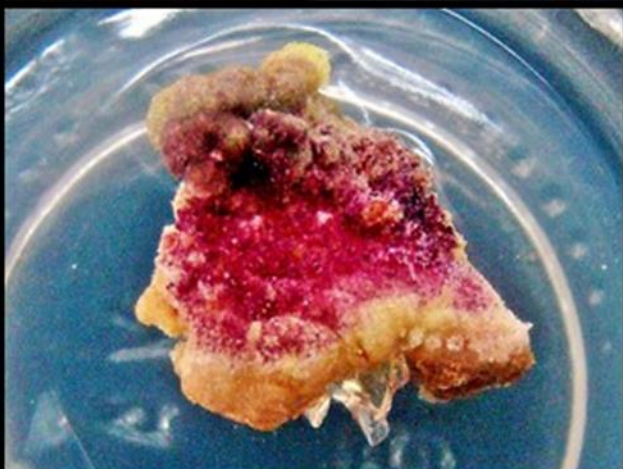


# O ENSINO DE BIOTECNOLOGIA

MARIA ANTONIA MALAJOVICH



Copyright © 2017 Maria Antonia Muñoz de Malajovich

O Ensino de Biotecnologia

Maria Antonia Malajovich

ISBN: 978-85-921077-1-0

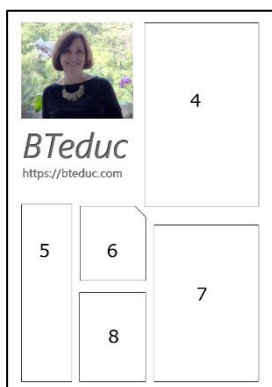
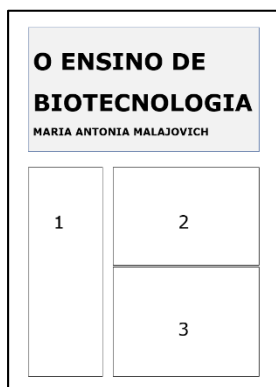
Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-921077-1-0



9 788592 107710

Fotografias da autora



- 1: Cultivo *in vitro* de gema de batata inglesa
- 2: Produção de amilases por microrganismos do solo
- 3: Cultivo *in vitro* de calo de cenoura
- 4: Fermentador para a produção de vinagre
- 5: Microrganismos ambientais em Coluna de Winogradsky
- 6: Nódulos de *Rhizobium* em raiz de soja
- 7: Medidas de biodiversidade
- 8: Lâmina de celulose microbiana

**Agradecimento:** a Elisabeth Lissovsky, pela revisão do português.

MARIA ANTONIA  
MALAJOVICH

O ENSINO DE  
BIOTECNOLOGIA

1ª Edição

Rio de Janeiro

Aos alunos e professores que frequentaram  
minhas aulas, ao longo de algumas décadas, em  
vários países latino-americanos (Argentina,  
Bolívia, Brasil, Peru, Venezuela e Uruguai)

# **O ENSINO DE BIOTECNOLOGIA**

MARIA ANTONIA MALAJOVICH <sup>1</sup> (2017)

## RESUMO

O ensino de Biotecnologia exige a integração de conhecimentos científicos e tecnológicos em um contexto social e ambiental. Em função de sua experiência na área, a autora destaca a importância da dimensão tecnológica nos diferentes níveis de ensino. Também discute a necessidade de condições seguras na experimentação e a aplicação de outras tecnologias educativas recentes.

## ABSTRACT

Biotechnology education requires the integration of scientific and technological knowledge within a social and environmental context. In function of her experience in the subject, the author highlights the importance of the technological dimension on the different educational levels. She also discusses the need of a safe environment for experimentation and the application of recent educational technologies.

---

<sup>1</sup> Bióloga, Mestre e Doutora em Ciências Biológicas (Genética) – UFRJ, Diretora Científica de ACTE -Treinamento e Desenvolvimento.

## SUMÁRIO

1. OS PRIMEIROS PASSOS .....	2
2. A DIMENSÃO TECNOLÓGICA .....	7
3. A EXPERIMENTAÇÃO.....	10
4. ATIVIDADES PRÁTICAS E INDAGAÇÕES .....	15
5. MICRORGANISMOS E BIOSSEGURANÇA.....	19
6. SIMPLIFICANDO O CULTIVO DE TECIDOS.....	24
7. A BIOTECNOLOGIA MODERNA .....	26
8. O AUXÍLIO DA TECNOLOGIA EDUCATIVA .....	28
9. A VOLTA À EXPERIMENTAÇÃO.....	31
10. BIOTECNOLOGIA E SOCIEDADE .....	34
11. REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES.....	38

## **1. OS PRIMEIROS PASSOS**

A Biotecnologia abrange uma rede complexa de conhecimentos em que ciência e tecnologia se entrelaçam e complementam, integrando ciência básica (biologia molecular, microbiologia, biologia celular, genética etc.), ciência aplicada (técnicas imunológicas e bioquímicas, assim como técnicas decorrentes da física e da eletrônica), e outras tecnologias (bioprocessos, separações, purificações, informática, robótica e controle de processos).

A linha do tempo (Tabela 1) mostra a chegada de duas das últimas inovações do século XX, a Tecnologia do DNA recombinante e a Tecnologia de hibridomas que, sob a denominação de Engenharia Genética, marcam a consolidação do campo da Biotecnologia (Gros, Jacob, Royer, 1979; Commercial Biotechnology, 1984; Sasson, 1988).

As primeiras duas décadas do século XXI trazem o sequenciamento de genomas e as primeiras utilizações de células-tronco. O desenvolvimento da biologia sintética e as técnicas de edição gênica desbravam territórios novos com aplicações cuja importância é de uma magnitude ainda difícil de prever.

Tabela 1: A linha do tempo (Biotecnologia clássica e moderna)

BIOTECNOLOGIA CLÁSSICA	
Antiguidade	Pão, queijo, cerveja, vinho
Século XIX	Microbiologia, Bioquímica, Imunologia, Biologia celular, Genética.
1907-1909	Cultivo in vitro de tecidos animais e humanos
1914-1918	Produção de acetona por fermentação
1919	Primeira definição do termo Biotecnologia (Ereky)
1939	Cultivo in vitro de tecidos vegetais
1944	Produção de penicilina. Biologia Molecular
1953	Modelo da dupla hélice de DNA
BIOTECNOLOGIA MODERNA	
1973	Tecnologia do DNA-recombinante
1975	Tecnologia de hibridomas
1975-1990	Tecnologia do DNA, bases comerciais e primeiras patentes
1990-2000	Bens e serviços em vários setores da sociedade
2001-2003	Genoma humano. Genômica
2004	Primeira conferência sobre Biologia Sintética
2009	Obtenção de células iPS por reprogramação de células somáticas diferenciadas
2010	Edição gênica com CRISPR (Clustered Regularly Interspaced short Palindromic Repeats)



Em função de sua importância para a economia, já na década de 1980, algumas instituições reconheceram a necessidade de fomentar a educação na área.

Nos Estados Unidos, no Reino Unido, em Israel, na França e no Brasil, começaram a ser produzidos artigos de divulgação, guias de experimentos, modelos, jogos, simulações e estudos de caso (Tabela 2).

A chegada da Internet na década de 1990 incrementou a divulgação de materiais didáticos e de tópicos específicos. Em vários países editaram-se as primeiras revistas com conteúdo educativo, tais como *BIOTEchnology Education* (Wellcome Trust), *Biotecnologia: ciência e desenvolvimento* (Ministério de Ciência e Tecnologia, MCT) e *Biopop* (Associação Nacional de Biossegurança, ANBIO) que, lamentavelmente, foram logo descontinuadas.

Na mesma década, e respondendo à expectativa de desenvolvimento, foram criados no Rio de Janeiro os primeiros cursos técnicos de Nível Médio, sites na Escola Técnica Federal, hoje Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ), e no Instituto de Tecnologia ORT do Rio de Janeiro.

Pouco depois, instituições de ensino superior iniciaram cursos de graduação e pós-graduação em Biotecnologia. Hoje, o perfil do biotecnólogo e suas áreas de atuação estão claramente definidos pelo Conselho Federal de Biologia (CFBio) e por outros Conselhos Profissionais.

Tabela 2: Primeiras iniciativas no ensino de Biotecnologia

Organizações nacionais e internacionais	United Nations Scientific and Cultural Organization (Unesco), Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC), European Initiative for Biotechnology Education (Eibe), Nuffield Foundation, World ORT.
Universidades	National Centre for Biotechnology Education, University of Reading (NCBE)
Associações de professores	National Association of Biology Teachers (NABT)
Sistema educativo nacional	França
Sociedades científicas	American Society for Microbiology (AMS)
Empresas	Monsanto, The Wellcome Trust, Novozymes etc.

As reflexões e comentários deste artigo decorrem de minha experiência como organizadora e coordenadora do Curso Médio Técnico de Biotecnologia no Instituto de Tecnologia ORT do Rio de Janeiro, onde também lecionei entre 1990 e 2015, e como professora visitante da Universidade ORT (Montevideú, Uruguai).

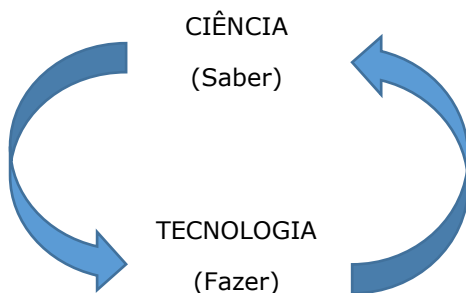
Dessa atividade profissional derivam o livro [Biotecnologia](#), publicado no Brasil (Malajovich, 2004, 2016) e na Argentina (Malajovich, 2007, 2012), assim como artigos, apresentações, cursos, guias de atividades, imagens, orientações e outros recursos didáticos. Esse material, em português e espanhol, está disponível, em forma gratuita, desde 2010, no site *Biotecnologia: ensino e divulgação* – [Bteduc](#).

Links para diferentes arquivos do mesmo site levam o leitor a artigos e apresentações com numerosas imagens, possibilitando a visualização de atividades e o aprofundamento de diversos aspectos relacionados com o [ensino de Biotecnologia](#).

## 2. A DIMENSÃO TECNOLÓGICA

Definidas como “saber” e “fazer”, a Ciência e a Tecnologia não são duas entidades diferenciadas. Em alguns casos, como a invenção do microscópio e a descoberta das células, a tecnologia antecede a ciência. Já no caso da engenharia genética, por exemplo, a tecnologia se apoia no conhecimento científico sobre as nucleases. Por outro lado, o progresso da informática e da eletrônica permitiram o aparecimento da genômica, uma nova área da ciência. De modo que, atualmente, a tecnologia se apoia na ciência sendo, simultaneamente, um requisito da própria ciência (Figura 1).

Figura 1: A relação entre Ciência e Tecnologia



Essa relação estreita entre ciência e tecnologia é a base fundamental da Biotecnologia, uma atividade baseada em conhecimentos multidisciplinares, que utiliza agentes biológicos para fazer produtos úteis ou resolver problemas. Engloba atividades profissionais variadas, que podem ser exercidas por engenheiros, químicos, agrônomos, veterinários, microbiologistas, biólogos, médicos, advogados, empresários, economistas etc.

O ensino de Biotecnologia visa também desenvolver, nos indivíduos e na sociedade, as bases de uma cultura científico-tecnológica indispensável para entender seus alcances e seus limites e poder utilizá-la em benefício do ser humano. Quando? Como? Por quê? [Das respostas](#), assim como do diagnóstico apurado das condições e perspectivas locais depende a definição do alvo da educação: a alfabetização tecnológica ou a formação para o trabalho.

Seja qual for o caminho escolhido, o objetivo fundamental é o estímulo de um estilo de pensamento que combine a compreensão e o aprofundamento teórico (dimensão científica) com a ação e o fazer prático (dimensão tecnológica), em um contexto social e ambiental (dimensão social e ambiental) (MAIZTEGUI et al., 2002; GIL PEREZ et al., 2005).

A principal dificuldade para a introdução do ensino de Biotecnologia, em qualquer uma de suas modalidades, decorre da visão tradicional das profissões que é estática e compartimentada. Em consequência, se observa que a incorporação dos novos conhecimentos nos programas de estudo e nos livros de texto é muito lenta.

A Biotecnologia pode ser inserida em qualquer nível de ensino: Fundamental, Médio, Técnico ou Superior. Por ser uma área multidisciplinar, várias são as estratégias possíveis, desde a inserção em diferentes matérias (geralmente Biologia e Química e, em menor grau, Geografia) até a concentração em uma área ou matéria única (Biotecnologia).

A escolha dos temas pode estar centrada tanto nas áreas que recebem o seu impacto (Indústria e Energia, Meio Ambiente, Biodiversidade, Agricultura, Pecuária, Alimentos e Saúde) como nas tecnologias (fermentações, clonagem, tecnologia do DNA, engenharia genética etc.).

### **3. A EXPERIMENTAÇÃO**

Existe um amplo consenso sobre a importância da experimentação na formação científico-tecnológica do aluno. Tanto no Ensino Médio, como no Ensino Médio Técnico, a participação do aluno em atividades experimentais contribui ativamente para a aquisição de habilidades básicas, tais como observar, medir, analisar e compartilhar resultados (“aprender fazendo”).

Contudo, alguns autores recentemente levantaram dúvidas sobre a eficiência real das atividades práticas em relação às aulas tradicionais. Dissociadas dos conteúdos teóricos do curso em que estão inseridas, as atividades práticas não seriam mais que uma série de protocolos enfadonhos e repetitivos (SINGER et al., 2006).

No ensino da Biotecnologia clássica, esse risco é evitado facilmente. Dentro do contexto Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), existem numerosos temas que permitem a construção de unidades didáticas que tratem dos agentes biológicos e das ferramentas básicas assim como de sua relação com setores produtivos tão diversos como indústria, alimentos, energia, meio ambiente, biodiversidade, agricultura e saúde. Numerosos exemplos podem ser

visualizados em Educação em Biotecnologia clássica, arquivos [2A](#), [2B](#) e [2C](#).

Alguns protocolos de atividades práticas, tradicionalmente aplicados no âmbito da Biologia ou da Química, adquirem uma perspectiva nova quando incluídos em um contexto biotecnológico. Protocolos novos e atividades totalmente inabituais dentro dos cursos das matérias citadas também contribuem para dar uma nova face ao ensino de Biotecnologia.

Em *BTeduc*, o site supracitado, o visitante encontra uma centena de guias de atividades práticas que podem servir como base para um trabalho investigativo dos docentes interessados. Por ser um material simples, seguro e confiável, os guias podem ser um ponto de partida para a elaboração de projetos, uma modalidade de ensino de enorme riqueza. Alguns temas são desenvolvidos de forma integrada como, por exemplo, a importância das enzimas na lavagem das roupas, ou a produção de vinagre a partir de excedentes de safra. A publicação de outros [manuais de atividades](#) desse tipo está em andamento.

Na adaptação de uma unidade didática básica ao nível de ensino correspondente, as opções incluem desde uma montagem simples até uma complexa,



que permita testar diferentes variáveis e possa ser integrada na programação de um curso (Figura 2). Na complementação do tema, todos os recursos didáticos são válidos: modelos, simulações, leitura, interpretação e discussão de textos, seminários, acesso a bancos de dados, debates e *role-playing*.

Figura 2: Os diferentes recursos didáticos.



Esses recursos complementares não dependem da disponibilidade de um laboratório. O desenvolvimento da tecnologia da informação popularizou dispositivos eletrônicos e aparelhos celulares que permitem o registro de desenhos e imagens e, chegado o caso, sua transformação em animações ou filmes de curta duração

Na construção de sistemas de monitoramento e no controle de processos, uma vertente que começa a ser explorada contempla a utilização de *hardware* relativamente simples e economicamente acessível, desenvolvido especialmente para a área educativa (ARDUINO).

A utilização de recursos multivariados associados às atividades práticas é uma tendência enriquecedora, cada vez mais presente nos cursos técnicos e de graduação, porque conduz à realização de projetos mais ambiciosos.

Além de estimular e manter a curiosidade sobre os fenômenos naturais, a experimentação consegue incorporar a ação e o fazer prático, característicos da dimensão tecnológica.

A formação prévia dos professores é indispensável, mas, para que se sintam estimulados a realizar atividades práticas, terão que contar com turmas

pouco numerosas, espaço físico adequado, orçamento compatível, assistência técnica e uma carga horária que permita a organização e o acompanhamento dos experimentos.

#### **4. ATIVIDADES PRÁTICAS E INDAGAÇÕES**

As atividades práticas costumam ser desenvolvidas em laboratórios experimentais dedicados ao ensino dentro do estabelecimento correspondente, ou em laboratórios centralizados, utilizados de forma ocasional ou periódica. Também podem ser realizadas em campo, isto é, fora do ambiente laboratorial.

A participação ativa dos alunos nos experimentos depende do fornecimento dos materiais e reagentes adequados. Como os custos podem ser proibitivos para um estabelecimento de Ensino Médio ou Médio Técnico, uma das soluções existentes é procurar na vida cotidiana elementos alternativos de baixo custo. Observe-se que o fato de utilizar materiais caseiros não significa que a experimentação seja simples ou banal.

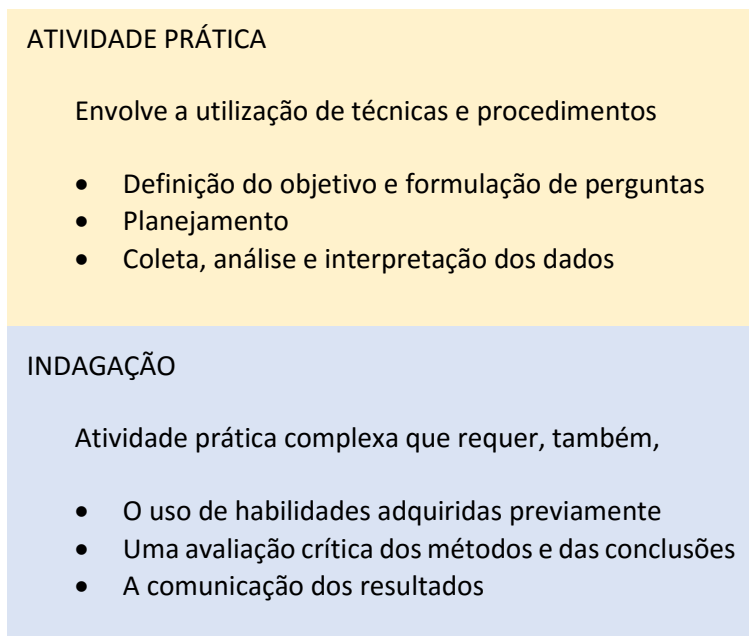
Dependendo da faixa etária dos alunos, algumas atividades podem ser consideradas seguras e outras devem ser evitadas, mas, em todos os casos, devem ser respeitadas as normas de segurança *standard*.

Em situações arriscadas, ou quando se precisa focalizar algum aspecto pontual, pode ser válido

substituir uma atividade prática realizada pelos alunos por uma demonstração a cargo do professor.

Indagações são atividades práticas complexas que começam com a identificação de um problema pontual, de relevância tecnológica e social, e com a formulação de perguntas (Figura 3).

Figura 3: Atividades práticas simples e complexas (indagações).



O próximo passo é a elaboração de um rigoroso planejamento experimental seguido pela coleta de dados. No laboratório, os alunos aplicam as habilidades adquiridas previamente no aprendizado de técnicas e na execução de procedimentos. Uma vez analisados os resultados, segue a discussão com participação coletiva e, finalmente, a redação de um relatório ou memória como forma de comunicação.

No caminho entre a elaboração de um projeto e sua realização, se estabelece uma colaboração assimétrica entre o professor e o aluno. Acentuada no início, a participação do professor irá diminuindo, em função da personalidade do aluno e das dificuldades e soluções encontradas no desenvolvimento do trabalho.

As atividades práticas complexas estimulam a criatividade e a independência dos alunos, que entram em contato com situações reais para as quais existem diferentes soluções. Exigem também uma avaliação crítica dos métodos e das conclusões, além da comunicação dos resultados. E, principalmente, são inerentes à compreensão do processo de construção do conhecimento científico e tecnológico (SCORE, 2009).

A interação com alunos de outras disciplinas ou com diferente formação abre um leque amplo de possibilidades de indagação. Os trabalhos resultantes não são o que se convencionou denominar “trabalhos científicos”, por isso preferimos o termo “indagação”.

Os cientistas investigam na fronteira do desconhecido, enquanto os estudantes indagam em terreno conhecido, apropriando-se de um conhecimento já existente para aplicá-lo em condições diferentes e comunicar suas conclusões aos outros.

Um aspecto curioso, observado por vários autores em relação ao ensino de tecnologia, está na dificuldade de enquadramento dentro de uma única tendência educativa, seja esta behaviorista, cognitivista ou construtivista, sendo necessário utilizar estratégias múltiplas de aprendizado (DUNHAM, WELLS, WHITE, 2002; MANN, 2010).

## 5. MICRORGANISMOS E BIOSSEGURANÇA

A World Health Organization (WHO) classifica os microrganismos em grupos de risco e estabelece as normas de trabalho adequadas para cada um deles. Definidas por uma combinação de práticas e procedimentos laboratoriais, equipamento de segurança (barreiras primárias) e instalações laboratoriais (barreiras secundárias), essas normas configuram o nível de biossegurança (WHO, 2004).

Por sua importância para a Biotecnologia, é frequente a realização de atividades práticas com microrganismos e bioprocessos relacionados com os setores de alimentos, indústria e meio ambiente. [Trabalhar em segurança](#) é uma condição fundamental em qualquer atividade prática de Biotecnologia e requer a [construção de uma cultura de segurança](#) desde o ensino fundamental.

Algumas atividades envolvem os microrganismos do ambiente, outras, linhagens de coleções de cultura, selecionadas por instituições de tradição e prestígio ou por sociedades científicas para serem utilizadas no ensino.

As listas de microrganismos permitidos, disponíveis na Internet, indicam algumas utilizações possíveis e



fornecem informação sobre o cultivo e a manutenção das linhagens (Microbiology in Schools Advisory Committee - Misac, The Association for Science Education - ASE, National Association of Biology Teachers - NABT).

Alguns microrganismos sofreram modificações que os tornaram inócuos e, por conseguinte, apropriados para os laboratórios de ensino e pesquisa. Na década de 1940, por exemplo, a *Escherichia coli* K12 teve os lipolissacarídeos da membrana externa alterados de modo a não poder infectar mamíferos.

As linhagens aptas para o ensino são fracas, têm requerimentos nutritivos pouco usuais e, às vezes, são susceptíveis à radiação ultravioleta da luz solar.

Os microrganismos aptos para o ensino são os classificados no Grupo de Risco 1, nível de biossegurança 1 (NB1). Trata-se de microrganismos que, até o momento, não causaram doenças para o homem (baixo risco individual e coletivo) e não representam riscos para o ambiente.

Dentro desse grupo há microrganismos e atividades adaptados a cada faixa etária e ao nível de aprendizado (Básico, Fundamental, Médio, Técnico, Superior-Graduação) como, por exemplo, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Saccharomyces*, várias

espécies de *Bacillus*, cepas não patogênicas de *Escherichia coli* etc.

Alguns desses microrganismos são oferecidos no comércio (leveduras, bactérias lácticas, bactérias decompositoras), outros podem ser encontrados no ambiente (bactérias acéticas). Para obter linhagens específicas deve-se recorrer às coleções de cultura, nem sempre gratuitas.

Os agentes biológicos, as práticas e procedimentos, as barreiras primárias e secundárias, assim como o grau de complexidade das [atividades](#), dependem diretamente do nível de ensino (Fundamental, Médio, Médio Técnico) e da faixa etária dos alunos (Tabela 3).

O trabalho com patógenos é inconcebível no ensino Fundamental ou Médio, em que os alunos são menores de idade. E apesar do aprendizado de técnicas e a execução de procedimentos serem os dois objetivos primordiais do Ensino Médio Técnico de Biotecnologia, a utilização de microrganismos outros que NB1 deve ser evitada.

Contudo, o trabalho com patógenos também se aprende. Mas quando se deve expor o aluno a eles? E de que modo?

Tabela 3: Normas de segurança em diferentes níveis de ensino

Ensino	Fundamental I	Fundamental II e Médio (11 a 17 anos)	Médio Técnico Terciário Graduação
Agentes biológicos	Alimentos e material vegetal em decomposição	Coleções de cultura Microorganismos com requerimentos incomuns Microorganismos ambientais	Coleções de cultura Microorganismos com requerimentos incomuns Microorganismos ambientais
Práticas e procedimentos	Meios naturais Temperatura = 30°C e recipientes fechados	Ágar e nutrientes Temperatura = 30°C e recipientes fechados	Ágar e nutrientes Temperatura = 30°C e recipientes fechados Possibilidade de repiques
Barreiras primárias	Nenhuma	Jaleco opcional	Jaleco obrigatório Práticas de laboratório standard Técnica asséptica
Barreiras secundárias	Nenhuma	Laboratório (pia, autoclave, tratamento p/ derramamentos etc.)	Laboratório (pia, autoclave, fluxo laminar, tratamento p/ derramamentos etc.)

A experiência é necessária em algumas áreas de formação profissional, seja a nível técnico, seja a nível superior.

Para muitos autores, um curso básico de introdução à microbiologia deveria utilizar exclusivamente organismos não patogênicos. Em se tratando de um curso de graduação ou de um curso profissionalizante, o aluno deve aprender a utilizar técnicas assépticas na preparação e manipulação de cultivos em ágar, a analisar as condições necessárias para o crescimento de microrganismos e a desenhar e conduzir experimentos que permitam avaliar o efeito de agentes antimicrobianos.

## 6. SIMPLIFICANDO O CULTIVO DE TECIDOS

Os cultivos de tecidos animais devem ser excluídos do laboratório de ensino, permanecendo estritamente limitados a laboratórios universitários, instituições de pesquisa ou empresas especializadas.

Além de precisar de reagentes caros e de equipamentos sofisticados, existe o risco desses cultivos de células animais estarem infectados por patógenos. Em contraposição, o [cultivo de tecidos vegetais](#) pode – e deveria – ser desenvolvido no laboratório de ensino.

As técnicas de cultura *in vitro* de vegetais são indispensáveis em algumas das etapas de obtenção de uma planta transgênica. Também são utilizadas no mundo todo por empresas de pequeno e médio porte, para garantir a qualidade genética e fitossanitária das mudas e sementes comercializadas.

Os complexos protocolos de pesquisa publicados nas revistas especializadas exigem reagentes ou condições de trabalho inabituais no laboratório de ensino, mas isso não significa que seja impossível desenvolver algumas atividades. Graças a um movimento do tipo DIY (*do-it yourself*), conduzido

por pessoas amantes das plantas e da jardinagem, hoje encontramos na Internet protocolos simples e vídeos entusiastas mostrando como proceder para o cultivo *in vitro* caseiro de algumas plantas (HOME TISSUE CULTURE).

Quais os requerimentos mínimos para um curso de [Biotecnologia vegetal](#)? Um canto de laboratório limpo, uma autoclave ou uma panela de pressão, numerosos frascos de vidro (maionese, geleia etc.) limpos e suas respectivas tampas, alguns reagentes para a preparação dos meios, um estereomicroscópio ou uma lupa e um lugar com iluminação indireta para a incubação dos cultivos. O tradicional meio de sais minerais de Murashige & Skoog pode ser substituído por meios alternativos.

Com algumas indicações básicas e protocolos de complexidade variável podem ser obtidos resultados espetaculares desta [biotecnologia verde](#). Contudo, apesar de esterilizar os meios e trabalhar em condições assépticas, a contaminação dos cultivos por bactérias e fungos é um problema difícil de resolver. Os resultados melhoram significativamente com a adição nos meios de cultivo de PPM™ (Plant Preservative Mixture), um produto que pode ser esterilizado e, em baixa concentração (0,05 a 0,2%), não afeta o crescimento dos explantes.

## **7. A BIOTECNOLOGIA MODERNA**

Em uma perspectiva histórica, as novas tecnologias que constituem a Biotecnologia Moderna (Tecnologia do DNA, Engenharia Genética) se superpõem à denominada Biotecnologia Clássica, configurando hoje uma unidade indissolúvel.

Contudo, em muitos estabelecimentos de ensino, a montagem de atividades práticas específicas de Biotecnologia Moderna se encontra limitada por vários fatores, sendo os principais o custo dos equipamentos (termocicladores, cubas de eletroforese, sequenciadores etc.) e dos reagentes (*primers*, enzimas de restrição, réguas moleculares, sondas etc.).

Um estabelecimento de ensino que consiga superar essa barreira terá que procurar os docentes qualificados e se enquadrar dentro da Lei de Biossegurança. No Brasil, o arcabouço legal torna quase impossível o trabalho experimental com organismos recombinantes fora das universidades e instituições de pesquisa (BINSFELD, 2015).

Atualmente, são muito poucos os estabelecimentos de ensino médio que conseguem reunir as condições necessárias para desenvolver atividades de

Biotecnologia Moderna. Mais frequente é o oferecimento de minicursos realizados em laboratórios universitários, onde esses temas podem ser abordados experimentalmente. Como norma geral, o uso de organismos recombinantes no ensino está limitado a organismos e vetores NB1.

Nos Estados Unidos e no Reino Unido, materiais e kits didáticos de transformação microbiana são comercializados por empresas especializadas, como uma alternativa econômica e segura a protocolos de alto custo, que podem colocar o professor em posição de infringir as disposições legais reguladoras (Carolina Biological Supply, DNAIc, NCBE etc.).

Lançado recentemente em Indiegogo, Amino é um minilaboratório de bancada que permite a criação de fragrâncias, flavorizantes, plásticos, medicamentos etc. Publicitado como “bioengenharia para todos”, seus inventores esperam que tenha na Biotecnologia um impacto equivalente às impressoras 3D em outras áreas.



## 8. O AUXÍLIO DA TECNOLOGIA EDUCATIVA

Em relação ao ensino da [Biotecnologia Moderna](#), a tecnologia educativa é o grande aliado do educador. Os modelos bi ou tridimensionais permitem simplificar a explicação de uma estrutura (DNA), de um processo (transcrição, tradução) ou de uma técnica (PCR), sendo facilmente aplicáveis na sala de aula. Contudo, para ilustrar técnicas complexas (eletroforese, sequenciamento didesóxi, *southern blot*), as animações resultam bem mais interessantes. Em contraposição, é necessário dispor de algum dispositivo eletrônico.

Animações com um grau de complexidade variável são encontradas facilmente na Internet, respondendo às necessidades de diferentes níveis de aprendizado. Por serem muito atrativas visualmente, existe o risco de aplicá-las fora das possibilidades de entendimento dos alunos, deixando um conhecimento mal estruturado. Considerados como uma brincadeira educativa, alguns *games* transmitem conceitos errados, de modo que, antes de utilizá-los como ferramenta na educação, deve-se analisar rigorosamente o seu conteúdo.

Bem mais interessante para o docente é a possibilidade de acessar os bancos de dados

genômicos e identificar uma espécie ou uma doença a partir de uma sequência de DNA. Preparados por especialistas, vários planos de aula que contemplam diversas temáticas têm sido disponibilizados em *Genética na Escola*, a revista publicada pela Sociedade Brasileira de Genética.

O laboratório virtual surge como resposta às preocupações com biossegurança, mas também pela dificuldade de acesso ao fenômeno estudado ou aos equipamentos necessários. Apesar de não substituir a experiência direta, a apresentação detalhada de uma técnica ou procedimento facilita a etapa prévia do aprendizado.

A tecnologia da informação também coloca ao alcance do educador algumas atividades virtuais, tais como desenvolver as etapas correspondentes a um teste de ELISA ou construir passo a passo uma mosca transgênica. Instituições como Howard Hughes Medical Institute-Biointeractive, DNA Learning Centre, Wellcome Trust-Education Resources ou Labster, entre outras, fornecem recursos de altíssima qualidade que visam conectar a ciência, a tecnologia e o mundo circundante.

Existem outras possibilidades virtuais interessantes, entre as quais podem ser destacadas as visitas a um

laboratório de microbiologia médica (ASM), ou à fábrica de mosquitos da empresa Oxitec, em Piracicaba. Neste último caso, há um material filmado que ilustra minuciosamente cada uma das etapas do processo, acompanhando a descrição do procedimento seguido para a criação em massa dos *Aedes* transgênicos (CARVALHO et al.,2014).

## 9. A VOLTA À EXPERIMENTAÇÃO

Nos países desenvolvidos, a crise econômica do início de século XXI excluiu dos empregos formais numerosos jovens com boa formação profissional. Paralelamente, o progresso tecnológico causou uma queda acentuada nos preços dos equipamentos básicos de laboratório e de síntese-sequenciamento de ácidos nucleicos.

Aproveitando a cultura do empreendedorismo existente, várias organizações (Biobricks Foundation) e universidades (Harvard, Massachusetts Institute of Technology - MIT etc.) estimularam algumas iniciativas educativas e promoveram a criação da comunidade DIYBIO.

Tomando como referência o nascimento da indústria dos computadores pessoais na Califórnia, essa geração monta laboratórios de fundo de garagem, absorve o conhecimento disponível em *open source* e aproveita equipamentos de segunda mão, quando não cria os próprios. Trabalha com base na livre difusão de protocolos e sequências biológicas *standard* que são usadas, com segurança, como blocos fundamentais (*biobricks*).

O objetivo da [biologia sintética](#) é desenhar e construir sistemas biológicos simplificados que cumpram

funções determinadas. Os elementos fundamentais são moléculas de DNA formando estruturas de complexidade crescente denominadas partes, dispositivos e sistemas. Essas estruturas, associadas entre si como blocos de Lego, serão colocadas em um microrganismo ou *chassis*. Observe-se que os participantes utilizam exclusivamente microrganismos com baixo ou nenhum risco individual e coletivo e *biobricks* seguros, disponibilizados por organizações responsáveis.

A comunidade DIY compartilha valores e normas de trabalho. O estímulo à inovação científica e econômica, assim como ao empreendedorismo, está presente nas competições internacionais iGEM (International Genetically Engineered Machine), organizadas pelo MIT desde 2003.

No Brasil, algumas universidades têm participado desses eventos. (Em 2016, Universidade de Campinas - Unicamp, Universidade de São Paulo - USP, Universidade Federal de São Paulo - Unifesp, Escola de Engenharia de Lorena - EEL, Universidade Federal do Amazonas - Ufam).

Na comunidade DIY, a biologia sintética se desenvolve em um sistema transparente de código aberto, não sendo possível restringir o acesso a

informação, materiais e equipamentos. Algumas organizações, contudo, temendo a participação de pessoas sem treinamento adequado (*biohackers*) ou mal-intencionadas (*biocrackers*), pedem um controle estrito.

Uma regulação estrita, por outro lado, limitaria o acesso ao conhecimento de uma comunidade promissora, explicitamente comprometida com o desenvolvimento de códigos de conduta, protocolos seguros e regulamentações. Este movimento abre um novo canal para o ensino e divulgação da ciência que, além de atingir o público geral e complementar a atividade acadêmica, contribui para a democratização do conhecimento.

## **10. BIOTECNOLOGIA E SOCIEDADE**

Por incluir tantas tecnologias diferentes, a apropriação das Biotecnologias não se restringe necessariamente aos países desenvolvidos. Existe um espaço que os países emergentes podem ocupar, em função de suas riquezas naturais, desde que existam prioridades econômicas e políticas definidas claramente.

Devemos a esse comprometimento não só os êxitos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), do Instituto Oswaldo Cruz, do Butantã ou do Tecpar como os de muitas empresas brasileiras locais de médio ou pequeno porte.

Quais são as [perspectivas](#) futuras? A condição fundamental para o desenvolvimento é contar com instituições competentes que formem uma massa crítica de pesquisadores e pessoal técnico treinado. Essa condição existe no Brasil, onde as universidades criaram numerosos cursos de graduação e pós-graduação em Biotecnologia. A formação de pessoal de apoio também é garantida pelos cursos técnicos oferecidos por diversas instituições.

Porém, fora desse âmbito, a alfabetização científico-tecnológica da população não ocorreu como era

esperado no início da década de 1990. Enquanto alguns setores da sociedade perceberam logo a relevância da Biotecnologia no mundo moderno, outros a consideraram uma atividade antinatural e perigosa, desencadeando uma propaganda maciça baseada na ignorância e o medo. Partidários e opositores se enfrentaram com menos frequência no terreno da razão que no das paixões, fossem elas políticas, religiosas ou ideológicas.

A aparição de termos novos como Bioeconomia, Bioética, Bioarte ou Biossegurança indica claramente a importância de uma cultura científico-tecnológica básica. A situação se torna crítica frente às novas tecnologias de edição gênica (CRISPR), que terão, em um futuro próximo, um forte impacto na sociedade.

Para sair desse impasse, o rol dos docentes do Ensino Médio e Fundamental, assim como o do jornalismo científico, terá que ser reavaliado, porque cabe a eles a formação dos cidadãos e sua imunização contra a desinformação e as mentiras difundidas nas redes sociais como “verdades alternativas”.

Além do crescimento das atitudes tecnofóbicas, existem outros problemas. Um deles é o desinteresse dos jovens pelas matérias científicas, que exigem



esforço, dedicação e resiliência, mas que não são vistas como um caminho para empregos bem remunerados. Outro, a reunificação das áreas de ciências (Física, Química e Biologia) e seu peso final na nota do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), estabilizando o nível do ensino dessas matérias em um patamar menor ao demandado para o acompanhamento dos cursos universitários científico-tecnológicos.

Também existem deficiências na formação dos docentes do Ensino Fundamental e Médio que, por isso, encontram dificuldades em transmitir uma visão atualizada e sem preconceitos da Biotecnologia.

Produtos e processos inimagináveis cinquenta anos atrás entraram em nosso cotidiano antes que os alicerces científicos e tecnológicos correspondentes fossem inseridos em nossa cultura, através de uma divulgação ampla que atingisse também o sistema educativo em todos os seus níveis (EUROPEAN COMMISSION, 2007).

Não existe possibilidade alguma de construir uma sociedade moderna se os seus integrantes ignoram os aspectos mais gerais de ciência e tecnologia. O desconhecimento aumenta o risco de rejeitar tecnologias promissoras, capazes de abrir

perspectivas novas, com vistas a um desenvolvimento sustentável em áreas tão críticas como saúde, produção de alimentos, energia e meio ambiente.

## 11. REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY. *Go Inside a Clinical Microbiology Lab*. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=8OJNXCGIzSM>>. Acesso em: 14 abril 2017.

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

BINSFELD, P.C.(Org.). *Fundamentos técnicos e o sistema nacional de biossegurança em Biotecnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

BIOBRICKS FOUNDATION. Disponível em: <<https://biobricks.org/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

BBSRC. BIOTECHNOLOGY AND BIOLOGICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL. Disponível em: <<http://www.bbsrc.ac.uk/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

CAROLINA BIOLOGICAL SUPPLY. Disponível em: <[www.carolina.com](http://www.carolina.com)>. Acesso em: 14 abril 2017.

CARVALHO, D.O. et al. Mass Production of Genetically Modified *Aedes aegypti* for Field Releases in Brazil. *Journal of Visualized Experiments*, n.83, p. 1-10, 2014. Disponível em: <<http://www.jove.com/video/3579/mass-production-genetically-modified-aedes-aegypti-for-field-releases>>. Acesso em: 26 abril 2017.

COMMERCIAL BIOTECHNOLOGY: An International Analysis. Washington D.C.: U.S. Congress, Office of Technology Assessment, OTA-BA-218, January, 1984.

CFBio. CONSELHO FEDERAL DE BIOLOGIA. Disponível em:  
<[www.cfbio.gov.br](http://www.cfbio.gov.br)>. Acesso em: 14 abril 2017.

DIYBIO. Disponível em: <<https://diybio.org/>>. Acesso em: 14  
abril 2017.

DNA LEARNING CENTRE. Disponível em:  
<<https://www.dnalc.org/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

DUNHAM, T.; WELLS, J; WHITE, K. Biotechnology Education: A  
multiple Instructional Strategies Approach. *Journal of  
Technology Education*, v.14, n.1, p. 65-81, 2002

EUROPEAN COMMISSION. *Science Education NOW: A renewed  
Pedagogy for the Future of Europe*. Luxemburgo, 2007.  
Disponível em: <[http://ec.europa.eu/research/science-  
society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-  
education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf)>. Acesso em: 14 abril 2017.

EIBE. EUROPEAN INICIATIVE FOR BIOTECHNOLOGY  
EDUCATION. Disponível em: <[http://www.archiv.ipn.uni-  
kiel.de/eibe/ENGLISH/INTRO.HTM](http://www.archiv.ipn.uni-kiel.de/eibe/ENGLISH/INTRO.HTM)>. Acesso em: 14 abril 2017.

GENÉTICA NA ESCOLA. Disponível em:  
<<http://www.geneticanaescola.com.br/>>. >. Acesso em: 14  
abril 2017.

GIL PEREZ, D. et al. (Ed.). *¿Cómo promover el interés por la  
cultura científica?* Santiago: Oficina Regional de Educación para  
América Latina y el Caribe, OREALC/UNESCO, 2005. Disponível  
em:  
<<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001390/139003S.pdf>  
f>. Acesso em: 25 março 2017.

GROS, F.; JACOB, F.; ROYER, P. *Sciences de la vie et de la  
Société: Rapport au président de la République*. Documentation  
Française, Paris, 1979.

HOME TISSUE CULTURE. Disponível em:  
<<http://hometissueculture.org/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

HHMI. HOWARD HUGHES MEDICAL INSTITUTE. *Biointeractive*. Disponível em: <<http://www.hhmi.org/biointeractive/about-biointeractive/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

INDIEGOGO. AMINO: desktop engineering for everyone. Disponível em: <<https://www.indiegogo.com/projects/amino-desktop-bioengineering-for-everyone#/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

iGEM. INTERNATIONAL GENETICALLY ENGINEERED MACHINE.  
[igem.org](http://igem.org)

LABSTER. Disponível em: <<https://www.labster.com/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

MAIZTEGUI, A. et al. Papel de la tecnología en la Educación Científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, n.28, p. 129-155, 2002. Disponível em: <<http://rieoei.org/rie28a05.htm/>>. Acesso em: 26 abril 2017.

MALAJOVICH, M.A. *Biotecnología*: ensino e divulgação – *Bteduc*. Disponível em: <<https://bteduc.com/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

\_\_\_\_\_. *Biotecnología*. Rio de Janeiro: Axcell Books do Brasil, 2004.

\_\_\_\_\_. *Biotecnología*. Bernal: Editora de la Universidad de Quilmes, 2007.

\_\_\_\_\_. *Biotecnología*. Segunda edición actualizada. Bernal: Editora de la Universidad de Quilmes, 2012.

\_\_\_\_\_. *Biotecnologia*. Segunda edição atualizada. Rio de Janeiro: Edição da autora, 2016. E-book em [https://bteduc.com/livros/Biotecnologia\\_2016.pdf](https://bteduc.com/livros/Biotecnologia_2016.pdf)

MANN, V. S. *A educação tecnológica no ensino fundamental: Da teoria à prática desenvolvida no Instituto de Tecnologia ORT*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

MiSAC. MICROBIOLOGY IN SCHOOLS ADVISORY COMMITTEE. Disponível em: <<http://www.misac.org.uk/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

MONSANTO. Disponível em: <<http://www.monsanto.com/pages/default.aspx/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

NABT. NATIONAL ASSOCIATION OF BIOLOGY TEACHERS. Disponível em: <<http://www.nabt.org/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

NCBE. NATIONAL CENTRE FOR BIOTECHNOLOGY EDUCATION, UNIVERSITY OF READING. Disponível em: <<http://www.ncbe.reading.ac.uk/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

NOVOZYMES. Disponível em: <<http://www.novozymes.com/pt/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

NUFFIELD FOUNDATION – Education. Disponível em: <<http://www.nuffieldfoundation.org/education/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

PLANT CELL TECHNOLOGY – About PPM. Disponível em <<http://www.plantcelltechnology.com/about-ppm/>>. Acesso em 08/10/2017.

UNESCO. UNITED NATIONS SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Disponível em: <[www.unesco.org/](http://www.unesco.org/)>. Acesso em: 14 abril 2017.

SASSON, A. *Biotechnologies et développement*. Paris: UNESCO, 1988.

SCORE. SCIENCE COMMUNITY REPRESENTING EDUCATION. *Practical work in science: a report and proposal for a strategic framework*. 2009. Disponível em: <[http://www.score-education.org/downloads/practical\\_work/report.pdf/](http://www.score-education.org/downloads/practical_work/report.pdf/)>. Acesso em: 14 abril 2017.

SINGER, S.R. et al. Ed. *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Washington, DC: The National Academies Press, p. 1-254, 2006. Disponível em <<http://nap.edu/1131>>. Acesso em: 26 abril 2017.

THE ASSOCIATION FOR SCIENCE EDUCATION. Disponível em: <[www.ase.org.uk/](http://www.ase.org.uk/)>. Acesso em: 14 abril 2017.

THE WELLCOME TRUST. *Education Resources*. Disponível em: <<https://wellcome.ac.uk/what-we-do/our-work/education-resources/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Laboratory biosafety manual*. 3<sup>d</sup> ed. Geneva, 2004. Disponível em: <<http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/en/Biosafety7.pdf/>>. Acesso em: 14 abril 2017.

WORLD ORT. Disponível em: <<https://www.ort.org/>>. Acesso em: 14 abril



# *BTeduc*

<https://bteduc.com>

