

Biotecnologia para Pedestres

Eugen S. Gander
Lucilia H. Marcellino
Pidi Zumstein



Exemplares desta publicação podem ser adquiridos no :

CENARGEN

SAIN Parque Rural, Av. W/3 Norte (final)

Caixa Postal 02372

CEP 70770-900 Brasília - DF

Fone: (061) 340-3600

Fax: (061) 340-3624

Coordenação Editorial

Marina A. Souza de Oliveira & Araquem Calháo Motta

Projeto Gráfico

Mayara Rosa Carneiro

Revisão Gramatical

José Rech

Revisão Editorial

Terezinha Santana G. Quazi & Francisco C. Martins

Diagramação Eletrônica

Wamir Soares Ribeiro Júnior

Impressão e Acabamento

EMBRAPA-SPI

Tiragem: 1500 exemplares

Reservados todos os direitos. É proibida a reprodução total ou parcial desta obra sem a autorização da EMBRAPA - SPI.

CIP-Brasil.Catálogo-na-publicação

Serviço de Produção de Informação (SPI) da EMBRAPA.

Gander, Eugen S.

Biotecnologia para pedestres / Eugen S. Gander; Lucilia H. Marcellino; Pidi Zumstein; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia. - Brasília : EMBRAPA - SPI, 1996.

66p.

ISBN 85-85007-69-9

I. Biotecnologia - Miscelânea. I. Marcellino, Lucilia. II. Zumstein, Pidi. III. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia (Brasília, DF). IV. Título.

CDD-620.802

©EMBRAPA 1996

República Federativa do Brasil

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária -
MAARA

Ministro

José Eduardo de Andrade Vieira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Elza Angela Battaglia Brito da Cunha

Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia -
CENARGEN

Chefe-Geral

Afonso Celso Candeira Valois

Chefe-Adjunto Técnico de Recursos Genéticos

Eduardo Alberto Vilela Morales

Chefe-Adjunta Técnica de Biotecnologia

Dameres de Castro Monte Neshich

Chefe-Adjunto Administrativo

Osmar Rodrigues de Faria

**E. S. Gander
L. H. Marcellino
EMBRAPA/CENARGEN
S.A.I.N Parque Rural
70770-900 Brasília-DF**

**P. Zumstein
Gymnasium Liestal
Friedenstrasse 20
CH 4410 Liestal
Suíça**

PREFÁCIO

A biotecnologia agropecuária constitui-se em um dos grandes pilares de promoção do aumento da produção mundial de alimentos para o abastecimento das necessidades relacionadas ao aumento constante da população do Planeta.

As metodologias e os processos biotecnológicos modernos possuem a grande vantagem de quebrar barreiras biológicas impostas aos métodos tradicionais de melhoramento genético, e de acelerar o processo de obtenção de novos genótipos. Com essa tecnologia, é possível gerá-los de forma direcionada para características de interesse social e econômico, como qualidade do produto, resistência a pragas e doenças, e tolerância a fatores abióticos, entre outros.

A aplicação de métodos de engenharia genética tem permitido a criação de plantas transgênicas de alfafa, algodão, batata, colza, milho, tomate, feijão e soja, de grande interesse para a humanidade, além de

vacinas e outros produtos na área de saúde humana e animal.

O Brasil, na qualidade de país possuidor de uma das maiores diversidades biológicas do mundo, é detentor de amplo manancial de genes. A grande diversidade de espécies e a larga variabilidade genética descortinam um amplo horizonte de aplicação das novas biotecnologias.

Em vista do exposto, é da mais alta importância que os conhecimentos básicos sobre biotecnologia agropecuária sejam divulgados no âmbito dos usuários atuais e potenciais de diversos segmentos sociais interessados no assunto. Assim, é com grande satisfação que a EMBRAPA/CENARGEN apresenta esta publicação à comunidade, em linguagem simples e atrativa, inspirada na criatividade didática dos seus autores

Afonso Celso Candeira Valois
Chefe-Geral
EMBRAPA - CENARGEN



Por que este livrinho?

No quadrinho ao lado, podemos ver Karl Marx, o famoso filósofo alemão do século XIX, após uma noite de lazer e farra com seu amigo e colega Friedrich Engels. O que tem o Marx a ver com a biotecnologia? Bem, quase nada, porém ele iniciou o seu famoso Manifesto Comunista com a frase: “Um fantasma vagueia pela Europa; o fantasma do comunismo!” Nós parafraseamos Marx iniciando este texto com a frase: “Um fantasma vagueia pelo mundo, é o fantasma da Biotecnologia”.

As palavras “Comunismo” e “Biotecnologia” têm algo em comum: raramente palavras-chave causaram tantos mal-entendidos, polêmicas emocionais, brigas e medos nas mais diversas camadas da sociedade. Sem dúvida nenhuma, no que diz respeito à biotecnologia moderna, o medo é

o fator mais determinante e o mais forte.

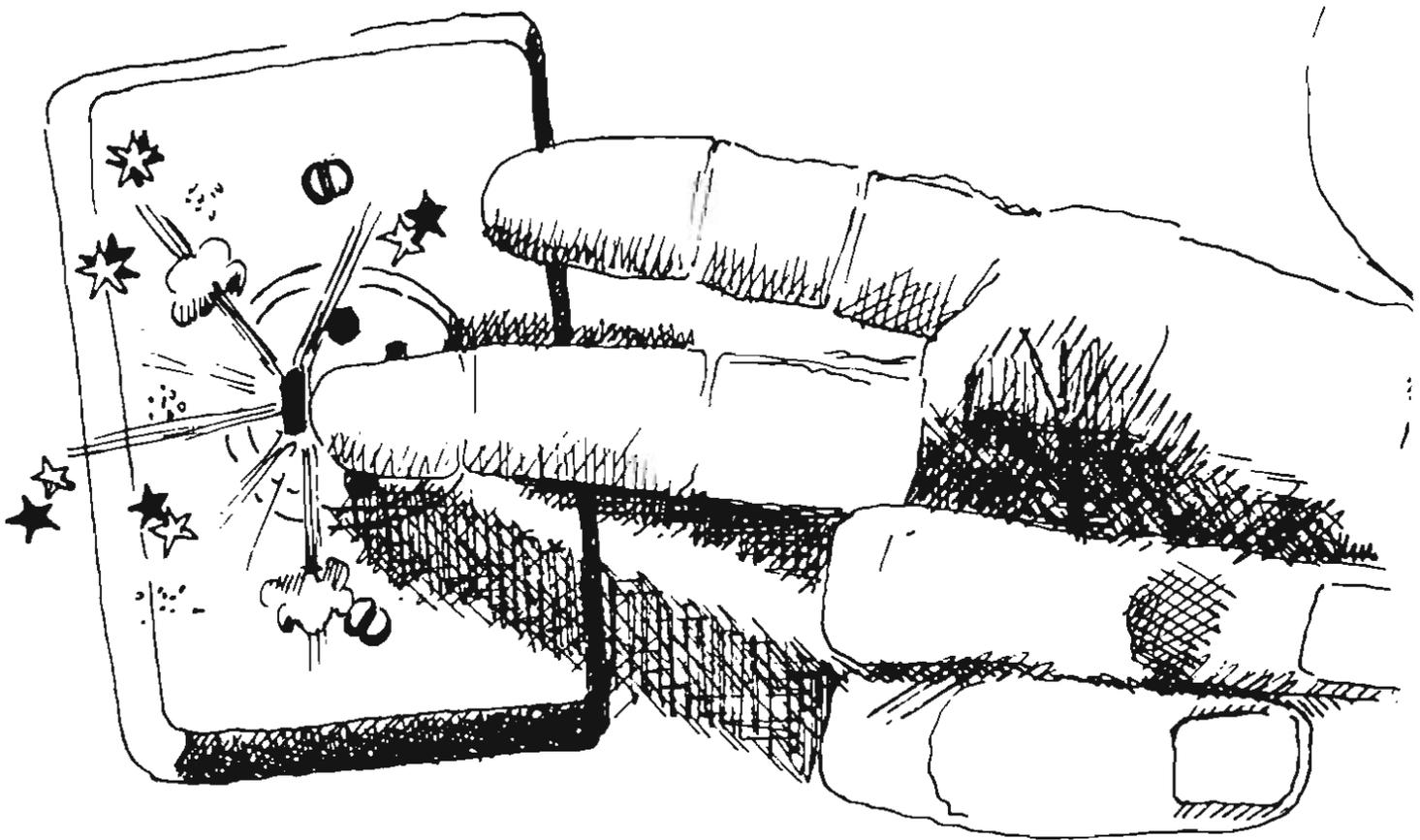
É claro que este sentimento é importante! Ajudou muito a evolução humana desde o homem de Neandertal até o *Homo sapiens sapiens* de hoje; temer o desconhecido tem alto valor para a sobrevivência dos seres vivos: ajuda a evitar perigos mortais, o que é essencial para a continuidade e a evolução de uma espécie. Esta emoção ainda está presente em todos nós e quase sempre se manifesta quando novas invenções são introduzidas na sociedade.



Quando o sistema ferroviário ou a eletricidade foram colocados à disposição do público, no fim do século XIX e início do século XX, o temor não era uma exceção e sim a regra. Quem hoje em dia os teme? Entretanto, perder o medo não significa perder o respeito! Molhar os dedos e enfiá-los na tomada para verificar se tem corrente não

é sinal de coragem ou sabedoria; é completa estupidez!

Outro exemplo é o da energia atômica. Medo justificado caso esta força natural seja utilizada para a confecção de armas; por outro lado, a mesma força devastadora pode ser benéfica quando utilizada no combate de doenças como o câncer!



A substituição deste incômodo primitivo por respeito e aceitação destas novas tecnologias só pode ser alcançada através de informações sobre os mecanismos e leis naturais que formam a base destas inovações. Compreensão e conhecimento vencem o medo!

Neste contexto, apresentaremos aqui uma breve história da biotecnologia, introduzindo os principais conceitos dentro das áreas que lhe dão sustentação: a biologia, a microbiologia e a genética molecular. Descreveremos a metodologia em uso e, em seguida, ofereceremos alguns exemplos dos avanços alcançados na agropecuária e na saúde.

O objetivo é possibilitar ao leitor formar uma opinião sobre o assunto, de modo que ele possa contribuir objetivamente na discussão dos benefícios e riscos da biotecnologia.

Biotecnologia ?

Biotecnologia pode ser definida como “a aplicação integrada da genética molecular, bioquímica, microbiologia e tecnologia industrial para a obtenção de produtos de valor sócio-econômico ou científico a partir de seres vivos ou partes deles”.

Opa! Esta definição é glacial, comprida (mais que 30 palavras!) e pouco estimulante ao principiante para a continuação da leitura.

Vamos tentar mais uma vez: “biotecnologia é o uso dos seres vivos e seus componentes na agricultura, alimentação, saúde e processos industriais”. Isto é melhor, né?

Biotecnologia é velha!

Vista deste ângulo, a biotecnologia é antiga! Desde os tempos mais remotos, microrga-

nismos são usados para a produção de iogurtes, queijinhos e bebidas alcoólicas, que nos ajudam a relaxar e afastar um pouco da luta do dia a dia. Este fato é documentado até na Bíblia: “E começou Noé a ser lavrador da terra, e plantou uma videira. E bebeu do vinho, e embebedou-se...” (Gênesis 9, 20, 21).



De fato, a história da biotecnologia é a história da evolução humana. Ela segue o nosso desenvolvimento de um simples colecionador e caça-

dor para as sociedades domiciliadas de nosso tempo, cuja sobrevivência depende de uma agropecuária altamente eficaz e produtiva. Durante este desenvolvimento, a biotecnologia pode ser dividida em quatro fases.

FASE I

Realmente, as raízes da biotecnologia são pré-históricas. Há milhares de anos os microrganismos já eram usados, de maneira inconsciente, para a produção de bebidas fermentadas e outros produtos, tais como: cerveja, vinhos, queijos e iogurtes.

FASE II

Somente no século XIX, Louis Pasteur descobriu que os microrganismos são os responsáveis pela fermentação. Até hoje, a quota maior no mercado dos produtos biotecnológicos consiste de produtos da fermentação.

A descoberta de Pasteur iniciou a segunda fase da biotecnologia. Ela é caracterizada pelo uso, em grande escala, da fermentação microbiana, para a produção de matéria prima orgânica como ácido acético, ácido cítrico, butanol, acetona e glicerina.

Nesta fase, que coincide com um aumento drástico da população nas grandes cidades, também iniciou-se a produção, em grande escala, de leveduras para alimentação animal, produção de pão e a introdução dos primeiros sistemas de tratamento de esgoto.





FASE III

O início da terceira fase é marcada pela descoberta, por Alexander Fleming, do antibiótico Penicilina durante os anos de 1928 e 1929.

Porém, somente no início da década de 40, as dificuldades técnicas que impediram a produção em grandes quantidades de antibióticos foram superadas. A partir de então, inúmeras

outras antibióticos foram descobertos.

De maneira geral, estas fases são um reflexo do desenvolvimento das ciências naturais. A curiosidade humana nos motivou a perguntar incessantemente como as coisas funcionam, curiosidade que persiste na maioria dos seres humanos na vida adulta, enquanto que para quase todos os animais ela é restrita à fase da infância.



Assim, os mecanismos e leis da bioquímica e biofísica, da biologia e da genética dos seres vivos e as interações complexas que existem entre todos os organismos vivos e o ambiente natural foram (e ainda são) gradualmente descobertos.

Contudo, durante as três primeiras fases do desenvolvimento, a metodologia biotecnológica principal era baseada no uso de microrganismos ou componentes deles.

FASE IV

A Biotecnologia moderna

Com respeito à biotecnologia moderna, pode-se observar que durante as duas últimas décadas, uma disciplina vem ganhando cada vez mais importância: a da biologia molecular, que possibilitou o desenvolvimento da genética molecular e da tecnologia do DNA recombinante. São estas técnicas que permitem a manipulação do material genéti-

co de seres vivos e, ao mesmo tempo, são também as tecnologias que causam as maiores polêmicas e medo com relação à biotecnologia hoje em dia.

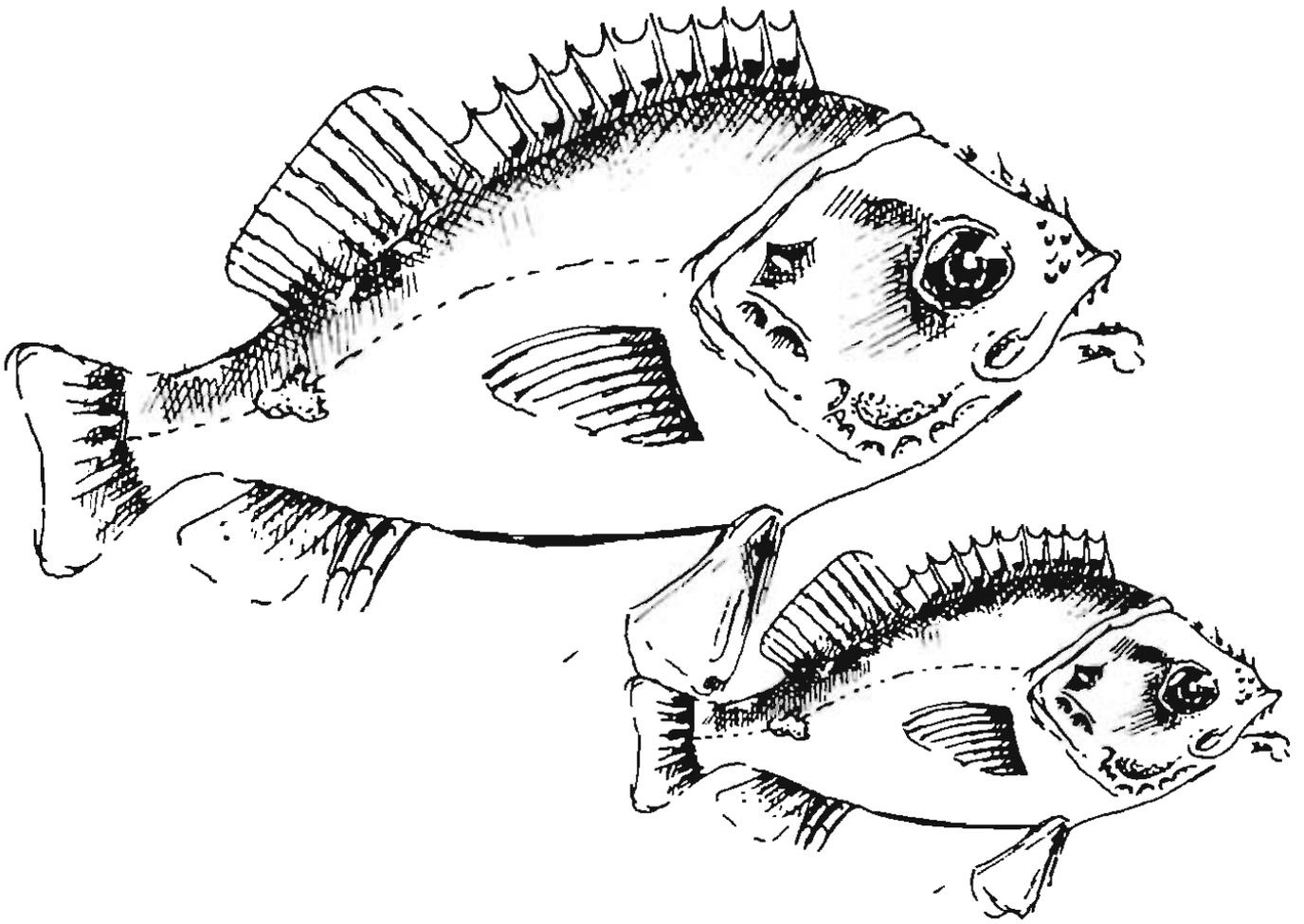
Nós mencionávamos, no início, que a raiz do medo é, na maioria dos casos, a falta de conhecimento, a ignorância!

A seguir, tentaremos tirar o medo e substituí-lo por informações sobre as bases científicas destas técnicas impressionantes popularmente conhecidas hoje como “engenharia genética”.

As raízes da engenharia genética

Tudo começou com a observação de que, em muitos instantes, crianças se parecem com seus pais: “Filho de peixe, peixinho é!”

E durante todos os tempos, as mentes mais poderosas não pararam de pensar, argumentar e especular sobre por que filho de peixe é peixinho.



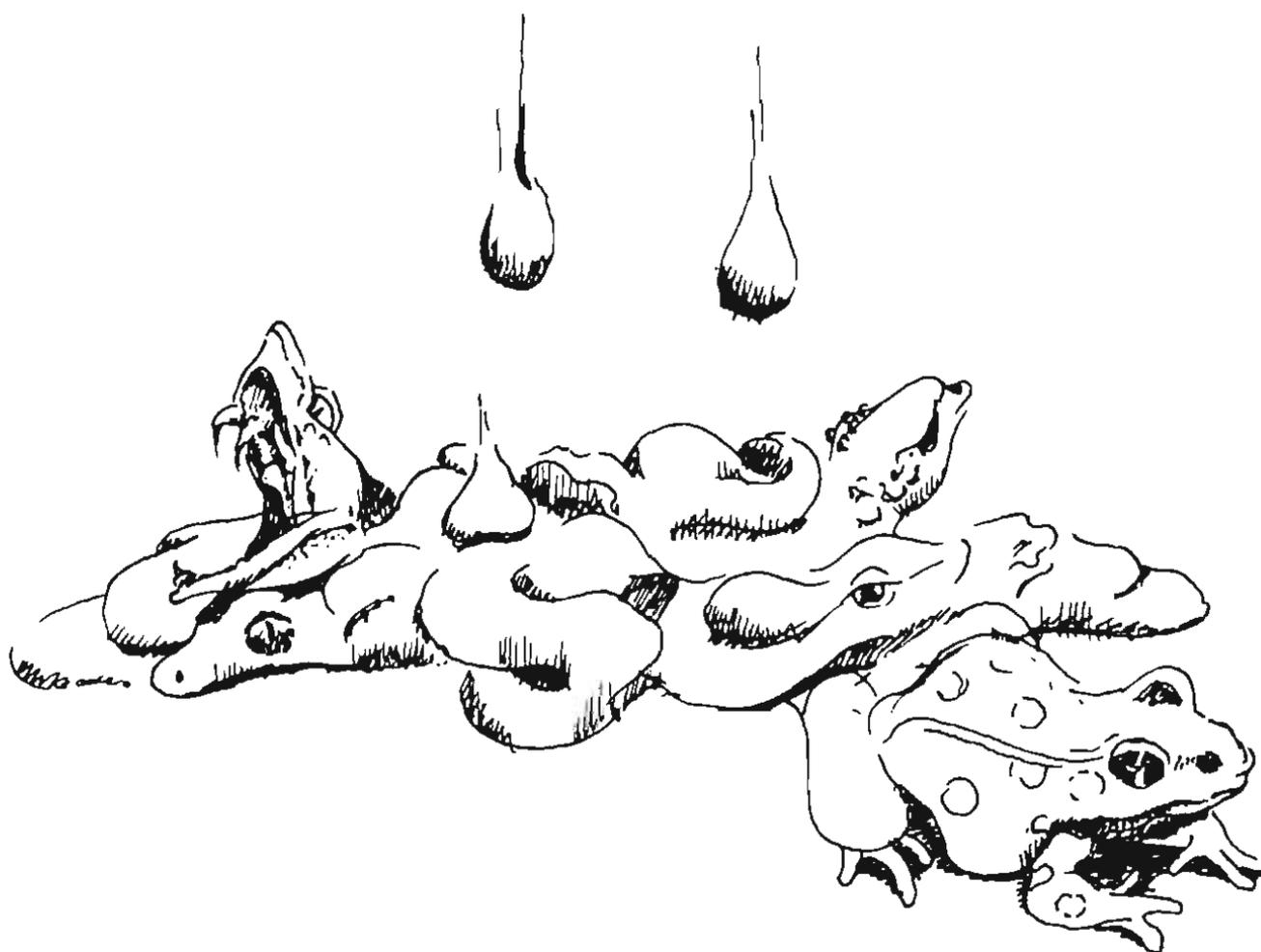
Porém, três descobertas foram essenciais para o desenvolvimento do conceito da transmissão hereditária como é conhecida e aceita hoje em dia.

• **Abolição do conceito “geração espontânea”**

De acordo com esta idéia, de origem grega, a vida podia originar-se de uma maneira espontânea a partir de matéria

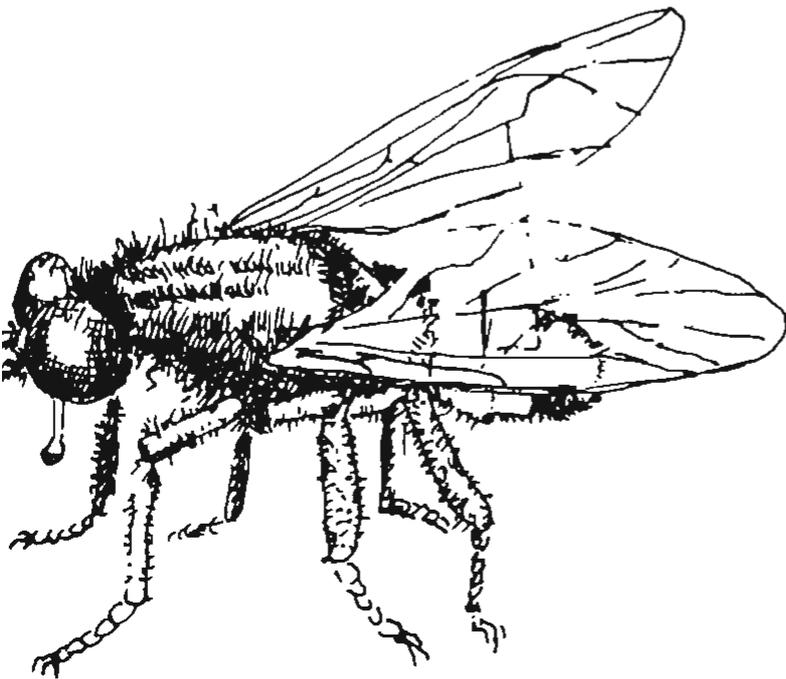
inanimada. Assim, insetos, cobras, rãs, etc. poderiam nascer espontaneamente a partir da lama.

Com esta idéia, porém, os gregos arcaicos ignoraram a noção de que filho de peixe...! Afinal, lama não tem muito a ver com rãs, peixes, cobras, etc. Dois cientistas foram responsáveis pela abolição do conceito da “geração espontâ-



nea". O primeiro foi o italiano Francesco Redi (1626-1698), famoso autor do poema dionisiaco "Bacco in Toscana". Ele se perguntou se realmente era verdade que carne putrefata gerava moscas, como era a crença geral na época. Ele demonstrou que carne putrefata não gera moscas quando protegida com gaze. A conclusão de Redi: sem mosca não haverá moscas!

Ou, em outras palavras, não há geração espontânea! Portanto, idéias erradas têm raízes profundas! A mesma coisa



teve que ser provada outra vez, 200 anos mais tarde, para que a idéia fosse aceita pela maioria dos cientistas. O francês Louis Pasteur (1822-1895) mostrou que novas células somente podem se originar a partir de células preexistentes. Mais uma vez: não há geração espontânea!

• **Espermatozóide versus óvulo**

A segunda descoberta essencial para o desenvolvimento da genética moderna foi feita por um holandês, Anton Van Leeuwenhoek (1632 - 1723). Nas horas de lazer Leeuwenhoek confeccionava lentes e conseguiu ver, pela primeira vez, espermatozóides humanos. Entusiasmado, ele exagerou um pouco quando postulou ter visto também, dentro dos espermatozóides, minúsculos seres humanos. Também foi ele que reconheceu que existem machos e fêmeas em insetos. Usando uma lente de fabricação própria, ele

invadiu a privacidade das pulgas e descobriu que estas se propagam através de um ciclo sexual.

Os espermatozóides foram descobertos, mas ainda faltava alguma coisa! Claro, o ovo! Ou o óvulo, como são chamadas as células sexuais femininas. William Harvey (1578-1657), um inglês que se interessou pelo desenvolvimento de embriões de galinhas e pos-

tulou, como conclusão dos seus estudos: *Ex ovo omnia!*

É fácil traduzir. Harvey estava dizendo que tudo sai de um ovo. Isto não quer dizer que nós concordamos com a noção de que a galinha é o mecanismo do ovo para produzir novos ovos! Não vamos adotar este ponto de vista ligeiramente revolucionário; ficaremos com a visão conservadora de que o ovo é o mecanismo das



galinhas para produzir novas galinhas! Porém, na origem sempre há um ovo!

Bem, estas três descobertas, ou seja, a abolição do conceito da geração espontânea, a visualização dos espermatozoides e os ovos, possibilitaram o enraizamento da noção de que os seres vivos se reproduzem sexualmente. Um alemão chamado Rudolf Jakob (1665-1721) estendeu esta noção para plantas. Rudolf Jakob era um nome bastante comum e, provavelmente por esta razão, Rudolf era mais conhecido pelo apelido de “Camerarius” (que correu na família inteira porque um dos ancestrais era camareiro do bispo de Bamberg). Camerarius mostrou que frutas somente se desenvolvem se as anteras (parte masculina das plantas onde, nas flores, se encontra aquele pó fininho, o pólen) estão presentes. Não se sabe, hoje em dia, como a noção da reprodução sexuada em vegetais foi aceita pela socie-

dade pudica do século XVII, mas a verdade é que, com estas descobertas, o caminho estava aberto e as mentes prontas para o próximo desafio da biologia: existem leis ou regras da hereditariedade? Se existem, obviamente são complexas e a elucidação requer muito tempo. E quem pode ter mais tempo à disposição do que os monges? É isso mesmo: ninguém!



As leis da hereditariedade

O monge agostiniano Gregor Johann Mendel (1822 - 1884) servia a Deus em um monastério em Brno, uma cidade situada na Eslováquia. Ele também ensinava biologia, física e matemática para um nível correspondente ao segundo grau. Nas horas de lazer, cultivava ervilhas. Mas ele não cultivava estas plantinhas somente por motivos ornamentais ou porque ele gostasse de comer knedliky (receita no fim do livro!) Mendel estava, na verdade, interessado em descobrir se existiam regras para hereditariedade e usava estas plantas em seus experimentos. Plantas de ervilhas ocorrem em diversas edições: existem plantas altas, plantas baixas, plantas cujas sementes são verdes ou amarelas, lisas ou rugosas. Mendel despendia grande parte de seu tempo cruzando ervilhas entre si e observando as características dos descendentes gerados.

Inicialmente Mendel observou que o cruzamento de plantas altas com baixas geravam apenas plantas altas (cruzamento 1). Segundo a crença corrente na época, a progênie deste cruzamento deveria ter altura intermediária, pois acreditava-se que a herança genética se dava por uma mistura ou fusão de uma matéria fluida de origem materna e paterna. Mendel estava realmente intrigado e continuou cruzando as ervilhas! Ele observou que o cruzamento da primeira progênie entre si (autofertilização) resultava sempre em 75% de plantas altas e 25% de baixas. Como as plantas baixas reapareceram? Mais uma vez, a idéia de mistura não explicava os resultados obtidos.

Dos frutos das atividades diurnas, como jardineiro e das reflexões noturnas, como matemático, e analisando os resultados dos cruzamentos, Mendel tirou as seguintes conclusões:

1. O material hereditário não era algo fluido, que se misturava. Cada característica do organismo era definida por fatores. (Em 1908, o biólogo dinamarquês Wilhelm Johannsen introduziu o conceito e a terminologia de “gene” para descrever estes fatores).

2. Cada organismo possuía dois fatores para uma determinada característica: um proveniente do pai e outro da mãe. Lembrem-se de Camerarius: plantas novas resultam da união do pólen com o óvulo.

3. Havia características que dominavam. As plantas altas, por exemplo, sempre estavam presentes. Estas características foram chamadas de dominantes. Outras características desapareciam por uma geração, como no caso das plantas baixas. Estas foram denominadas recessivas pois, em certos cruzamentos, pareciam estar de recesso. Assim, existiam fatores dominantes e fatores recessivos.

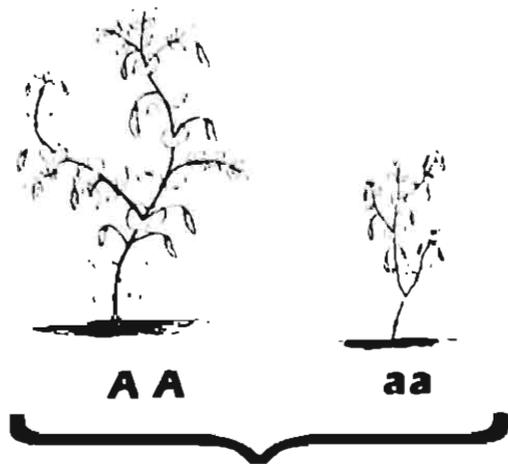
Para facilitar suas análises, Mendel atribuiu letras para cada fator, por exemplo:

Fator “A” (maiúsculo) para a característica dominante “alta”.

Fator “a” (minúsculo) para a característica recessiva “baixa”.

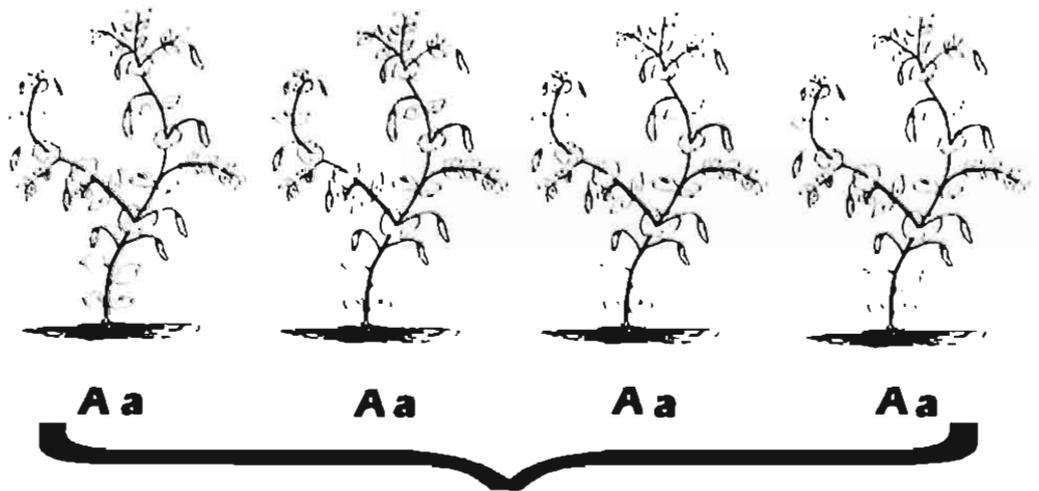
Sob esta ótica, os experimentos de Mendel podem ser apresentados como no esquema da página seguinte.



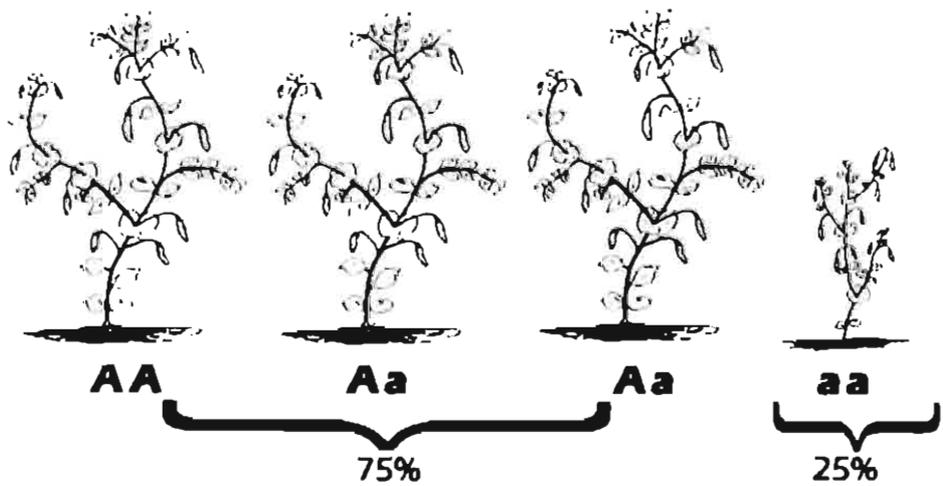


Autofertilização

Descendente do primeiro cruzamento



Descendente do segundo cruzamento



Aqui, abrimos um espaço para tirar o chapéu em homenagem ao poder intelectual extraordinário de Mendel que ousou combinar biologia e matemática e descobriu as leis fundamentais da hereditariedade, que determinam a transmissão de características específicas de pais para os filhos, tanto em plantas quanto em animais e em seres humanos.

Temos de relatar que as descobertas de Mendel não causaram muitas emoções na comunidade científica da época. De fato, ninguém percebeu a importância extraordinária desta descoberta, e somente quase 50 anos depois da publicação original, as leis de Mendel foram redescobertas por Hugo DeVries, Erich von Tschermak e Carl Correns.

O material genético

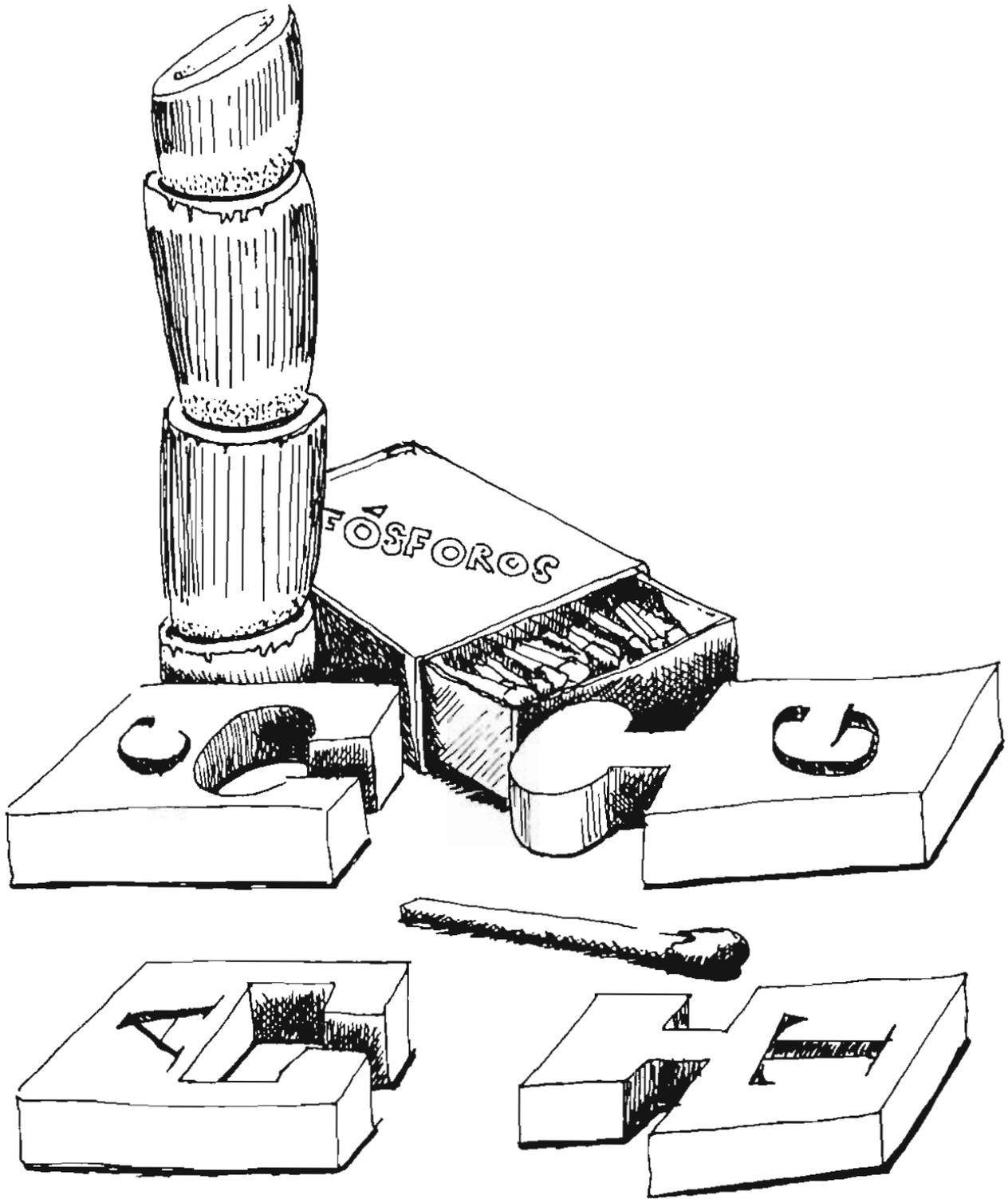
Quando as leis Mendelianas foram aceitas, nada ainda se sabia sobre o que era, quimicamente, o material genético. Até 1944, a principal suspeita

recaía sobre as proteínas, uma vez que estas são abundantes em todos os organismos. Aqui, temos mais um exemplo de que quantidade nem sempre está relacionada com qualidade. Em 1944, Avery e seus colaboradores MacLeod e McCarty mostraram que o material genético era (e ainda é, claro!) os ácidos nucleicos, mais especificamente o DNA (um ácido nucleico descoberto muitos anos antes, em 1871, por Friedrich Miescher, em pus humano).

O esclarecimento da natureza química do material genético iniciou a época da biologia molecular e, simultaneamente, a fase da biotecnologia moderna. Assim, sabemos hoje que os elementos misteriosos que Mendel descobriu e que são responsáveis por características definidas de um ser vivo, tais como altura, cor de olho, textura de semente enfim, que caracterizam um determinado organismo e que foram chamados de “genes”, por Johannsen, estão localizados no DNA.

Uma vez estabelecido que o DNA representa o material genético, o maior desafio para os biólogos era o esclarecimento da sua estrutura. O mérito para este esclarecimento cabe aos pesquisadores James Watson e Francis Crick que, interpretando os achados dos pesquisadores Rosalind Franklin e Maurice Wilkins de maneira criativa e correta, propuseram a estrutura de dupla hélice para o DNA.

A descoberta de que o material genético é organizado em forma de dupla hélice resolveu de uma vez vários problemas. Este tipo de estrutura explica como os genes localizados no DNA podem ser duplicados e assim ser transferidos para os descendentes: basta separar as duas hélices e fazer uma cópia de cada fita. O resultado será duas hélices novas, exatamente idênticas à dupla hélice original.



Para ilustrar a estrutura do material genético, publicamos aqui, pela primeira vez na América Latina, uma receita para fabricação de DNA caseiro.

DNA caseiro (sirva 46 pessoas)

Ingredientes

- açúcar (desoxirribose)
- fosfato
- bases nitrogenadas:
Adenina - A
Timina - T
Citosina - C
Guanina - G

Modo de preparo

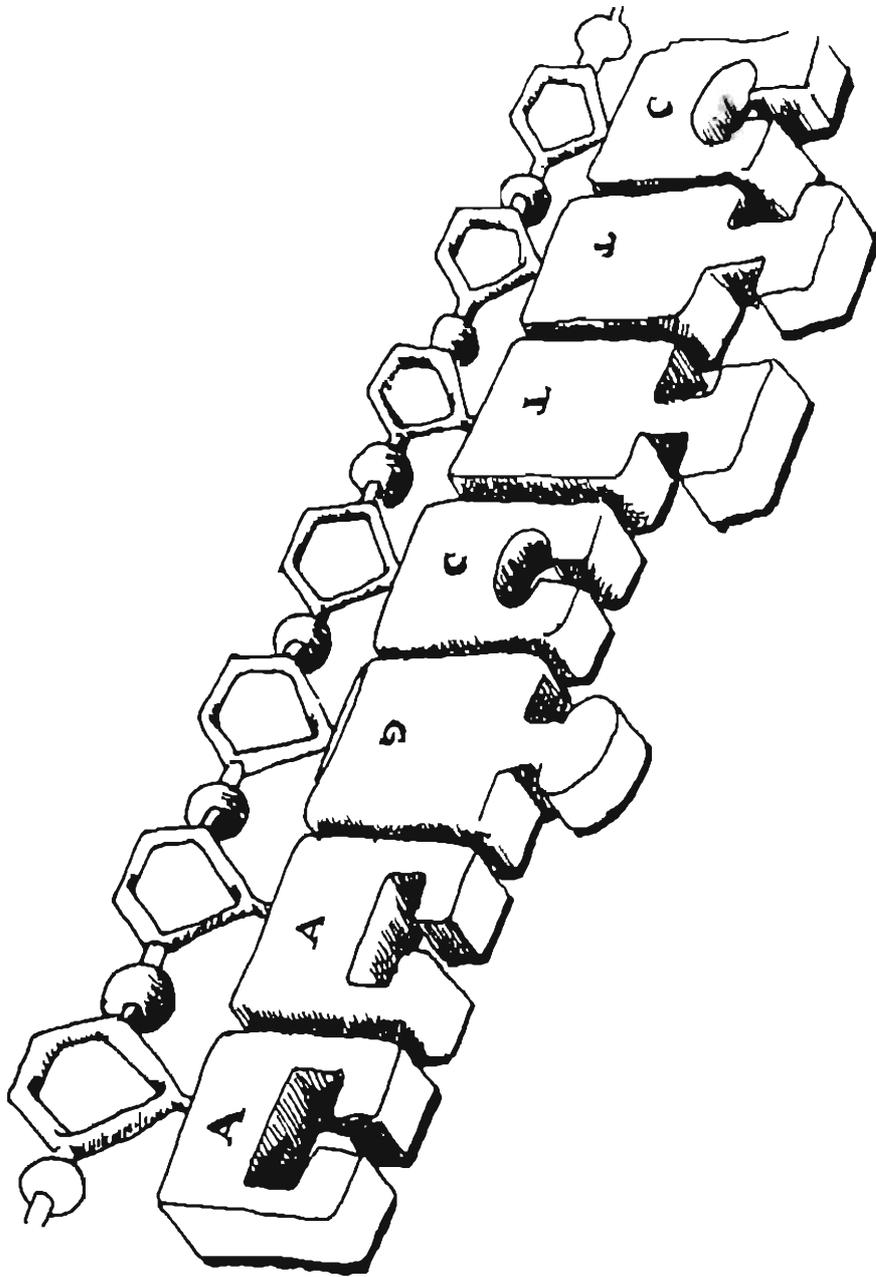
- juntar, alternadamente, uma molécula de açúcar com uma molécula de fosfato até se obter uma fita com o comprimento adequado para a espécie (no caso de seres humanos: 2m).
- repetir esta manipulação até se obter uma segunda fita com comprimento idêntico ao da primeira.

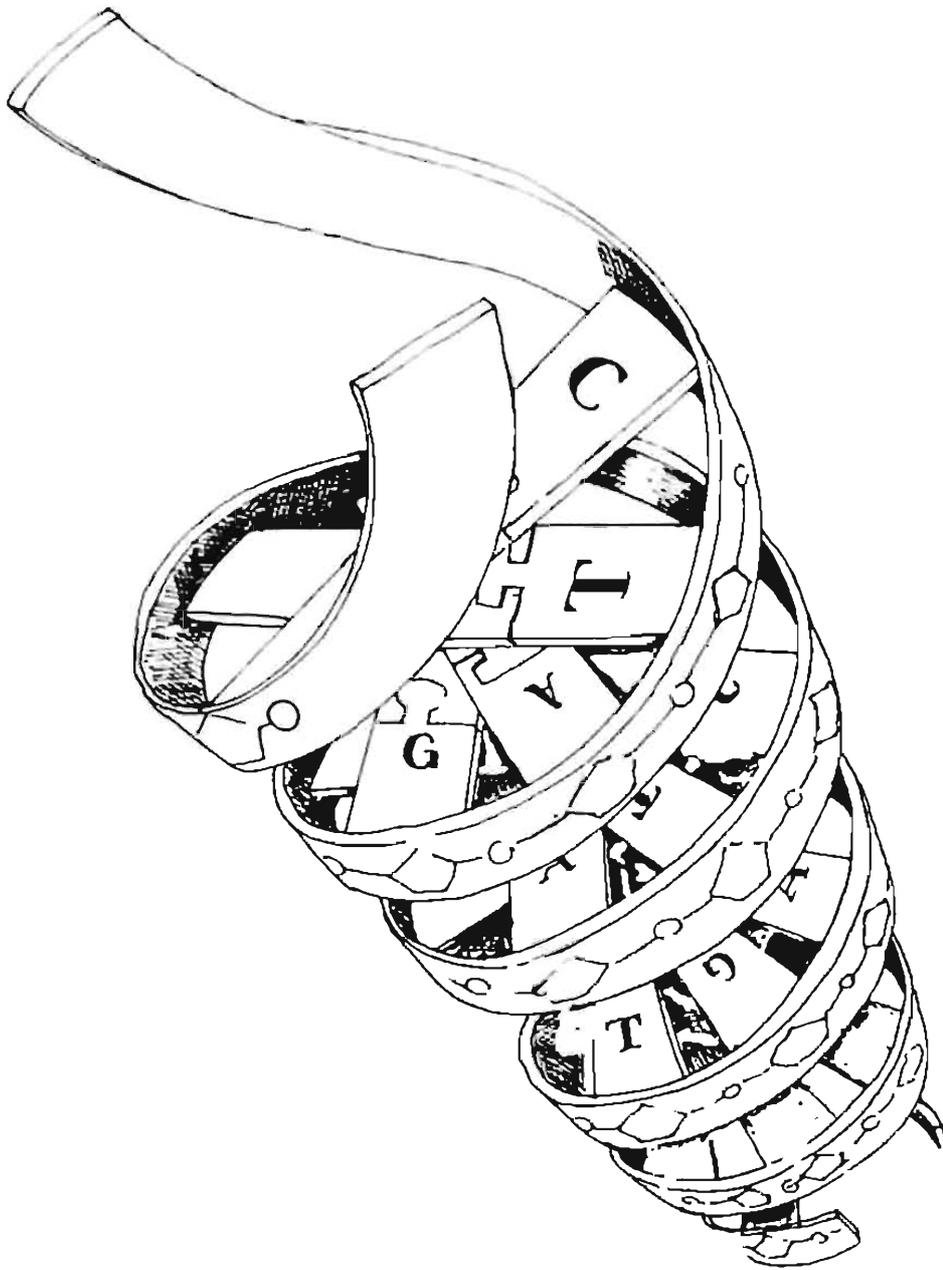
- alinhar as duas moléculas paralelamente, como se fossem as laterais de uma escada, observando uma distância de 0,000 000 002m.

- colocar como degraus as bases nitrogenadas. Cada degrau consiste de duas bases, adenina e timina ou citosina e guanina. Atenção! A distância entre os degraus deve ser 0,000 000 000 034m!

- para completar: segurar a dupla fita nos terminais e gentilmente produzir uma hélice.

Bom apetite!







Nossa! O que estes dois estão fazendo aqui de novo?

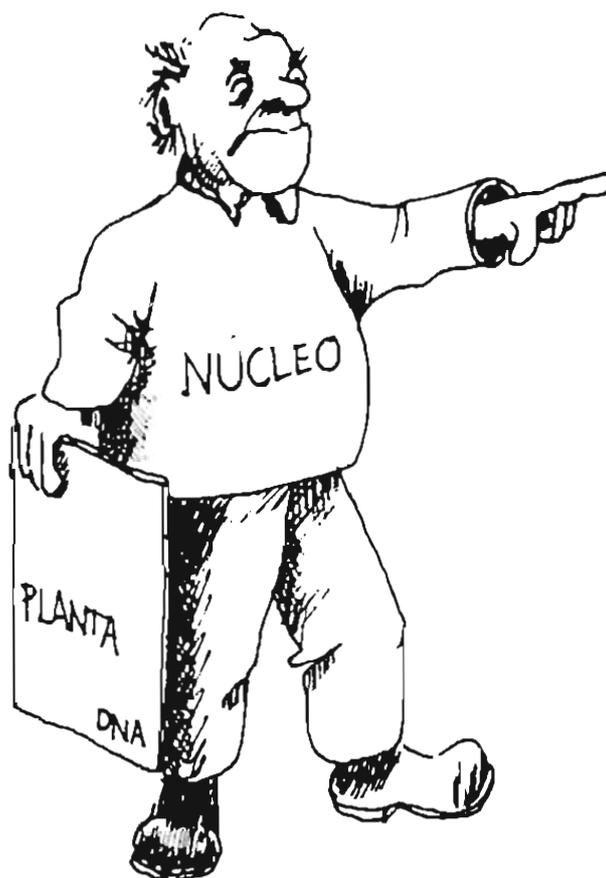
Paciência! Logo, logo, vamos entrar a todo vapor nos métodos que caracterizam a biotecnologia moderna. Antes, porém, mais algumas informações interessantes sobre biologia básica.

Seres vivos podem ser comparados a uma casa que, por mais complexa e sofisticada que seja, é construída com unida-

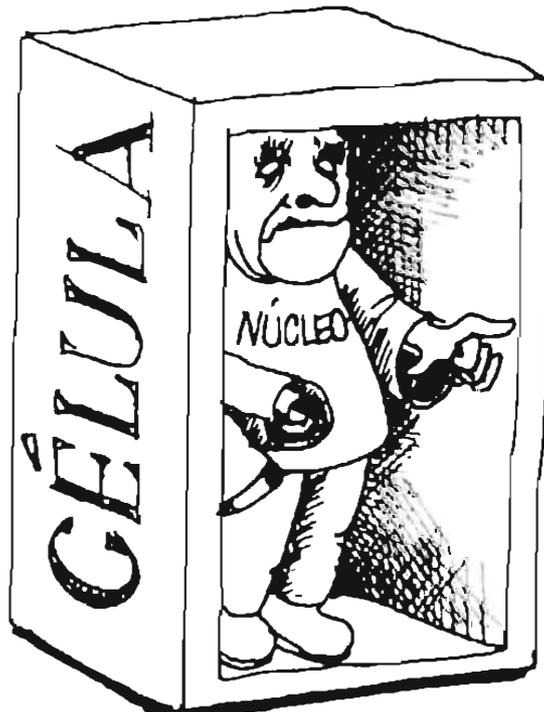
des de construção, isto é, os tijolos. Os tijolos dos seres vivos são as células. E como com tijolos se constroem cozinhas, salas, banheiros, etc, com funções diferentes, mas bem definidas, com células são construídos os diferentes órgãos e tecidos que exercem as mais diferentes funções e que, na sua totalidade, formam o organismo.



Células consistem do corpo celular ou citoplasma, e do núcleo celular. O núcleo é comparável a uma ponte de comando de uma construção. No citoplasma, as ordens são executadas e resultam, na maioria dos casos, na produção de proteínas específicas que são incorporadas e utilizadas nos diversos órgãos dos organismos. As proteínas, por sua vez, também são construídas a partir de blocos de construção; são os chamados aminoácidos. Existem 20 tipos diferentes destes elementos que são utilizados pelas células para a síntese protéica. As proteínas variam muito com respeito à dimensão, forma e função. Cada proteína contém um número específico de aminoácidos alinhados de uma maneira específica.



Na ponte de comando de uma construtora, no escritório do arquiteto, existe uma planta que descreve a casa inteira, o número de andares, a localização dos banheiros, da cozinha, etc. Em células de qualquer organismo também existe esta central de comando, o núcleo. Neste, é armazenada a planta, que especifica as várias proteínas a serem sintetizadas no citoplasma. Esta planta geral é fixada no DNA, no material genético.



Mencionamos que em todos os seres vivos 20 aminoácidos servem como unidades de construção das proteínas. O problema a resolver e explicar, então, é: como a célula é capaz de montar uma proteína a partir das informações contidas no DNA? Resumidamente, este problema é resolvido em duas etapas:

1. Na primeira, uma informação específica no DNA é convertida em outro tipo de ácido nucléico, o RNA mensageiro (mRNA). Este pode ser imaginado como molde negativo da informação estocada no DNA. O processo que dá origem a este molde é conhecido como “transcrição”. O que fazem os mensageiros, de maneira geral? Eles transferem mensagens de um lugar para o outro e, na maioria dos casos, da central de comandos, para o lugar de execução, ou seja, no caso de células, o citoplasma.

2. No citoplasma, a informação codificada no RNA men-

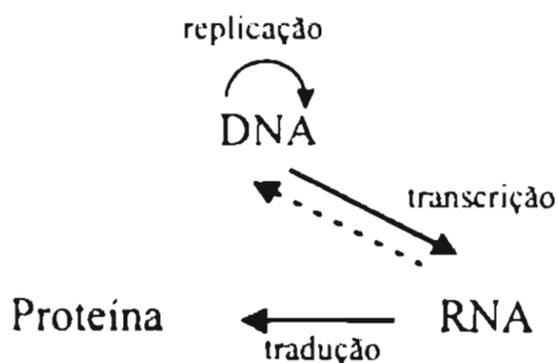
sageiro é decifrada e traduzida em proteínas. Esta segunda etapa é conhecida como “tradução”. A informação no DNA é, na verdade, uma seqüência de bases. Cada três bases codificam um aminoácido na proteína. Mas, como é possível descrever (no DNA ou no mRNA) 20 aminoácidos diferentes utilizando um alfabeto de apenas quatro letras (as bases A, T, C e G)?

É fácil (em retrospectiva): três bases, em seguida, descrevem um aminoácido específico. Lembrando-se da matemática do segundo grau, podemos ver que quatro bases, em combinações de três, são mais do que suficientes para descrever 20 aminoácidos; de fato seriam suficientes para descrever 64 aminoácidos ($4^3 = 64$)!

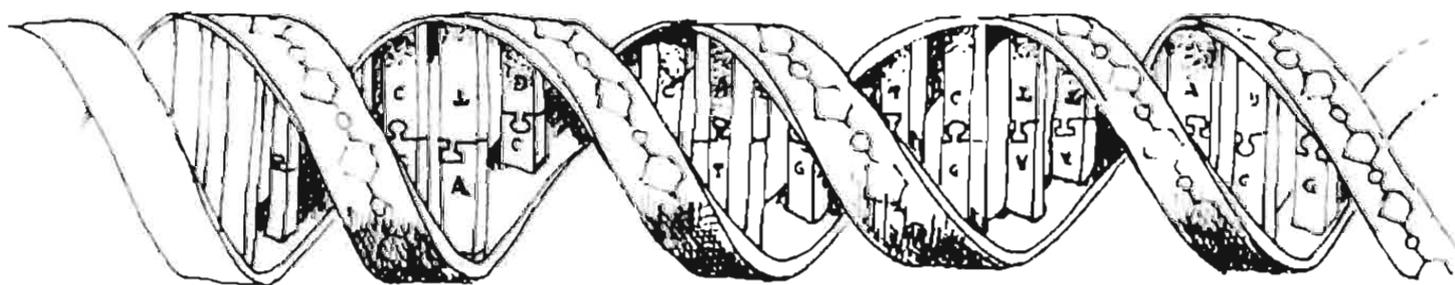
O chamado código genético descreve as seqüências de bases que especificam um dado aminoácido. Por exemplo: para descrever em uma proteína uma seqüência de três aminoácidos do tipo “metio-

nina”, no DNA encontraremos a seqüência das bases ATG ATG ATG. É importante notar que o mesmo código é utilizado para todos os seres vivos; o código é universal!

Então, podemos resumir as interações entre o DNA, o RNA mensageiro e as proteínas, da seguinte maneira:



Este esquema, conhecido como “Dogma Central” da biologia, foi proposto por Francis Crick, que com Jim Watson, descobriu a estrutura do DNA. O DNA pode se replicar e a informação ser traduzida em proteínas usando o RNA como intermediário. Também é possível traduzir RNA para DNA (alguns vírus são capazes de fazê-lo) mas não vamos entrar neste assunto particular!



Para finalizar esta descrição do material genético, cabe mencionar que o DNA no núcleo de todos os seres vivos está associado a proteínas, formando os cromossomos. Cada organismo contém um número específico de cromossomos. No caso humano são 2 x 23, perfazendo um total de 46 cromossomos, metade proveniente do espermazóide e metade do óvulo. No caso das ervilhas, são 2 x 7, de novo, 7 do pólen e 7 do óvulo. Vocês devem estar se perguntando por que o Leeuwenhoek não observou estas estruturas? Bem, a situação dos cromossomos pode ser comparada, até certo ponto, à situação das promessas nas campanhas eleitorais. Estas são altamente presentes no final da campanha, imediatamente antes das eleições. Depois, somem e só reaparecem nas eleições seguintes.

(Esta comparação a gente emprestava do livro “The cartoon guide to genetics” de L. Gonick e M. Wheelis, publi-

cado por Barnes e Noble Books).

Cromossomos sempre estão presente em todas as células, mas só são visíveis imediatamente antes e durante a divisão celular.

Está na hora de resumir o que foi apresentado até agora!

1. Biotecnologia, no sentido da definição oferecida inicialmente, é velha.

2. O desenvolvimento da biotecnologia durante milênios foi paralelo ao desenvolvimento das ciências naturais, em particular da biologia.

3. As noções cruciais, condições prévias para a biotecnologia moderna, foram: a descoberta das leis da hereditariedade, da natureza química do material genético e da decifração do código genético.

As ferramentas da biotecnologia moderna

Agora, estamos prontos para abordar a biotecnologia moderna. Esta causa as maiores preocupações, tanto em leigos quanto em cientistas porque, baseados nos conhecimentos adquiridos com o desenvolvimento científico por todos esses anos, podemos agora interferir diretamente no material genético de qualquer ser vivo.

Os pioneiros desta façanha foram os pesquisadores americanos Stanley Cohen e Herbert Boyer, que, em 1973, conseguiram introduzir um

gene de uma rã dentro de uma bactéria.

Um pedaço do material genético da rã foi recombinado com o da bactéria e reintroduzido na mesma, formando assim uma criatura verdadeiramente nova, nunca existente na terra até este momento, uma quimera!

A palavra “quimera” vem do grego e descreve uma criatura mitológica com corpo de cabra, cabeça de leão e cauda de dragão. O conjunto de técnicas e métodos que permitem a combinação de material genético de diferentes espécies é



chamado, “Tecnologia, do DNA Recombinante” ou “Engenharia Genética”.

Em seguida, precisamos nos familiarizar com o lado técnico deste tipo de atividade.

Princípios básicos da tecnologia do DNA recombinante

Sabemos que toda informação que caracteriza qualquer organismo é armazenada sob a forma de genes no DNA. A engenharia genética permite isolar um pedaço de DNA contendo um gene de interesse econômico ou científico e introduzi-lo em diferentes organismos. A importância dessa possibilidade é facilmente compreendida se forem contemplados, por um momento, os objetivos dos agricultores e melhoristas. A tentativa de melhorar espécies de plantas importantes para a sociedade é feita através de cruzamentos dirigidos. Entretanto, nem

sempre as características interessantes para o agricultor se encontram em espécies que podem ser cruzadas utilizando-se as técnicas clássicas dos melhoristas. A tecnologia do DNA recombinante supera este problema.

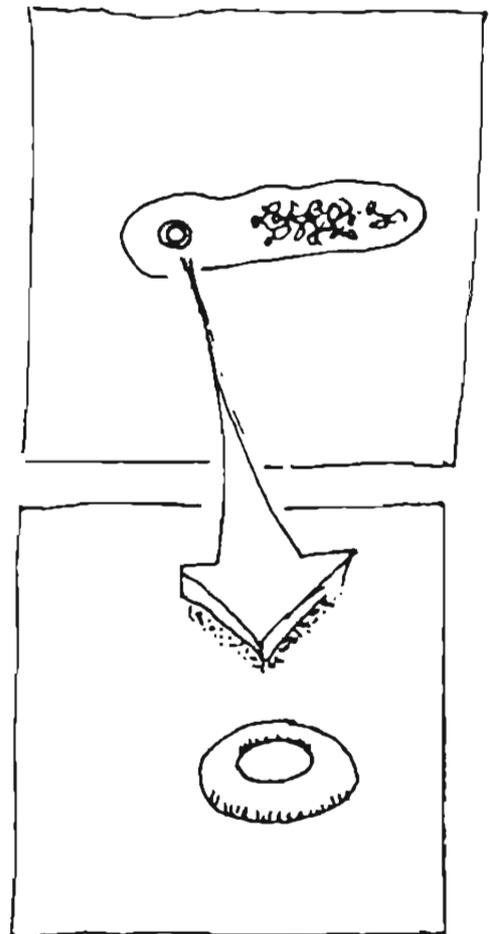
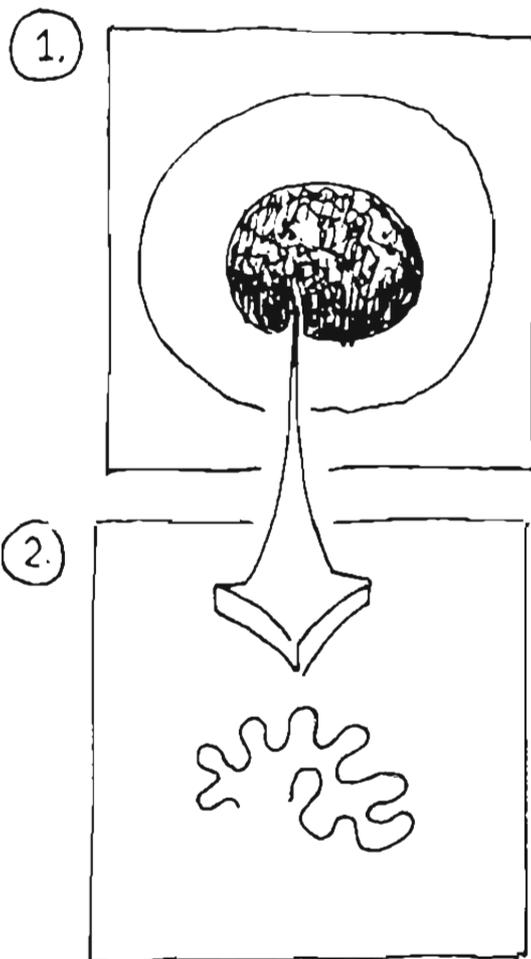
As ferramentas necessárias são:

- um método para isolar um gene definido a partir da totalidade da informação genética de um determinado organismo.
- uma maneira para multiplicar o gene isolado *ad infinitum*.
- um método para introduzir o gene isolado em organismos hospedeiros.
- um método para a detecção da informação genética.

Essas etapas são apresentadas nestas ilustrações de Pidi Zumstein.

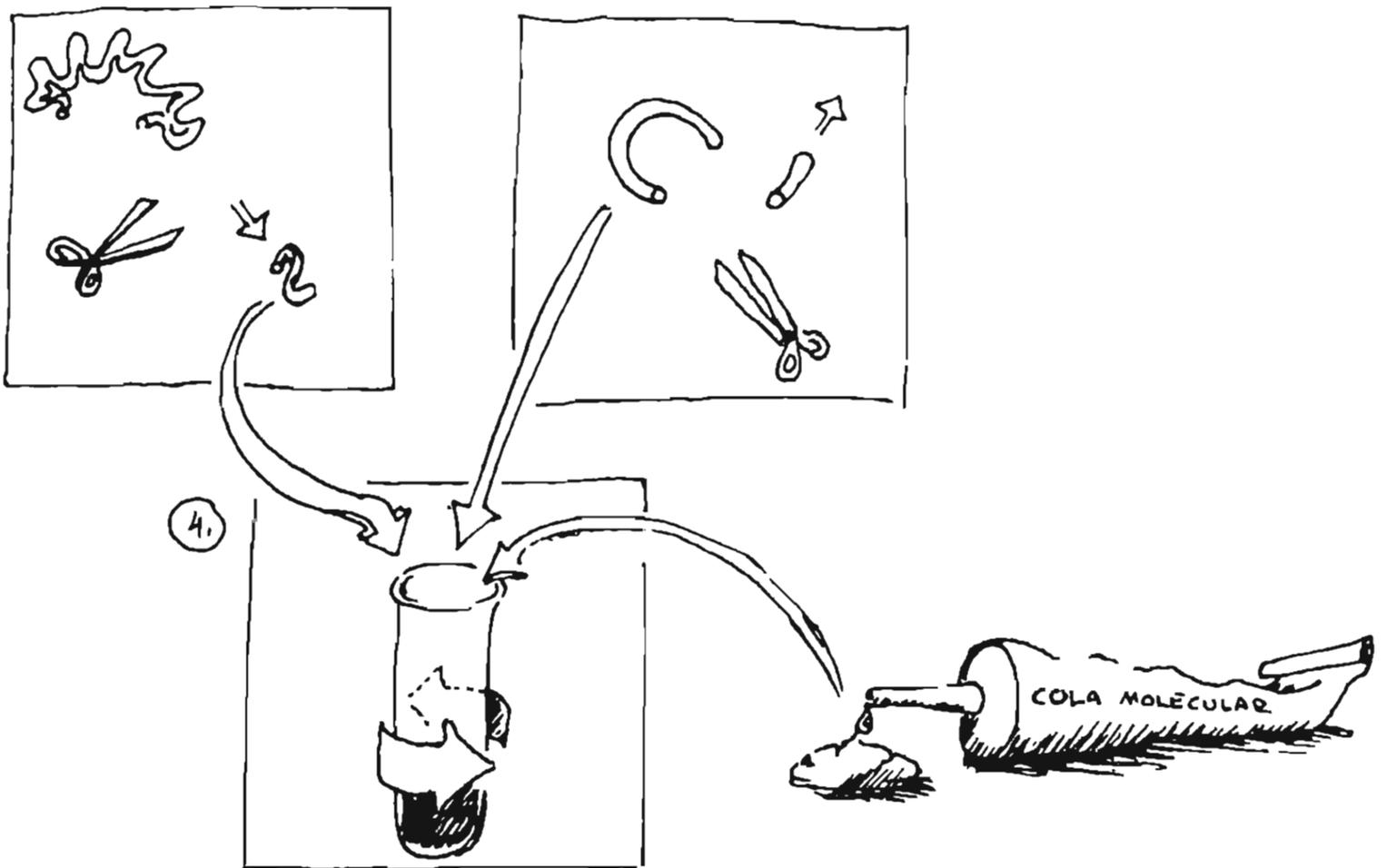
1. À esquerda está uma célula (vegetal ou animal, tanto faz!). À direita, uma bactéria. Note que uma parte do material genético da bactéria é circular e separada do genoma bacteriano. A parte circular é chamada "plasmídeo".

2. Tanto o DNA celular, quanto o DNA do plasmídeo são extraídos.



3. O DNA celular e o DNA de origem bacteriana são cortados com uma “tesoura molecular”, ou “enzimas de restrição”.

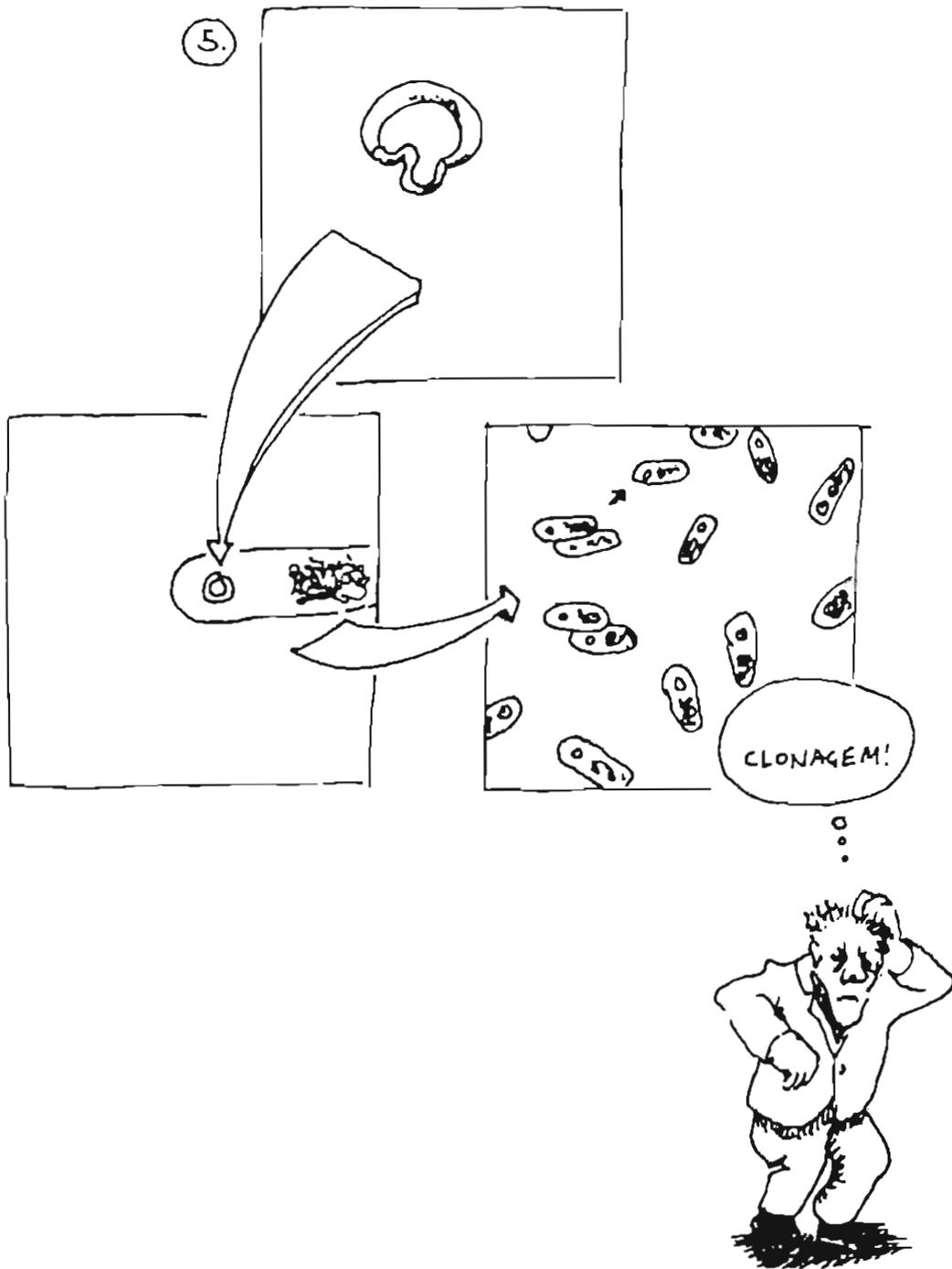
4. Os fragmentos do DNA celular, que contém o gene de interesse, são misturados com o DNA cortado do plasmídeo e ligados utilizando-se uma outra enzima, a ligase, que atua como uma “cola molecular”.



5. O resultado é um plasmídeo quimérico, circularizado, que contém o gene do organismo doador.

6. Finalmente, este plasmídeo manipulado é reintroduzido nas bactérias.

7. Ele se multiplica indefinidamente dentro da bactéria e o gene de interesse pode ser identificado através de métodos específicos. Este gene pode ser utilizado para pesquisa e/ou introdução em outros organismos.



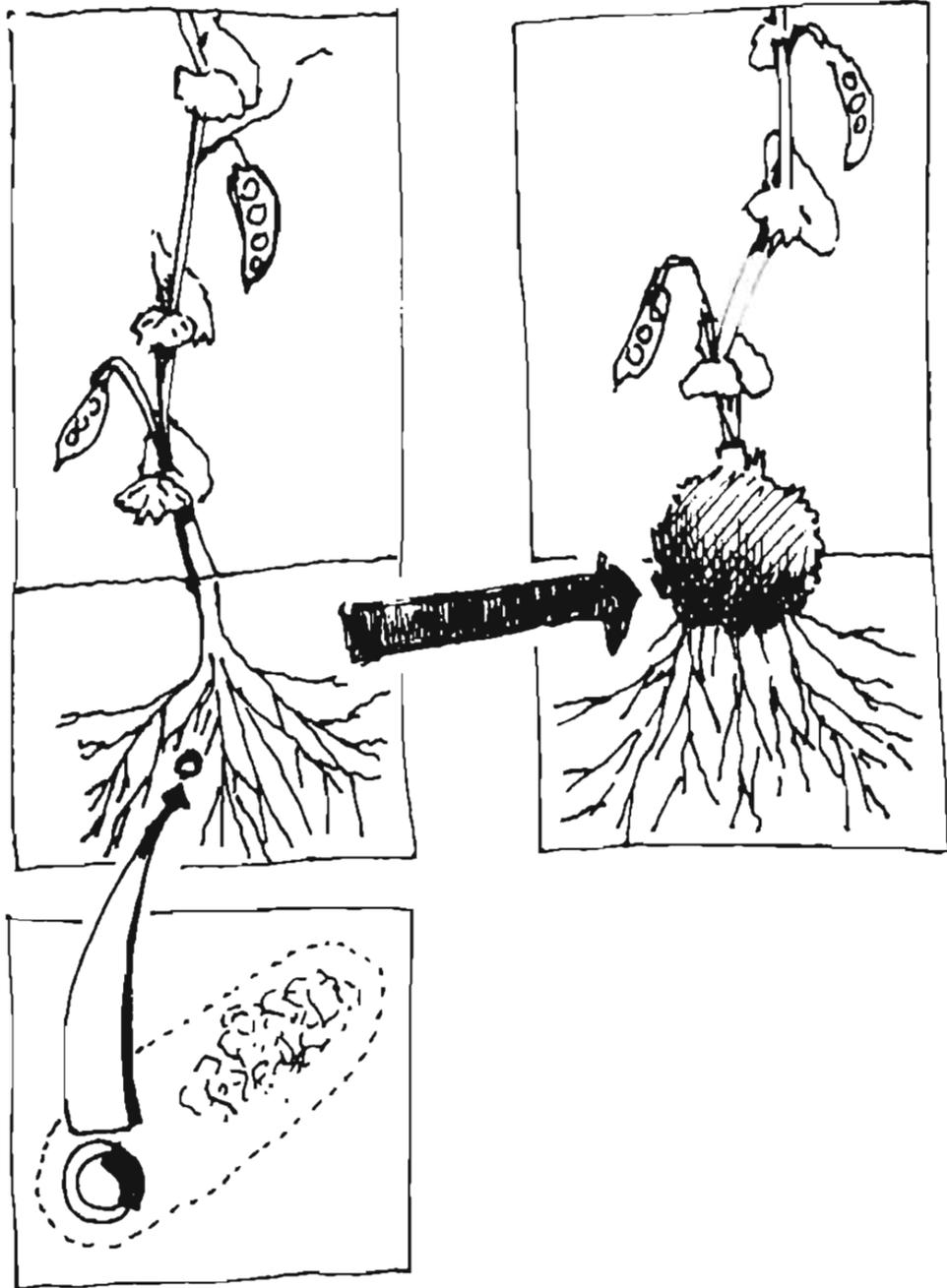
O conjunto destas manipulações é chamado "clonagem". A expressão vem da palavra grega *klon* (= galho). Em muitas plantas basta plantar parte de seus galhos para produzir progênie idêntica à planta-mãe. Por analogia, todos os plasmídeos obtidos em uma manipulação, como descrita anteriormente, contêm a mesma informação gênica e por esta razão o processo é chamado de clonagem molecular.

Desta maneira é possível, em princípio, introduzir genes de origem vegetal, animal ou humana em bactérias. Ainda mais surpreendente é que este gene, proveniente de um organismo tão diferente, pode funcionar na bactéria. Assim, pode-se sintetizar, na célula bacteriana, uma determinada proteína. Veremos alguns exemplos de proteínas produzidas desta maneira mais à frente.

Hoje, é possível introduzir genes não somente em bactérias, mas também em leveduras, plantas, insetos e vertebrados, e ainda mais, é possível trocar genes entre todas estas formas de vida.

Em termos práticos, isto significa que a totalidade dos seres vivos está disponível para manipulações ao nível do material genético. Obviamente, estas possibilidades terão e já têm grande impacto na agricultura, na medicina e na pesquisa básica.

Todavia, é importante reconhecer que a transferência de genes de um organismo para outro não é uma invenção humana e também não é nova. Existe uma bactéria do solo, a *Agrobacterium tumefaciens*, que está fazendo exatamente isto há milênios. E é esta bactéria que os pesquisadores utilizam para modificar o genoma de plantas de interesse sócio-econômico.



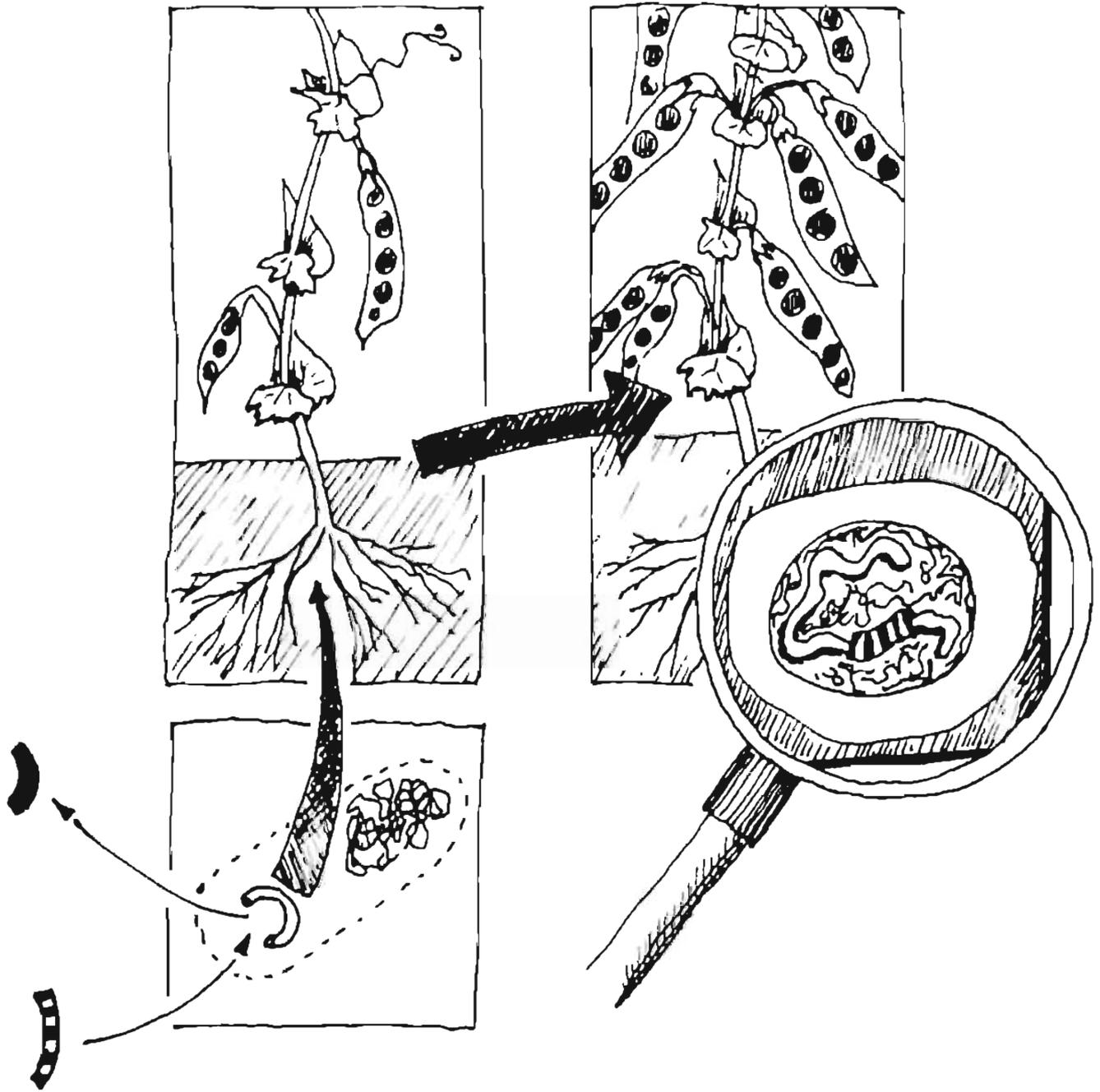
***Agrobacterium tumefaciens* manipula genes de plantas**

Vamos ver como esta bactéria sobrevive na natureza e como ela pode ser útil para a modificação ou engenharia genética de plantas de interesse para a sociedade. Em condições naturais, a agrobactéria causa tumores em plantas dicotiledôneas (plantas que mostram, após a germinação, duas pequenas folhinhas, por exemplo feijão e cenoura. Plantas como o milho ou o trigo, que mostram, após a germinação, somente uma folhinha, são chamadas de monocotiledôneas). Estes tumores são conhecidos desde a primeira metade do século XIX e, na época, foram chamados de “papos” (*nomen est omen!*). Hoje, estes tumores são conhecidos como “galhas de coroa”, e inicialmente foram considerados um modelo interessante para investigar os fatores que causam tumores e como estes

podem se desenvolver. Durante estas investigações, estabeleceu-se que a entidade molecular responsável pela formação dos tumores em plantas é um plasmídeo. Lembrem-se: plasmídeos são elementos circulares do material genético de bactérias (vide o desenho na página 40). O que a agrobactéria faz é um espetacular ato de “colonização genética”. Veja bem a nossa ilustração. Durante a infecção, um pedaço do plasmídeo é infiltrado no próprio genoma da planta hospedeira. Genes responsáveis pela formação de tumores, presentes no DNA do plasmídeo, começam a funcionar. As células da planta hospedeira passam então a se dividir descontroladamente e a sintetizar substâncias que são essenciais para a sobrevivência da própria agrobactéria que causou o tumor.

Alguns representantes da comunidade científica se perguntaram se esta capacidade da agrobactéria, de inserir parte

de seu material genético em plantas, não poderia ser utilizada para introduzir outros tipos de genes. Eles, então, substituíram aqueles genes responsáveis pela formação dos tumores (afinal: quem quer comer um tumor?) por outros de interesse econômico, por exemplo, os que têm alto valor nutricional. Quando a bactéria modificada é colocada na presença de células vegetais, ela introduz o transgene nas mesmas. Em seguida, sob condições especiais de laboratório, estas células se dividem formando uma nova planta, contendo e expressando o transgene de interesse. A estratégia funciona: nossa planta-modelo produz sementes com um valor nutricional elevado. Isto é ilustrado na próxima figura, na página 47. Veja bem, neste caso, os cientistas não inventaram nada de novo; apenas um mecanismo já existente na natureza foi modificado e utilizado em benefício da sociedade.



A artilharia biológica leve

É claro que a técnica anteriormente mencionada só funciona para plantas e, em particular, para as do tipo dicotiledônea. Para células animais e bactérias, outros sistemas são utilizados. Uma das técnicas usadas para introduzir genes em células é baseada na invenção de outro monge, o franciscano Bertoldo Schwarz, que inventou, no fim do século XIV, a pólvora. A ilustração mostra uma fotografia tipo Polaróide, do ilustre monge, meio segundo após a sua descoberta!

Sim, senhor, a pólvora! A engenharia genética, ao invés de projéteis de chumbo, utiliza microprojéteis de ouro ou tungstênio encrustados com os genes. Esta munição biológica é acelerada com pólvora (como em revólveres) ou gás sob pressão. Os alvos são as células a serem transformadas. Os genes situados nos projéteis entram nas células e se integram no genoma celular. Confessamos: uma metodologia belicosa, mas funciona! Entretanto, outras técnicas também cumprem este papel!



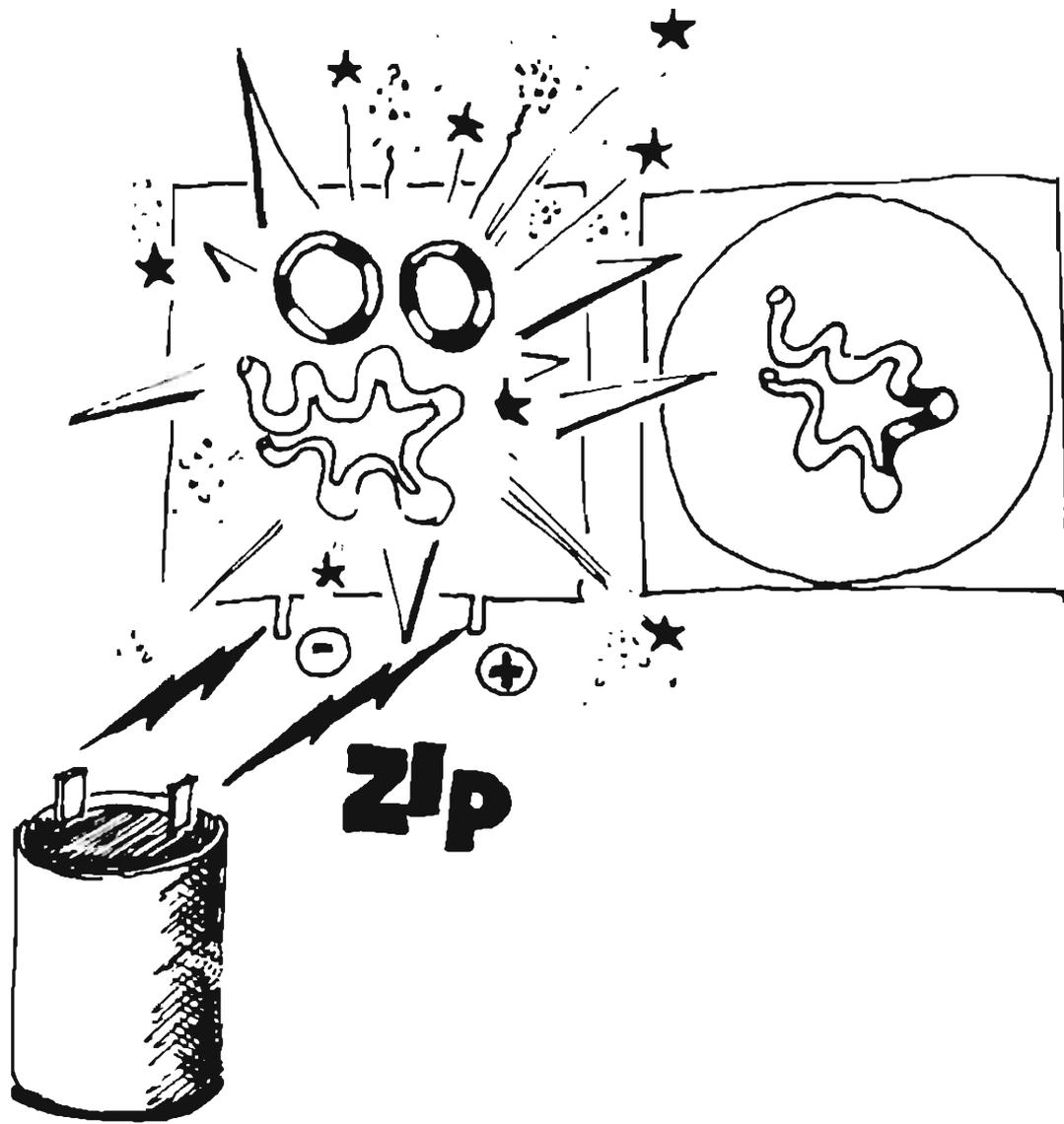


Os choques elétricos

Na psiquiatria, o tratamento com choques elétricos não é mais considerado adequado, moderno ou eficaz, e, conseqüentemente, é cada vez menos utilizado para este fim. Entretanto, o princípio do método serve bem para a transformação de células. Neste caso, as células a serem transformadas nadam em um líquido que contém os genes que se deseja introduzir. Um choque de alta voltagem é aplicado por curtíssimo tempo, causando uma alteração na parede celular, o que permite que os genes entrem na célula e, subseqüentemente, se integrem no genoma. Desta maneira, células de qualquer proveniência podem também ser transformadas.

Resumo? Resumol

Estas três tecnologias permitem a manipulação de todos os tipos de material vivo. Pode-se ver que nenhuma das tecnologias usadas é sinistra, perigosa ou incompreensível. Todas são baseadas em resultados de pesquisa em genética molecular, fisiologia de microrganismos, fisiologia vegetal e animal, e da interação entre microrganismos e plantas.



Biotecnologia na sociedade

O impacto da biotecnologia na sociedade ocorre principalmente na agricultura, na saúde, na produção de medicamentos e substâncias básicas e na proteção ambiental.

A título de ilustração, apresentaremos alguns exemplos práticos resultantes desta biotecnologia.

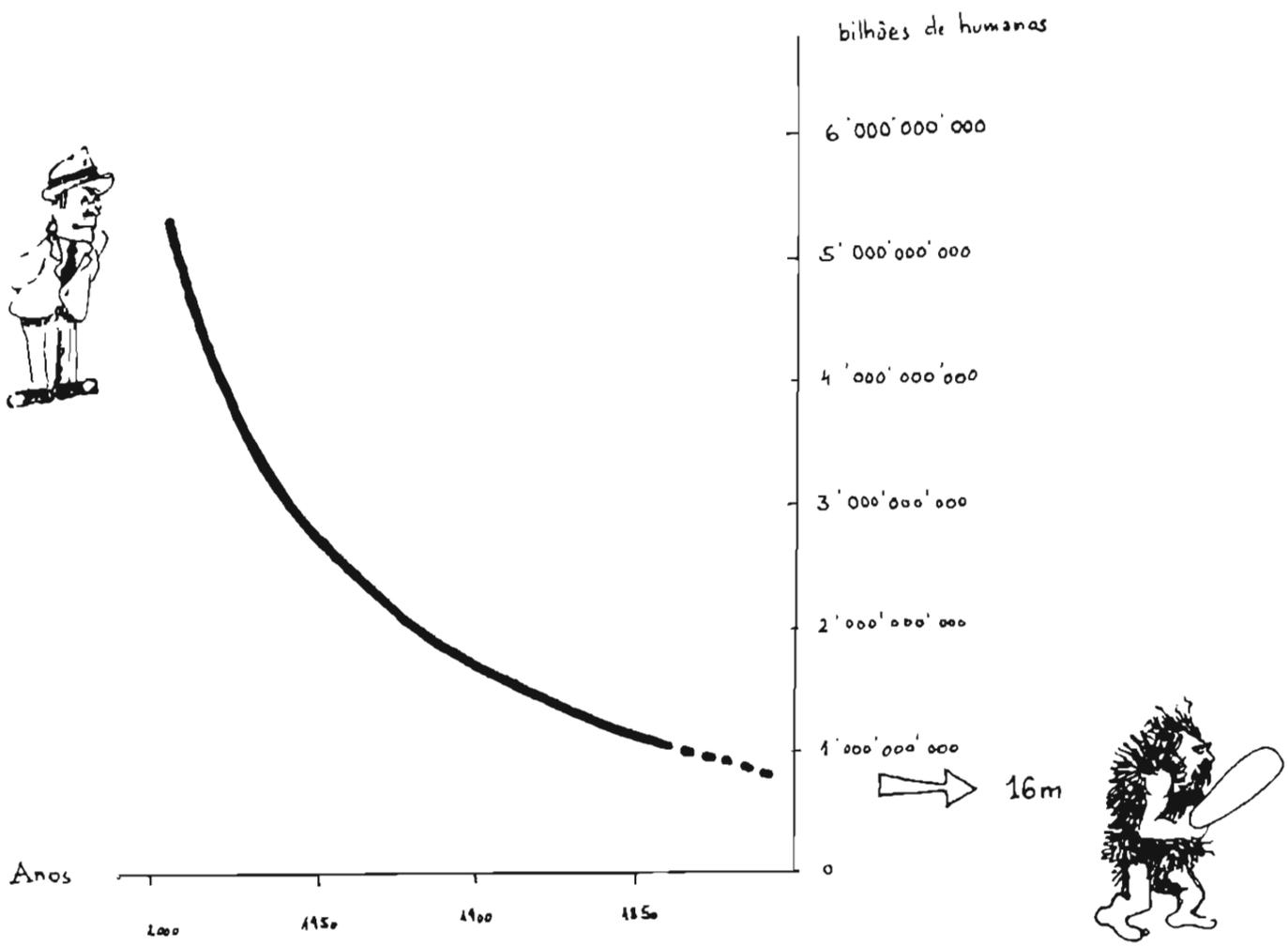
Agricultura

Mencionamos, no início, que a agricultura é fundamental para a sociedade. Entretanto, enquanto a população mundial cresce de uma maneira alarmante, a superfície disponível para a produção da matéria-prima necessária para a alimentação desta população permanece constante (cenário otimista), ou está diminuindo (cenário realista).

Estamos conscientes de que a biotecnologia não pode con-

trolar a explosão demográfica, isto somente pode ser resolvido através de mudanças sociais e culturais. Mas a biotecnologia pode, pelo menos, abrir caminhos para otimizar o uso do espaço disponível para a agricultura. E, desde que a possibilidade de manipular genes de plantas virou realidade, é exatamente isto que vem sendo feito. Alguns exemplos: existem, hoje em dia, algodão com fibras de melhor qualidade, plantas mais saborosas ou com composição oléica melhorada; feijão e soja com maior valor nutricional, ou ainda, plantas (como algodão, batata, couve e tomates) resistentes a doenças ou a insetos predatórios. Também já estão à disposição do público tomates que demoram a apodrecer.

À primeira vista, todas estas manipulações visam o melhoramento nutricional ou o aumento da produtividade, que, desde os tempos antigos, vêm sendo os objetivos principais dos agricultores.



A seta horizontal e a marca "16m" significam que o eixo horizontal deveria ter 16 metros de comprimento para chegar ao homem neandertaliano; não existem páginas com este comprimento! Desculpe!

Saúde

Cem anos atrás, pneumonia ou gripes eram doenças letais. Hoje, graças aos antibióticos, nenhuma dessas doenças é considerada incurável. Atualmente, existem outros problemas, como os cânceres e as infecções virais, por exemplo. Na terapia dessas doenças, os chamados interferons ocupam posição-chave. Antes do advento da tecnologia do DNA recombinante, o maior problema na utilização dos interferons era a quantidade destes à disposição. Precisava-se de 50 mil litros de sangue humano para isolar 400 miligramas de interferon. Os custos para a produção desta quantidade ínfima eram de 20 milhões de dólares! Obviamente, interferons eram exclusivamente para a elite!. Em 1980, o primeiro gene codificante para esta substância salvadora foi clonado por um suíço, Charles Weissmann (que passou a sua infância em São Paulo), a par-

tir de células humanas. O gene foi introduzido em bactérias e, hoje em dia, a substância terapêutica é sintetizada em grande quantidade e purificada a partir desta bactéria. É óbvio que desta maneira não somente os custos de produção puderam ser reduzidos substancialmente, mas também quantidade suficiente do material está à disposição para a pesquisa médica e molecular sobre os mecanismos de ação dessa substância.

Usando esta mesma estratégia, outros produtos biotecnológicos de óbvio benefício para a sociedade também foram conseguidos: vacinas contra malária e hepatite B, hormônios como a insulina e o hormônio de crescimento. Em um fermentador (vasilhame no qual bactérias são cultivadas) de somente 100 litros, bactérias produzindo, por exemplo, hormônio de crescimento, podem ser cultivadas para abastecer a necessidade mundial.

Outra frente é acionada com microrganismos que seletivamente despoluem terras industrialmente poluídas. Esta área tem progredido bastante e ainda pode-se esperar muitos resultados e informações das pesquisas realizadas neste campo.

E os riscos?

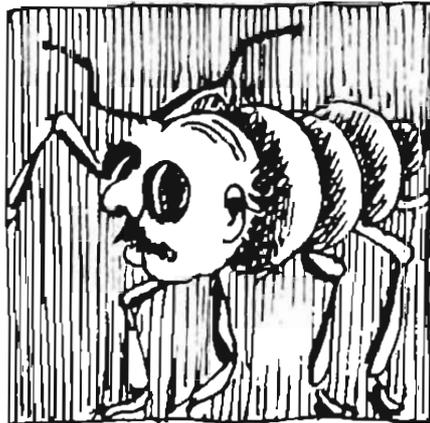
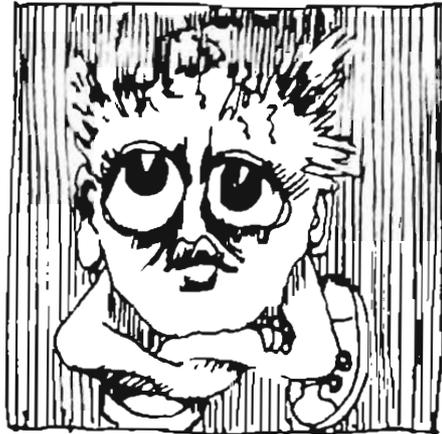
Não há dúvida, a tecnologia do DNA recombinante já ocupa uma posição-chave. Porém, somente no século XXI o impacto destas tecnologias na indústria, agropecuária, saúde e ciências naturais será completamente evidente.

Hoje em dia, a biotecnologia exemplifica o dilema do progresso tecno-científico: grandes possibilidades e riscos difíceis de avaliar são colocados lado a lado, esperanças e medos coexistem quase que inseparavelmente.

A maioria dos exemplos citados anteriormente, dos remédios e drogas, essenciais para

a saúde humana, é produzida via engenharia genética e claramente mostra alguns dos benefícios desta tecnologia. Em outros casos, é necessário progredir com cuidado.

Algumas preocupações com as possíveis conseqüências da biotecnologia, realmente, não têm base, nem fazem sentido. Os monstros desenhados ao lado não podem ser criados. Manipular seres humanos para produzir, ou melhor, clonar, classes do tipo “guerreiro”, “escravo” ou “intelectual”, no sentido de criar uma forma de racismo dirigido, não é possível. Seres humanos são mais do que a soma das características codificadas no genoma particular. Em outras palavras: não existe o gene “Kung-Fu” ou “Van Damme” e também não existe o gene “Madre Teresa”. A maneira como nos apresentamos e somos percebidos por nosso ambiente social não é descrita ao nível do DNA. Monstros como os que se encontram na página 57 não





merecem a nossa preocupação!

Também não faz sentido investir imaginação, dinheiro e tempo na criação de, digamos, novas bactérias patogênicas para uso em guerras biológicas. Os microrganismos patogênicos naturais que existem no mundo são suficientes para satisfazer a ambição de qualquer comandante de tropas especializadas para a guerra biológica.

Então há ou não há riscos ou perigos na aplicação da tecnologia do DNA recombinante?

Sim, existem riscos, mas não no que diz respeito aos exemplos drásticos que foram acima citados e que, infelizmente e por falta de informação, preocupam a maioria dos “pedestres biotecnológicos”.

Existem vários exemplos que mostram que uma descoberta aparentemente benéfica para a sociedade se torna, a longo

prazo, uma faca de dois gumes. O DDT por exemplo: a ação inseticida desta substância foi descoberta em 1939 por Paul Hermann Mueller, que recebeu o prêmio Nobel por seu trabalho. Por anos seguidos, foram imensas as esperanças de que a malária, doença transmitida por mosquitos, pudesse ser erradicada graças à ação inseticida do DDT. Bem, funcionou por um certo tempo. Porém, não somente existem hoje pelo menos mais do que 100 cepas de mosquitos, vetores da malária, resistentes a este inseticida, mas também foi provado que o DDT é altamente tóxico para pássaros e peixes (em pássaros ele causa a produção de cascas de ovos extremamente finas, o que levou várias espécies à margem da extinção). Enquanto, nos anos 80, a quantidade de DDT usada aumentou, o seu efeito diminuiu consideravelmente. O que nós podemos aprender deste exemplo? Bem, basicamente três coisas. A primeira é que cada invenção

e cada técnica que influenciem o equilíbrio existente entre formas de vida têm de ser testadas extensivamente antes da aplicação em grande escala. No caso do DDT, seria o equilíbrio entre o patógeno que causa a malária, o hospedeiro humano e o mosquito.

O segundo ponto é que, em muitos casos, a substância em questão não age somente sobre o alvo desejável, o mosquito, mas tem efeitos devastadores para outras espécies.

E o terceiro ponto é que a relação custo/benefício deve ser questionada. Durante a aplicação do DDT, milhares de vidas humanas foram salvas; por outro lado, cepas de mosquitos resistentes foram criados e pássaros extintos. No caso do DDT, estas questões não são mais tão relevantes, afinal, não adianta chorar sobre o leite derramado! Entretanto, este caso pode servir como exemplo para estabelecer as nossas atitudes em relação aos produtos criados através da engenharia genética.

Os aspectos que devem ser considerados, quando um organismo geneticamente manipulado é introduzido no ambiente, são múltiplos e complexos. Porém, estes organismos devem ser avaliados de acordo com as propriedades biológicas e não segundo a metodologia usada para obtê-los. A modificação genética de um organismo não é necessariamente perigosa. Se, por exemplo, uma planta transgênica exprime um transgene que codifica uma proteína de reserva modificada, é muito provável que esta característica nova não altere o potencial de sobrevivência desta planta de uma maneira substancial. Não terá conseqüências para o ambiente, o ecossistema e outras espécies.

Por outro lado, plantas transgênicas resistentes a herbicidas ou a insetos poderiam se tornar ervas daninhas. Entretanto, até hoje, isto nunca aconteceu. Mas são possibilidades que devem ser consideradas.

É importante lembrar que quase todas as plantas cultivadas atualmente são espécies que foram geneticamente alteradas através das tecnologias da agricultura clássica. O milho, por exemplo, foi domesticado há milênios de anos, no México; as batatas foram domesticadas há 8000 anos, na fronteira entre o que é hoje a Bolívia e o Peru. A maioria das espécies domesticadas não pode mais sobreviver, ou seja, competir com a vegetação silvestre.

Outro fato relacionado com a domesticação das plantas através das técnicas convencionais da agricultura, é que sempre o conjunto genético de uma variedade é cruzado com o de outro organismo. Assim, inevitavelmente, características desejáveis são introduzidas na progênie junto com características indesejáveis. Com a tecnologia do DNA recombinante é possível, seletivamente, transferir uma única característica. Assim, a chance

de introduzir ou criar organismos com propriedades indesejáveis parece ser menor do que com as técnicas convencionais. Mas sempre tem um “porém”. Enquanto esta nossa afirmação é **provavelmente** correta, o “porém” consiste no fato de que, com as técnicas convencionais, a transferência e a recombinação de caracteres só podem ocorrer entre indivíduos de uma mesma espécie. No caso da engenharia genética, as características podem ser transferidas entre espécies não-relacionadas. Neste caso, é difícil fazer um prognóstico sobre as conseqüências da liberação de organismos transgênicos no meio ambiente.

Como já foi mencionado acima, a tecnologia do DNA recombinante é a tecnologia dos próximos séculos, mas os benefícios já existentes são enormes. A estratégia, então, não pode ser o abandono destas possibilidades promissoras apenas porque existem riscos.

Pelo contrário, a estratégia deve ser aproveitar ao máximo estas possibilidades, mas dentro de regulamentos rigorosos de avaliação dos possíveis efeitos da liberação dos organismos transgênicos na natureza. Esta avaliação deve abranger experimentos nos laboratórios e no campo, em pequena escala. Em seguida, é preciso que as consequências ecológicas sejam avaliadas da maneira mais rigorosa possível. Em particular, as questões da sobrevivência e da reprodução do novo organismo e suas interações com o ecossistema e todos os outros organismos do ambiente são de grande importância. Neste contexto, é importante lembrar que a natureza sempre seleciona espécies que têm uma chance de sobrevivência elevada. Além disto, após a liberação, controles periódicos devem ser efetuados.

Todos estes controles exigem esforços multidisciplinares nos quais representantes das

ciências biológicas interagem com colegas das ciências sociais.

Outro aspecto importante é que organismos não reconhecem fronteiras políticas. Conseqüentemente, controles e regulamentos devem ser criados com uma visão internacional. Os métodos de DNA recombinante são direcionados para o benefício da humanidade, e seria desejável que, pelo menos no que diz respeito à regulamentação destas tecnologias, o conceito da “aldeia global” fosse levado em consideração.

Métodos, inovações e novos processos são sempre neutros, não existem métodos “maléficos”, invenções “perigosas” ou inovações que “melhor que nunca tivessem sido feitas”. “Mal” ou “Bem” é, em última análise, uma decisão e responsabilidade de toda a sociedade: cientistas, industriais, camponeses, donas-de-casa, enfim de **todos nós!**

É importante que a comunidade científica e os representantes das indústrias biotecnológicas assumam a responsabilidade social de informar a sociedade a respeito dos métodos e dos possíveis riscos da biotecnologia. Esta atitude promoverá uma discussão objetiva com relação aos rumos desta potente tecnologia de que dispomos atualmente.

O último capítulo foi bastante pesado; para finalizar, vamos aliviar a tensão e apresentar a receita do prato que Mendel gostava de comer aos domingos:

Ceské knedlíky

Ingredientes:

500 g de farinha de trigo
150 ml de água
150 ml de leite
1 ovo
uma colher de chá de fermento
5 pães endurecidos
50 g de margarina
sal

Modo de fazer:

Misturar o ovo, o leite, a água e o sal. Acrescenter aos poucos a farinha e o fermento.

Cortar os pães em pequenos cubos e dourar na margarina.

Juntar a massa com os pães. Repartir em três porções formando bolas.

Cozinhar em água fervente, com sal, por 15 min., virar e cozinhar por mais 15 min.

Cortar em fatias, servir acompanhado de ervilhas!

Dobrou chut!

GLOSSÁRIO

Ácido nucléico: material químico composto de três componentes: ácido fosfórico, açúcar e bases nitrogenadas.

Aminoácidos: as 20 unidades básicas das proteínas.

Antibiótico: substância química sintetizada por microrganismos. É capaz de impedir a proliferação de bactérias.

Bases nitrogenadas: substâncias químicas (neste texto, as bases adenina, timina, citosina e guanina) que são as letras do alfabeto genético.

Célula: a unidade básica que compõe os seres vivos.

Citoplasma: o material entre o núcleo e a membrana celular.

Clone: grupo de células descendente da mesma célula mãe.

Clonagem molecular: isolamento e propagação, em bactérias, de um pedaço de informação genética específica.

Código genético: sequências de três bases que especificam determinado aminoácido em uma proteína.

Cromossomos: estruturas filamentosas onde estão armazenados os genes de um determinado organismo.

DNA: Abreviação inglesa para **Desoxyribonucleic acid**, o material genético.

Engenharia genética: conjunto de técnicas e métodos que permitem a manipulação do material genético.

Enzimas: proteínas que promovem reações químicas.

Enzimas de restrição: enzimas que cortam o material genético em lugares definidos.

Evolução: conceito biológico sobre o desenvolvimento da vida na terra através de mutações do material genético e seleção das formas mais aptas para a sobrevivência. Este desenvolvimento permitiu a transição de formas simples para formas mais complexas durante os três a quatro bilhões de anos de vida na terra.

Fermentação: processo de transformação de açúcar em álcool, ácidos ou gases feito através de microrganismos.

Gene: pedaço de material genético que codifica para uma proteína definida ou um RNA.

Genoma: conjunto das informações genéticas de um dado organismo.

Hepatite: doença no fígado causada por vírus.

Híbridos: descendentes gerados a partir do cruzamento entre indivíduos com características genéticas diferentes.

Hormônios: substâncias sintetizadas em glândulas com várias tarefas fisiológicas.

Insulina: hormônio que regula o nível de açúcar no sangue.

Interferons: substâncias que previnem as células de uma infecção viral.

Knedlíky: comida típica tcheca.

Ligase: enzima usada para a ligação de moléculas de ácidos nucleicos.

Mutação: modificação química, herdável, do material genético.

Núcleo: compartimento celular onde o material genético é armazenado.

Patógeno: organismo capaz de causar doenças.

Plasmídeo: material genético circular não integrado no cromossomo de bactérias.

Proteínas: substâncias químicas que consistem de unidades conhecidas como aminoácidos. São sintetizadas nas células a partir das informações contidas no material genético.

Quilmera: organismo formado de várias partes geneticamente diferentes.

RNA: abreviação inglesa para Ribonucleicacid.

Tecnologia do DNA recombinante: a totalidade de métodos que, através de técnicas de biologia molecular, permitem a manipulação do material genético.

Transgene: genes a serem transferidos para um organismo hospedeiro.

Transgênico: adjetivo que descreve organismos nos quais foi inserido o transgene.

Tumor: conjunto de células que se dividem de uma maneira descontrolada.

Vírus: estrutura biológica composta de proteínas e ácidos nucleicos. Multiplicam-se em células animais ou vegetais podendo, assim, causar doenças.



Impressão: EMBRAPA-SP1