.. Acesso em 10/out./2020.
- CLERICUZIO, A. Chemistry of life: ferments and fermentation in 17th-century iatrochemistry. *Medicina nei Secoli*, 15, 2, p. 227-45, 2003.
- COELHO-COSTA, E. R. A bebida de Ninkasi em terras tupiniquins: O mercado da cerveja e o Turismo Cervejeiro no Brasil. *RITUR-Revista Iberoamericana de Turismo*, 5, 1, p. 22-41, 2015.

- COUTINHO, P. W. R. et al. Alternativas de remediação e descontaminação de solos – biorremediação e fitorremediação. *Nucleus*, 12, 1, p. 59-68, 2015.
- CRICK, F. et al. General nature of the genetic code for proteins. *Nature*, 192, 4809, p.1227-32, 1961.
- DOMMELEN, A. The Precautionary Principle: dealing with controversy. *Biotechnology and Development Monitor*, 43, 2, p. 8-11, 2000. Disponível em: <<http://www.biotech-monitor.nl/4303.htm>>. Acesso em 29/nov./2020.
- DRAGONE, G et al. Improvement of the ethanol productivity in a high gravity brewing at pilot plant scale. *Biotechnology Letters*, 25, p. 1171-4, 2003.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Os benefícios da biotecnologia para a sua qualidade de vida*. Notícias. A biotecnologia e você. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/recursos-geneticos-e-biotecnologia/sala-de-imprensa/se-liga-na-ciencia/a-biotecnologia-e-voce>>. Acesso em 29/nov./2020.
- ESPINEL-BARRERO, N. E.; VALBUENA-USSA, E. O. Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, p. 193-206, 2018.
- EXNER, G. Rudolf Goldscheid (1870-1931) and the Economy of Human Beings, Vienna Yearbook of Population Research, Vienna Institute of Demography (VID). *Austrian Academy of Sciences in Vienna*, 2, 1, p. 283-332, 2004.
- FASOLI, E. et al. Les maîtres de l’orge: the proteome content of your beer mug. *Journal of Proteome Research*, 9, 10, p. 5262-9, 2010.
- FERREIRA, H. S. et al. *A biossegurança dos organismos transgênicos no direito ambiental brasileiro: uma análise fundamentada na teoria da sociedade de risco*. Tese de doutorado em direito, Florianópolis, UFSC, p.133-205, 2008.
- FORMIGA, J. A. *Os transgênicos nas acepções dos direitos ambiental e consumerista: produção, comercialização e violação aos princípios do meio ambiente equilibrado e da segurança alimentar*. Tese de mestrado em sistemas agroindustriais, UFCG, p. 34-52, 2019.
- FRANCISCO, W. C.; QUEIROZ, T. M. Biorremediação. *Revista Nucleus*, 15, 1, p. 249-56, 2018.
- FRIEDRICH S., BEUZEKOM B. Revised proposal for the revision of the statistical definitions of biotechnology and nanotechnology. *OECD Science, Technology*

- and Industry Working Papers*. 2018. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1787/085e0151-en>>. Acesso em 29/nov./2020.
- GALAMBOS, L. & STURCHIO, J. L. Pharmaceutical firms and the transition to biotechnology: a study in strategic innovation. *The Business History Review*, 72, 2, p. 250-78, 1998. Disponível em: <www.jstor.org/stable/3116278
https://www.jstor.org/stable/3116278?read-now=1&seq=1#page_scan_tab_contents>. Acesso em 5/ago./2020
- GAUTHIER, J. et al. A brief history of bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics*, 20, 6, p.1981-996, 2019.
- GEDDES, P. *Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and to the study of civics*. London: Williams, 1915.
- GOUJON, P. From biotechnology to genomes: the meaning of the double helix. *World Scientific*, p.116-64, 2001.
- GRATIVOL, A. D. *DNA antigo e genética da conservação do mico-leão-dourado (Leontopithecus rosalia): estrutura genética em duas escalas de tempo e sua relação com a fragmentação da Mata Atlântica*. DSc-Biociências degree, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 2003.
- GUIMARAES, D. O.; MOMESSO, L. S.; PUPO, M. T. Antibióticos: importância terapêutica e perspectivas para a descoberta e desenvolvimento de novos agentes. *Química Nova*, 33, 3, p. 667-79, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000300035&lng=en&nrm=iso>. Acesso 12/jun./2020.
- HANSEN, S. Global 2000: as maiores empresas de medicamentos e biotecnologia do mundo. *FORBES*, 14 de maio de 2020. Disponível em: <<https://forbes.com.br/listas/2020/05/global-2000-as-maiores-empresas-de-medicamentos-e-biotecnologia-do-mundo/>>. Acesso 10/ago./2020.
- HASHEM, A. et al. *Innovation in Agriculture and Industrial Sectors of Bangladesh through application of Biotechnology to achieve SDGs: Opportunities and Challenges*. 1st International Conference on Planning and Development, NAPD, Dhaka, 2019.
- HOU, D. et al. Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability. *Nature Reviews: Earth & Environment*, 1, 7, p. 366-381, 2020.

- JACKSON, D. A.; SYMONS, R. H.; BERG, P. Biochemical method for inserting new genetic information into DNA of Simian Virus 40: circular SV40 DNA molecules containing lambda phage genes and the galactose operon of Escherichia coli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 69, 10, p. 2904-9, 1972. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/69/10/2904>>. Acesso 07/jul./2020.
- JACOB, F. & MONOD, J. Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. *Journal of Molecular Biology*, 3, 3, p. 318-56, 1961. Disponível em: <[http://booksdl.org/scimag/get.php?doi=10.1016/s0022-2836\(61\)80072-7&downloadname=&key=OO0NHPB7PXALDTNC](http://booksdl.org/scimag/get.php?doi=10.1016/s0022-2836(61)80072-7&downloadname=&key=OO0NHPB7PXALDTNC)>. Acesso 08/jul./2020.
- JOAQUIM, L. M.; EL-HANI, C.N. A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. *Scientiae studia*, 8, 1, p. 93-128, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-31662010000100005&script=sci_arttext> Acesso em 13/fev./2021
- KELLER, E. F. *Refiguring life: metaphors of twentieth-century biology*. New York: Columbia University Press, 1995.
- KHAN, F. A. *Biotechnology fundamentals*. New York: Taylor and Francis Group/ CRC Press, 2012.
- KHAN, S. H. Genome-editing technologies: concept, pros, and cons of various genome-editing techniques and bioethical concerns for clinical application. *Molecular Therapy-Nucleic Acids*, 16, p. 326-34, 2019.
- KOFLER, N. Why were scientists silent over gene-edited babies? *Nature*, 566, 427, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/d41586-019-00662-4>>. Acesso em 30/set./2020.
- KRIMSKY, S.; ENNIS, J. G.; WEISSMAN, R. Academic-corporate ties in biotechnology: a quantitative study. *Science, Technology, & Human Values*, 16, 3, p. 275-87, 1991.
- _____. *Science in the private interest: has the lure of profits corrupted biomedical research?* Oxford: Rowman & Littlefield, 2003. p. 27-91.
- LABIQ, Laboratório Integrado de Química e Bioquímica. *Estudo da Estrutura e transformação da matéria. A química da visão*. USP. Disponível em: <https://labiq.iq.usp.br/p/ecq/paginas_view.php?idPagina=202&idTopico=728#.X62uGXRKjIU>. Acesso em 12/nov./2020.

- LABISISMI, Laboratório de Biologia Sistêmica de Microrganismo. FCM, Ribeirão Preto, 2011c. Disponível em: <<http://labisismi.fmrp.usp.br/index.php/br/biologia-sistematica>>. Acesso em 11/ago./2020.
- LACEY, H. *A controvérsia sobre os transgênicos: questões científicas e éticas*. Tradução P. R. Mariconda. Aparecida: Ideias & Letras, 2006.
- _____. *Valores e atividade científica 1*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia. 2008a
- _____. Ciência, respeito à natureza e bem-estar humano. *Scientiae Studia*, 6, 3, p. 297-327, 2008b.
- _____. *Valores e atividade Científica 2*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora34, 2010.
- _____. Roles for values in scientific activities. *Axiomathes*, B.V., p. 603-18, 2018.
- LACEY, H.; MARICONDA, P. R. O modelo da interação entre as atividades científicas e os valores na interpretação das práticas científicas contemporâneas. *Estudos Avançados*, 28, 82, p. 181-99, 2014a.
- _____. O modelo das interações entre as atividades científicas e os valores. *Scientiae Studia*, 12, 4, p. 643-68, 2014b.
- LIGNANI, L. B. Os Debates sobre o DDT na Trajetória de Waldemar Ferreira de Almeida (1965-1973): Toxicologia dos Agrotóxicos e Articulação entre Ciência Saúde e Ambiente. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*. 7, 3, p. 123-44, 2018. Disponível em: <<http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2785>>. Acesso em 26/out./2020.
- MADIGAN, M. T. et al. *Microbiologia de Brock*. 14 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2016.
- MARCOVICH, A.; SHINN, T. Regimes of science production and diffusion: towards a transverse organization of knowledge. *Scientiae Studia*, 10, Special Issue, p. 33-64, 2012.
- MARICONDA, P. R. O controle da natureza e as origens da dicotomia entre fato e valor. *Scientiae Studia*, 4, 3, p. 453-72, 2006.
- _____. Epistemologia e ética na liberação comercial de sementes GM pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). *Scientiae Studia*, 12, 4, p. 767-83, 2014.

- MARINHO, R. Mico-leão-dourado ganha 1º viaduto vegetado do Brasil, uma ponte para o futuro da espécie. G1. Região dos Lagos. 02 de agosto de 2020. Disponível em <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2020/08/02/mico-leao-dourado-ganha-1o-viaduto-vegetado-do-brasil-uma-ponte-para-o-futuro-da-especie.ghtml>>. Acesso em 18/nov./2020.
- MARTINS, L. A. C. P.. Teria William Bateson rejeitado a teoria cromossômica. *Estudos de Filosofia e História das Ciências biomédicas*. São Paulo: Discurso Editorial, UFSC, p. 163-184, 2006. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/lacpm-Bateson-livro-Marisa.PDF>> Acesso 20/fev./2021.
- MCCOMBIE, W. R.; MCPHERSON, J. D.; MARDIS, E. R. Next-generation sequencing technologies. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 9, 11, p. 2-8, 2019.
- MESELSON, M.; STAHL, F. W. The replication of DNA in Escherichia coli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 44, 7, p. 671-82, 1958. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/44/7/671.short>>. Acesso em 07/jul./2020.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Riscos do cultivo de plantas transgênicas*. Site oficial do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/7511-riscos.html>>. Acesso em 15/nov./2020.
- MOLINARO, E. M.; CAPUTO L.; AMENDOEIRA R. *Conceitos e métodos para a formação de profissionais em laboratórios de saúde*, 3, Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio e Instituto Oswaldo Cruz, 2013.
- MORAES, C. S. et al. *Série em biologia celular e molecular: métodos experimentais no estudo de proteínas*. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2013. p. 60-9.
- MORAES, A. M. et al. Landscape resistance influences effective dispersal of endangered golden lion tamarins within the Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 224, Elsevier, p. 178-187, 2018.
- NATIONAL HUMAN GENOME RESEARCH INSTITUTE. DNA sequencing costs: data. In: Facts sheets about genomics. Large-scale genome sequencing and analysis centers (LSAC), 2016. Disponível em <<https://www.genome.gov/sequencingcosts>>. Acesso em 15/jul./2020.
- NEHRA, M. et al. Emerging nanobiotechnology in agriculture for the management of pesticide residues. *Journal of Hazardous Materials*, p. 2-4, 2020.

- NIH. National Human Genome Research Institute. *Human Genome Project FAQ*. Disponível em: <<https://www.genome.gov/human-genome-project/Completion-FAQ>>. Acesso 12/jul./2020.
- PETERSON, D. H.; MURRAY, H. C. Microbiological oxygenation of steroids at carbon 11. *Journal of the American Chemical Society*, 74, 7, p. 1871-2, 1952.
- POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*. São Paulo, 31, 89, p.271-283, 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100271&lng=en&nrm=iso> Acesso 29/fev./2021
- QUINE, M S. *From Malthus to Mussolini: the Italian eugenics movement and fascist population policy, 1890-1938*. Tese de doutorado em filosofia. University of London. p. 7-35, 1990.
- RECORDE de Queimadas no Pantanal em 2020. Revista Pesquisa Fapesp, 296, out. 2020. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/record-de-queima-das-no-pantanal-em-2020/>>. Acesso em 16/nov./2020.
- RESENDE, R. R. *Biotecnologia aplicada à agroindústria: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora Blucher, 2017.
- ROCHA, M. C. A. et al. *Biopirataria das plantas medicinais enquanto apropriação dos conhecimentos tradicionais da Amazônia brasileira*. Tese mestrado em direito, Universidade Federal de Santa Maria, p. 96-118, 2019.
- RODRIGUEZ, J. R. et al. *Propriedade intelectual e conhecimentos tradicionais: avaliação crítica da disciplina jurídica brasileira*. Secretaria de Assuntos Legislativos do Ministério da Justiça. Projeto Pensando o Direito. CEBRAP. Brasília-DF, p.73-102, 2010. Disponível em: <https://www.justica.gov.br/seus-direitos/elaboracao-legislativa/pensando-o-direito/publicacoes/anexos/vol-36_propriedade_intelectual_e_conhecimentos_tradicionais_cebrap.pdf>. Acesso em 15/nov./2020.
- SAYERS, E. W., et al. Database resources of the National Center for Biotechnology Information. *Nucleic Acids Research*, 48, 16, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/nar/gkz899>>. Acesso em 14/ago./2020.
- SBBIotec, Sociedade Brasileira de Biotecnologia. *Nossa História*. c2017. Disponível em: <<https://www.sbbiotec.org.br/nossa-historia>>. Acesso em 29/nov./2020.

- SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. World Economic Forum [Traduzido por D. M. Miranda] São Paulo: Edipro, p.14-37, 2016.
- SENIOR, M. The biopharmaceutical anomaly. *Nature Biotechnology*, 38, p. 798–805 2020. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41587-020-0593-1>>. Acesso em 13/jan./2021.
- SHETTY, M. J. et al. Genetically modified crops: an overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 1, p. 2405-410, 2018.
- SHINN, T.; JOERGES, B. The transverse science and technology culture: dynamics and roles of research-technology. *Social Science Information*, 41, 2, p. 207-51, 2002. Disponível em: <<http://ssi.sagepub.com/content/41/2/207>>. Acesso 12/out./2020.
- _____. & Lamy, E. Caminhos do conhecimento comercial: formas e consequências da sinergia universidade-empresa nas incubadoras tecnológicas. *Scientiae Studia*, 4, 3, p. 485-508, 2006.
- SHRIVASTAVA, N. et al. Promises and cons of nanobiotechnology: a critical. *Plant Archives*, 19, 1, p. 1-11, 2019.
- SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; DE PAULA, A. R. V. Cerveja e sociedade. *Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, 4, 2, p. 85-91, 2016.
- SILVA, A. C. R. *A política de biotecnologia no contexto das políticas nacionais de ciência e tecnologia*. Tese de doutorado em administração pública, Rio de Janeiro: FGV, 1989.
- SILVA, J. P. *A biopirataria no novo Estatuto da Biodiversidade*. Trabalho de conclusão de curso em direito e ciências jurídicas. Santa Rita: UFPB, 2009.
- SISTEMA DE REGULAÇÃO DO ENSINO SUPERIOR. *Cadastro nacional de cursos e instituições de educação superior*. Ministério da Educação. Consulta textual. 2021c. Disponível em: <<https://emec.mec.gov.br/emec/nova#simples>>. Acesso em 14/jan./2021.
- STAM, G. Queimadas na Amazônia aumentam interações. *Revista FAPESP*. São Paulo, 2020. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br//queimadas-na-amazonia-aumentam-interações/>>. Acesso em 16/out./2020.
- TAKAMINE, J. *Enzymes of Aspergillus Oryzae and the Application of Its Amyloclastic Enzyme to the Fermentation Industry*. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 6, 10, 824-8, 1914.

- THACKRAY, A. (Ed.). *Private science: Biotechnology and the rise of the molecular sciences*. University of Pennsylvania Press, 1998.
- TOZI, F. Intellectual property protection and drug patents in Brazil. *Mercator*, 19, 2020. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e19021>> Acesso em 1/nov./2020.
- TUITE, M. et al. Cellular factors important for the *de novo* formation of yeast prions. British Yeast Group Meeting. Ireland: *Biochemical Society Transactions*, 36, p.1083-7, 2008.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Biotechnology. Life Sciences*. 2020. Disponível em <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/science-technology/basic-sciences/life-sciences/biotechnology/#:~:text=Biotechnology%20is%20the%20term%20given,of%20industry%2C%20medicine%20and%20agriculture>>. Acesso em 28/nov./2020.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. *Projeto Pedagógico do Curso em Biotecnologia*. São Carlos. UFSCar, 2018. Disponível em: <<http://www.biotec.ufscar.br/projeto-pedagogico/projeto-pedagogico-do-curso-de-biotecnologia/view>>. Acesso em 24/jul./2020.
- VERMA, A. S. et al. *Biotechnology in the Realm of History. Journal of pharmacy and bioallied sciences*, 3, 3, 2011.
- VERMA, C. et al. A review on impacts of genetically modified food on human health. *The Open Nutraceuticals Journal*, 4, 1, 2011.
- VIDEIRA, A. A. P. Transdisciplinaridade, interdisciplinaridade e disciplinaridade na história da ciência. *Scientiae Studia*, 2, 2, p. 279-93, 2004. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ss/article/view/11008/12776>>. Acesso 21/jul./2020.
- WATSON, J. D.; CRICK, F. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171, 4356, p. 737-8, 1953. Disponível em: <http://www.biology4friends.org/uploads/1/0/0/4/10044856/annotated_version_of_watson_and_crick_paper.pdf>. Acesso 5/mai./2020.
- WATSON, J. D. et al. *Biologia molecular do gene*. 7 ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 21-41.
- WEIZMANN, C. ROSENFELD, B. The activation of the butanol-acetone fermentation of carbohydrates by *Clostridium acetobutylicum*. *Biochemical Journal*. 31, 4, p. 619-39, 1937.

- WETTERSTRAND, K. *The cost of sequencing a Human Genome*. Facts sheets about genomics. National Human Genome Research Institute. NIH. c2019. Disponível em: <<https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Sequencing-Human-Genome-cost>>. Acesso em 12/jul./2020.
- WHO, World Health Organization. *Who Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard*, 2020. Disponível em: <<https://covid19.who.int/>>. Acesso 5/jan./2021.
- _____. *DRAFT landscape of COVID-19 candidate vaccines*, 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/who-documents-detail/draft-landscape-of-covid-19-candidate-vaccines>>. Acesso 5/jan./2021.
- ZHAO, L. et al. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 7, p. 1935-47, 2020.
- ZHIGANG, H. Mapping research collaborations in different countries and regions: 1980-2019. *Scientometrics*, 124, p. 729-45, 2020.
- ZORZETTO, R. Uma doença assustadora. *Pesquisa Fapesp*, 291, p. 20-4, 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/revista/ver-edicao-editorias/?e_id=420>. Acesso: 31/jul./2020.