
ENSINO MÉDIO

– 3º ANO –

BIOLOGIA

VOLUME 1

Apostila do 3º ano do Ensino Médio, escrita pelo Instituto São Carlos Borromeu. O conteúdo é indicado para estudo individual domiciliar, apoio escolar ou como material didático escolar.



BIOLOGIA



AULA 01

GENÉTICA



s filhos geralmente se parecem com os pais. Observamos isto em nós mesmos e em outras famílias, mas também nos animais e nas plantas cultivadas. Essa semelhança sempre foi utilizada racionalmente em benefício da humanidade: para fazermos mudas de árvores frutíferas, plantamos a semente da melhor fruta; para procriar o gado ou as galinhas, deixamos os animais mais bonitos se reproduzirem. É assim com tudo aquilo que o ser humano sempre precisou da natureza.

Esta forma de manejar os animais domésticos eram feitos sem se conhecer os mecanismos da hereditariedade, até porque não parecia haver uma regra confiável. Em nós, seres humanos, parece haver algo curioso, pois muitas vezes acontece uma verdadeira mistura de características. Às vezes herdamos a cor dos olhos de nosso pai, o formato do rosto de nossa mãe, a forma da orelha de um tio ou tia, ou nosso cabelo é uma mistura do cabelo crespo de nossa mãe com o liso de nosso pai.



Em toda família há alguma semelhança entre os pais e os filhos. Na família Martin, não poderia ser diferente.

Talvez, para nós que, de certa forma, estamos habituados aos conceitos de DNA, genes, cromossomos, divisão celular, etc., seja mais fácil de entendermos como se dão estas características. Contudo, estes conhecimentos são recentes.

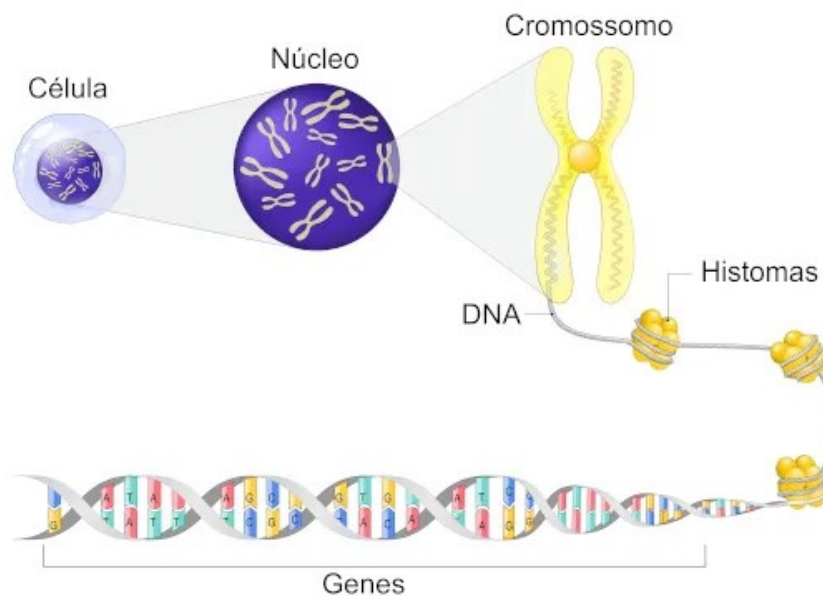
A base dos conhecimentos do que chamamos de genética começou a ser descoberta a partir de 1865, com os trabalhos do monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884), cujas experiências começaram a esclarecer os mecanismos da hereditariedade. Foi ele quem previu a existência de genes, que chamava de “fatores”. Estudaremos estes conceitos mais adiante.

FUNDAMENTOS DA GENÉTICA

A genética estuda a hereditariedade e os genes. A hereditariedade é a transmissão de caracteres de uma geração à outra. Os genes são estes caracteres ou informações que cada ser vivo recebe de seus progenitores e que contribuem para definir as características de cada organismo.

Os genes são as unidades de informação genética presentes no DNA. O DNA, é composto por uma fita em forma de dupla hélice; esta dupla hélice é uma sequência de quatro tipos de bases nitrogenadas: adenina (A), timina (T), guanina (G) e citosina (C), ligadas entre si (adenina sempre se liga com timina (A—T) e guanina sempre se liga com citosina (G—C)).

Essa fita de DNA está extremamente empacotada e formam os cromossomos. Os cromossomos ficam no núcleo das células eucarióticas. Abaixo mostramos um esquema:



Todos os seres vivos apresentam um material genético que é transmitido de uma geração à outra; no caso das pessoas humanas, materialmente, se dá da mesma forma. Nossos pais ao nos gerarem, transmitem a nós o corpo, parte material, enquanto Deus intervém criando cada alma humana, a parte espiritual.

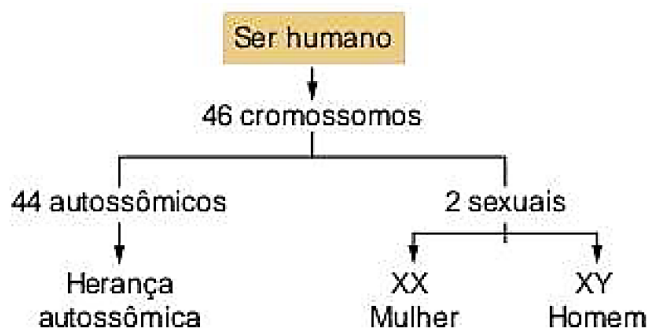
A formação do corpo que recebemos vem da união da célula da mãe (gameta denominado ovócito) com a célula que vem do pai (gameta denominado espermatozoide). Após a união desses gametas, forma-se a primeira célula, o zigoto, que originará todas as outras células do corpo. Todas as células, portanto, têm o mesmo material genético, uma vez que se originaram da primeira célula (zigoto), que se formou a partir dos gametas da mãe e do pai.

As células gaméticas (ovócito e espermatozoide) são formadas através de um processo de divisão celular chamado meiose. E a multiplicação do zigoto em todas as células do corpo, através de outro processo de divisão celular, é chamado mitose. Já sabemos o que é a meiose e a mitose, mas estes serão pormenorizadamente estudados nas aulas finais desse curso de biologia.

Cada espécie apresenta um conjunto de cromossomos característicos, este conjunto é chamado de cariótipo.

O ser humano, por exemplo, apresenta normalmente 23 pares de cromossomos (cr), ou seja, 46cr, dos quais 23cr são provenientes do pai e 23cr são provenientes da mãe. As células somáticas (que são todas as células que compõem o corpo, são células diploides $2n$), apresentam 46 cromossomos, enquanto as células gaméticas (chamadas de células haploides n), apresentam 23 cromossomos, para que ao se juntarem com o outro gameta originem uma nova pessoa, com $2n = 46cr$.

Um destes pares de cromossomos determina o sexo da pessoa, são os cromossomos sexuais. Na mulher, há dois cromossomos sexuais X (XX) e no homem há um cromossomo X e um Y (XY). Os demais 44 cromossomos são denominados autossômicos.



Tipos de cromossomos dos seres humanos.

O cariótipo humano, por exemplo, pode ser representado pela seguinte imagem:

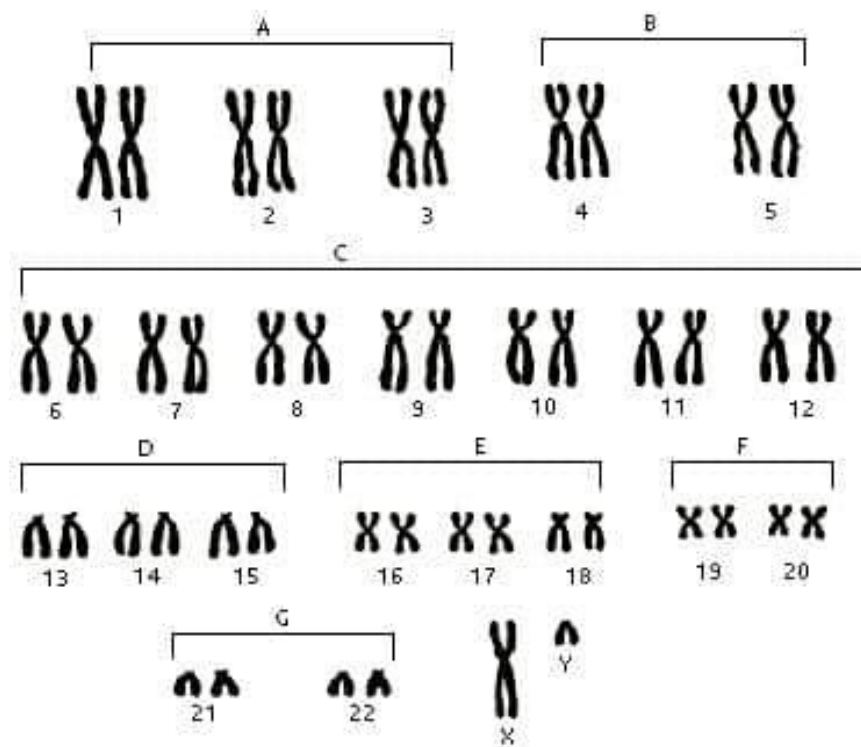
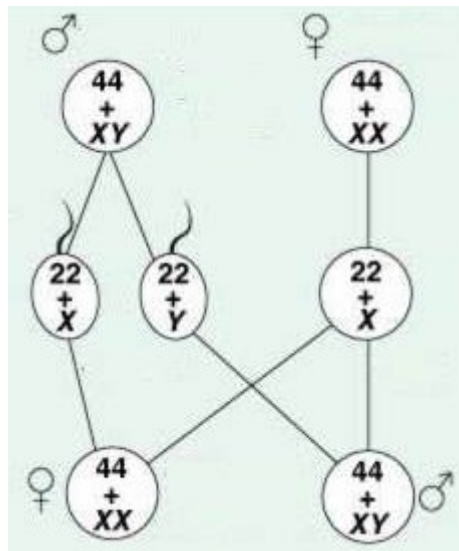


Imagem típica do cariótipo humano. No cariótipo os cromossomos são sempre organizados do maior para o menor – cr 1 é o maior e o cr 22 é o menor – e com seus respectivos pares, metade vindos da mãe e metade do pai. Os últimos são sempre os cromossomos sexuais, neste caso XY, por se tratar de um homem.

Nas células somáticas das mulheres não há cromossomos Y e nas células somáticas dos homens sempre haverá um cromossomo X e um Y.

Já as células gaméticas, que são haploides (n), possuem apenas um par de cromossomos. Os ovócitos terão sempre o cr X, mas os espermatozoides poderão ter o cr X ou o cr Y.

Desta forma, o que determinará se a criança gerada será menino ou menina é o cromossomo sexual presente no gameta masculino. Se o espermatozoide tiver o cr X, será gerada uma menina e se tiver o cr Y, será gerado um menino.



Mecanismo de determinação do sexo por cromossomos sexuais.

GENÓTIPO E FENÓTIPO

O conjunto de todas as características genéticas de uma pessoa é chamado genótipo. No entanto, as características que apresentamos fisicamente não são determinadas exclusivamente pelos nossos genes, mas também pelo ambiente em que vivemos (contexto, temperatura, luz, etc.).

As características genéticas influenciadas pelo ambiente resultam nas nossas características físicas, que podem ser observadas. O conjunto destas características físicas é chamado de fenótipo (fenótipo = genótipo + ambiente). Sendo assim, podemos concluir que o genótipo de um determinado ser vivo é sempre o mesmo e define características que nunca mudam (como o sexo masculino e feminino), enquanto o fenótipo, pode ser alterado, dependendo do ambiente em que ele se encontra (como a cor da pele, o peso, os gostos, etc.).

Por exemplo: os gêmeos idênticos têm exatamente o mesmo genótipo, ou seja, suas características genéticas são iguais. Mas, caso eles passem a morar em cidades diferentes, com diferentes condições climáticas, como diferentes intensidades de exposição à luz do Sol, eles provavelmente apresentarão diferenças na cor da pele, na quantidade de pintas, etc.

ATIVIDADES

1. Defina os seguintes termos importantíssimos para o estudo de genética:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| a) Genes; | e) Célula haploide; |
| b) DNA; | f) Célula diploide; |
| c) Cromossomos (cr); | g) Genótipo; |
| d) Cariótipo; | h) Fenótipo. |



AULA 06

SEGUNDA LEI DE MENDEL



m nosso estudo de genética, até este momento, trabalhamos com a herança de uma única característica, analisada isoladamente, como o sistema sanguíneo e a cor do pelo de roedores. Estes estudos são aplicações do monohibridismo que é explicado através da Primeira Lei de Mendel. No entanto, evidentemente os seres vivos apresentam muitos caracteres diferentes simultaneamente e é possível que, alguns destes caracteres, sejam determinados por genes situados em diferentes pares de cromossomos homólogos.

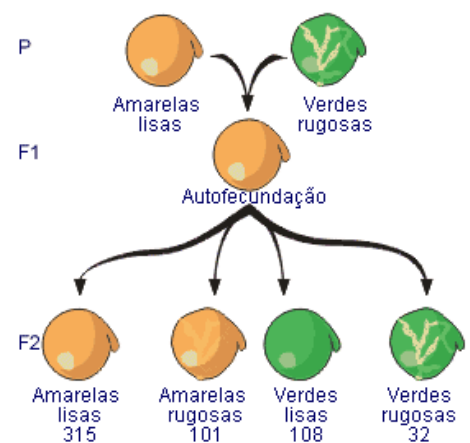
Aqui já estamos tratando de di-hibridismo, que se encontra no âmbito da Segunda Lei de Mendel, também conhecida como Lei da Segregação Independente.

AS EXPERIÊNCIAS DE MENDEL

Em um de seus experimentos, Mendel estudou juntas a transmissão da cor da semente e da forma.

As plantas cruzadas eram homozigotas para as duas características: ervilhas amarelas e lisas foram cruzadas com ervilhas verdes e rugosas. Em F₁, todas as plantas tinham sementes amarelas e lisas. Por autofecundação, em F₂, apareceram indivíduos com os fenótipos parentais; porém surgiram também indivíduos com fenótipos novos (amarelas rugosas e verdes lisas). Por causa disso, Mendel concluiu que havia independência na transmissão dos caracteres; em outras palavras, o caráter cor da semente (amarela ou verde) não está ligado ao caráter forma da semente (lisa ou rugosa).

Do total de 556 sementes obtidas, 315 eram amarelas e lisas; 101 amarelas e rugosas; 108 verdes e lisas e 32 verdes rugosas. Resultavam, portanto, todas as combinações possíveis entre cor e forma.



Experiência de Mendel que analisa dois caracteres.

Mendel propôs um modelo teórico para explicar seus resultados. Sejam os fatores V e v responsáveis, respectivamente, pelas cores amarela e verde, e sejam R e r responsáveis pelas formas lisa e rugosa. As plantas da geração P são puras (VVRR e vvrr). Os gametas recebem um gene só para cada caráter, e são VR e vr. A fecundação origina em F₁ plantas com sementes amarelas e lisas, porém diíbridas (VvRr).

Se realmente os fatores (genes) para cor e para forma se separam de modo independente, essas plantas devem formar quatro tipos de gametas em igual proporção: VR, Vr, vR e vr. Deverão então ocorrer 16 formas de encontros gaméticos em F₂, representados no esquema ao lado.

Assim, se as suposições de Mendel fossem corretas, ele deveria esperar os seguintes resultados:

- $\frac{9}{16}$ amarelas e lisas;
- $\frac{3}{16}$ amarelas e rugosas;
- $\frac{3}{16}$ verdes e lisas;
- $\frac{1}{16}$ verdes e rugosas.

No caso, a proporção fenotípica seria 9 : 3 : 3 : 1.

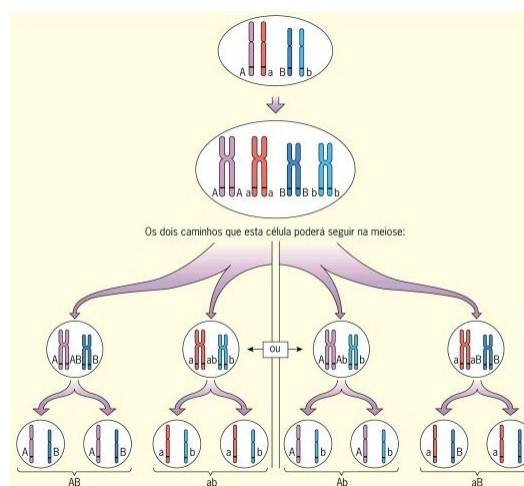
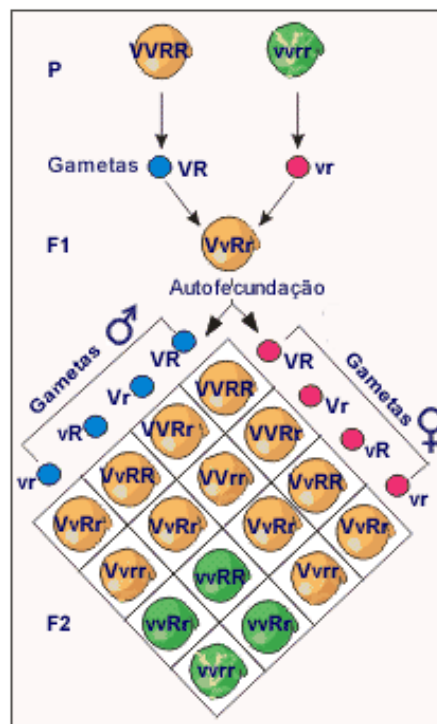
As proporções que Mendel obteve nas 556 plantas de F₂ foram muito próximas das esperadas, com um pequeno desvio. Dessa forma, o modelo estava sendo confirmado.

O mesmo tipo de experimento foi realizado, dois a dois, com os sete caracteres. Todos os resultados obtidos foram semelhantes e confirmavam a segregação independente dos genes para características diferentes. A conclusão deste experimento deu origem à Segunda Lei de Mendel expressa nos seguintes termos:

Os genes para dois ou mais caracteres são transmitidos aos gametas de modo totalmente independente, um em relação ao outro, formando tantas combinações gaméticas quantas possíveis, com igual probabilidade.

Em qualquer situação que esteja envolvido um polibridismo, o primeiro passo é descobrir quais são os gametas possíveis, para depois pensar nos possíveis encontros entre eles.

Suponha que queiramos saber os tipos de gametas de um indivíduo AaBb. Por um lado, em cada gameta formado deverá existir, obrigatoriamente, um dos genes “a” (A ou a) e um dos genes “b” (B ou b), como propõe a Primeira Lei. Por outro lado, a Segunda Lei afirma que a



segregação é independente, ou seja, qualquer um dos genes “a” poderá ser transmitido com qualquer um dos genes “b”.

USANDO PROBABILIDADE

Quando se trabalha com duas, três ou mais características que se segregam de forma independente, não é nada prático fazer os quadros de cruzamentos, eles ficarão enormes e poderemos cometer vários erros ao construí-los. Se estivermos trabalhando, por exemplo, com um tetraíbrido (AaBbCcDd), 16 tipos de gametas serão produzidos, e o quadro, na autofecundação, mostrará 256 possíveis encontros.

Nestes casos, pode-se fazer uso de uma ferramenta matemática: a probabilidade. Imagine que duas plantas de ervilha, que formam sementes amarelas e lisas, heterozigotas (VvRr), são cruzadas entre si. Qual é a probabilidade de aparecerem, entre os descendentes, plantas que formem sementes verdes e lisas?

A princípio tratamos como se fossem dois casos da Primeira Lei, independentes um do outro:

$$\begin{array}{rcl}
 P & & \text{amarela} \times \text{amarela} \\
 & & Vv \quad \times \quad Vv \\
 F_1 & & \begin{array}{ccc}
 VV & Vv & Vv \\
 & & \text{vv} \\
 & & \text{verde}
 \end{array}
 \end{array}$$

A probabilidade é de $\frac{1}{4}$.

$$\begin{array}{rcl}
 P & & \text{lisa} \times \text{lisa} \\
 & & Rr \quad \times \quad Rr \\
 F_1 & & \begin{array}{ccc}
 RR & Rr & Rr \\
 & & rr \\
 & & \text{lisos}
 \end{array}
 \end{array}$$

A probabilidade é de $\frac{3}{4}$.

Assim, $P(\text{verde e liso}) = P(\text{verde}) \times P(\text{liso})$

$$P(\text{verde e liso}) = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$$

Se quiséssemos calcular a probabilidade de nascerem descendentes verdes e rugosos, faríamos o seguinte: probabilidade de verdes = $\frac{1}{4}$; probabilidade de rugosos = $\frac{1}{4}$, portanto:

$$P(\text{verde e rugoso}) = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

Se o problema envolvesse três, quatro ou mais caracteres, o método seria o mesmo. O problema seria transformado em vários casos da Primeira Lei; encontraríamos a probabilidade para cada uma das características pedidas, isoladamente, e, por fim, aplicaríamos a multiplicação das probabilidades.

Imaginemos uma outra situação. Considerem-se três pares de alelos, que determinam as seguintes características na espécie humana:

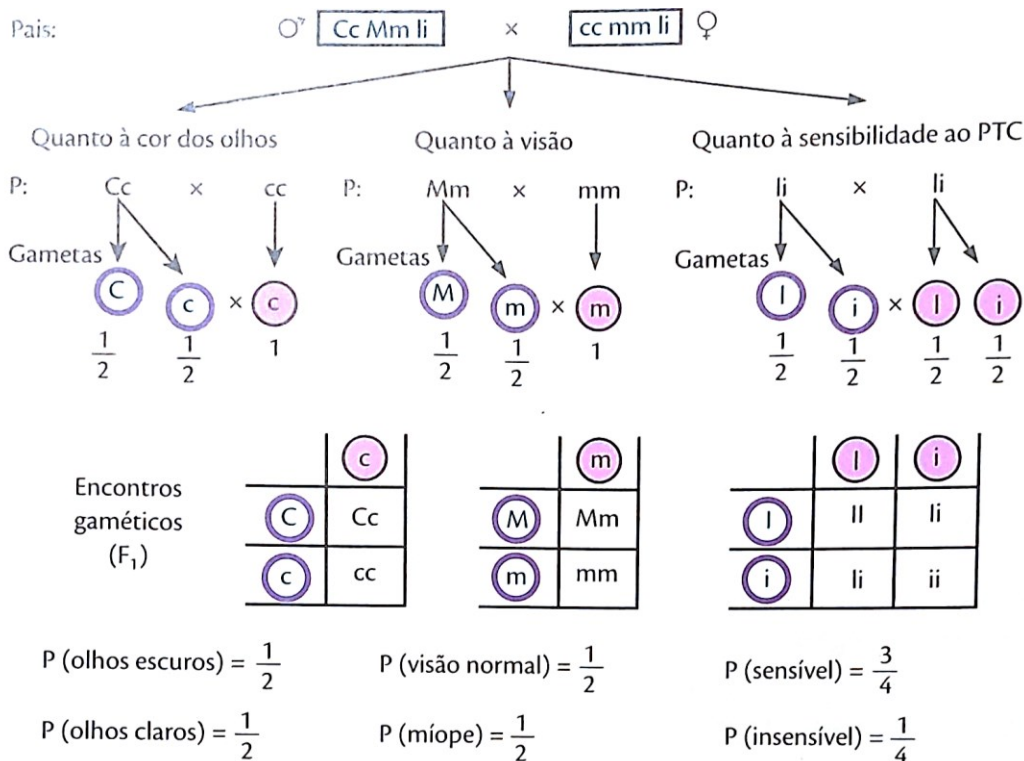
$C \rightarrow$ olhos escuros $M \rightarrow$ visão normal $I \rightarrow$ sensibilidade ao sabro amargo de PTC¹
 $c \rightarrow$ olhos claros $m \rightarrow$ miopia $i \rightarrow$ insensibilidade a esse sabor

Um homem de olhos escuros, de visão normal e sensível ao pTC, heterozigoto para essas três características, casa-se com uma mulher de olhos claros, míope e sensível ao PTC, sendo, porém, heterozigota para essa última característica. Qual é a probabilidade de terem:

- uma criança de olhos claros, visão normal, sensível ao PTC e do sexo masculino?
- uma criança de olhos escuros, míope, insensível ao PTC e do sexo feminino?

Resolução: os passos principais para a resolução desse problema são:

- 1) escrever os genótipos dos pais;
- 2) desmembrar estes genótipos como se estivessemos considerando três cruzamentos independentes, um para cada característica;
- 3) calcular as probabilidades de cada evento isoladamente;
- 4) aplicar a combinação probabilidade para as questões a e b, computando $\frac{1}{2}$ para a probabilidade de menino e $\frac{1}{2}$ para a probabilidade de menina.



a) P (olhos claros e visão normal e sensível ao PTC e ♂) = P (olhos claros) × P (visão normal) × P (sensível ao PTC) × P (♂) =
 $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{32}$

b) P (olhos escuros e míope e insensível ao PTC e ♀) = P (olhos escuros) × P (míope) × P (insensível ao PTC) × P (♀) =
 $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$

¹ PTC é a proteína feniltiocarbamida que possui sabor amargo, mas apenas as pessoas sensíveis a esta substância são capazes de sentir o amargor.

ATIVIDADES

1. Quais as conclusões de Gregor Mendel ao considerar duas características ao mesmo tempo no cruzamento de ervilhas?

2. Copie em seu caderno a Segunda Lei de Mendel.

3. Um indivíduo é heterozigoto quanto a dois pares de genes (Aa e Bb), localizados em diferentes pares de cromossomos. Em relação a esses genes, que tipo de gametas formará e em que proporção?

4. Suponhamos que, em uma planta, a cor branca do fruto seja condicionada por um gene dominante B e a cor amarela, pelo alelo b. A forma discóide é condicionada por um gene dominante E e a forma esférica, pelo alelo e. Cruzando-se uma planta BbEe com outra BBee, qual a probabilidade de aparecimento de exemplares BbEE e BbEe? Considere que a segregação seja independente.

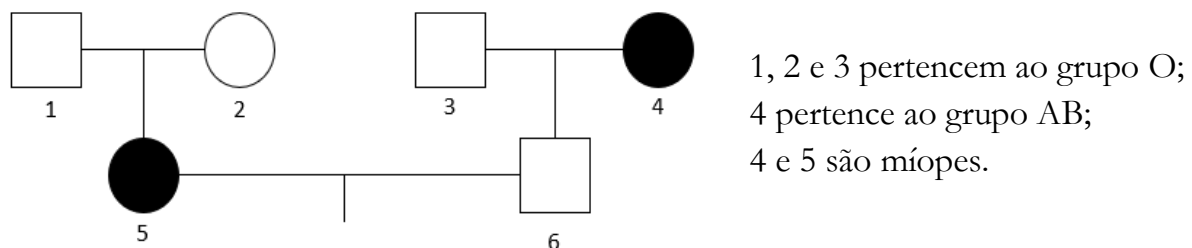
5. Realizou-se o cruzamento entre dois organismos em que quatro pares de genes se segregam independentemente: AABBBCCDD x aabbccdd. Os genes representados por letras maiúsculas são dominantes. Os F₁ obtidos são cruzados entre si. Pergunta-se:

a) Qual é a probabilidade de se obterem indivíduos com os quatro fenótipos dominantes?

b) Qual é a probabilidade de se obterem indivíduos AaBbCcDd?

c) Qual é a probabilidade de se obterem indivíduos aabbccdd?

6. Dois caracteres com segregação independente foram analisados em uma família: grupos sanguíneos do sistema ABO e miopia. A partir dessa análise, obtiveram-se os seguintes dados:



Qual é a probabilidade de o casal 5 x 6 ter uma criança do grupo sanguíneo O e míope?



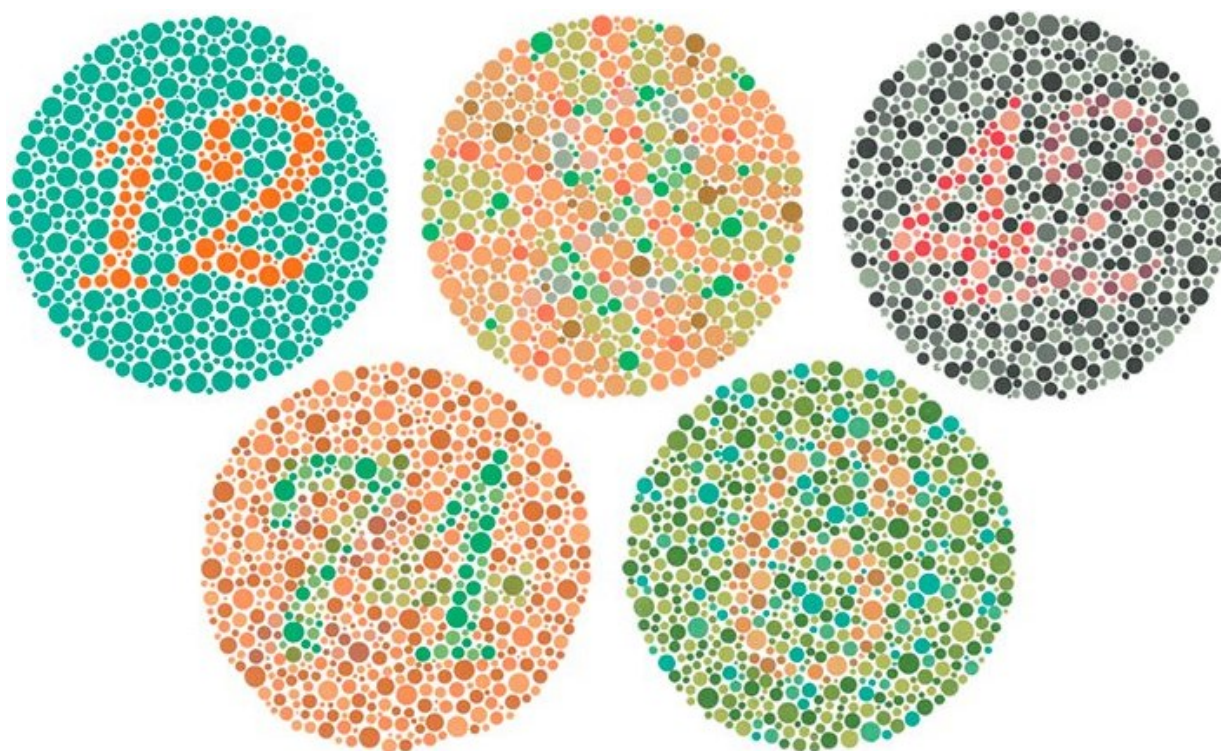
AULA 09

CROMOSSOMOS SEXUAIS



a espécie humana há uma anomalia da visão chamada daltonismo. Os daltônicos se confundem na percepção de algumas cores; muitas vezes não conseguem identificar o verde e o vermelho. O daltonismo é hereditário, no entanto sua transmissão é diferente da transmissão dos caracteres que obedecem à Primeira Lei de Mendel, como o albinismo.

Abaixo há uma série de imagens que podem identificar o daltonismo. Uma pessoa com visão normal identificará os números coloridos dentro dos círculos, já os daltônicos poderão ter dificuldades nesta identificação.

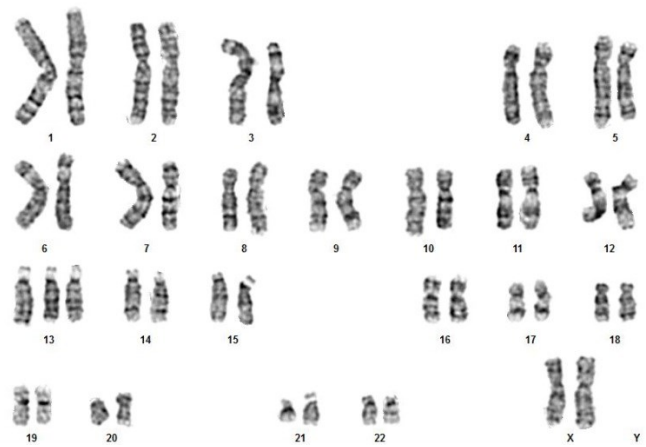


Teste típico de senso cromático para identificação prévia de daltonismo.

Quando um homem daltônico se casa com uma mulher normal, cuja família não apresenta casos de daltonismo, todas as crianças, meninos e meninas, nascem normais. No entanto, quando uma mulher daltônica se casa com um homem normal, embora todas suas filhas nasçam normais, todos seus filhos nascerão daltônicos! Ou seja, no caso dessa característica, importa o sexo de quem transmite o gene e importa também o sexo de quem recebe o gene.

Em caracteres como o albinismo, ou até nos grupos sanguíneos com comportamento mendeliano, não faz diferença nos resultados da descendência, se o gene foi transmitido pelo pai ou pela mãe; além disso, meninos e meninas são igualmente afetados.

A explicação para a transmissão de caracteres como o daltonismo se encontra na composição cromossômica dos homens e das mulheres. Dos 46 cromossomos humanos, 44 são ditos autossomos, e são idênticos em homens e mulheres. Os outros dois são cromossomos sexuais; nas mulheres eles são iguais e denominados X; os homens têm apenas um X e um cromossomo menor, o Y. Os genes que condicionam o daltonismo se localizam nos cromossomos X, na região não homóloga ao cromossomo Y. Isso, por si só, é capaz de explicar esse tipo diferente de transmissão dessa herança.



Fotomicrografia de cariótipo de uma mulher. Observe o par de cromossomos X e a ausência do do Y à direita, embaixo.

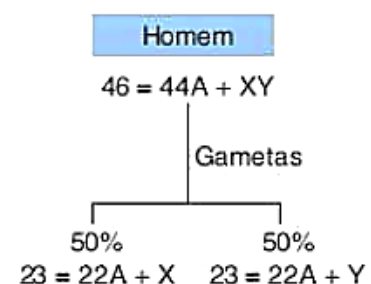
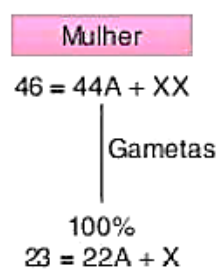
SISTEMA DE DETERMINAÇÃO SEXUAL HUMANO

Entende-se por genoma a totalidade do material genético de um indivíduo ou de uma espécie.

Os 46 cromossomos presentes nas células somáticas (diploide) de um ser humano normal, compreendem 44 autossômicos (A) e dois denominados sexuais, ou alossomos, que são de dois tipos: X e Y. O total de 46 cromossomos humanos é distribuído em 22 pares de cromossomos autossômicos mais um par de cromossomos sexuais, cuja combinação determina o sexo do indivíduo. Tanto a mulher quanto o homem apresentam 44 cromossomos autossômicos, mas o homem tem como cromossomos sexuais a combinação XY, e a mulher a combinação XX. Durante a formação dos gametas, metade dos 46 cromossomos pode ser observada na célula final, sendo 22 autossômicos e um sexual.

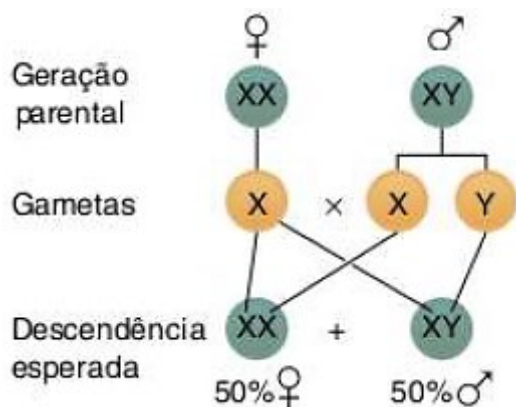
Assim, homem e mulher têm 45 cromossomos em comum, diferindo em um único cromossomo sexual: X na mulher e Y no homem. Dessa maneira, pode-se concluir que, na espécie humana, o sexo feminino produz um só tipo de gameta: é o sexo homogamético; já o sexo masculino forma dois tipos de gametas, sendo o sexo heterogamético.

{ 44 autossômicos (A)
2 sexuais: X e Y



Os tipos de cromossomos em seres humanos.

O sexo dos descendentes depende da combinação formada pelo encontro dos gametas. O óvulo tem apenas cromossomos X e os espermatozoides que o homem produz podem apresentar cromossomos X ou Y, sendo metade de cada tipo. Dessa maneira, é o gameta do pai que determina o sexo dos descendentes do casal.



Determinação do sexo em humanos.

Esse sistema de determinação sexual com base nos cromossomos X e Y (sistema XY) ocorre nos mamíferos e na drosófila, famosa mosca-das-frutas. Mas existem outros sistemas de determinação sexual nos seres vivos.

OUTROS SISTEMAS DE DETERMINAÇÃO SEXUAL

Como dissemos, há outros sistemas de determinação do sexo dos indivíduos, como os sistemas X0 (zero) e ZW.

Sistemas	X0		ZW	
Sexo	♀	♂	♀	♂
Geração parental	XX	X	ZW	ZZ
Gametas	X	X -	Z W	Z
Descendência esperada F1	XX ♀ 50%	X- ♂ 50%	ZZ ♂ 50%	ZW ♀ 50%

SISTEMA X0

O sistema X0 ocorre em percevejos e gafanhotos; além dos autossômicos, a fêmea tem dois cromossomos X (XX), enquanto o macho tem apenas um cromossomo X (X).

SISTEMA ZW

O sistema ZW ocorre em muitas aves, em borboletas e em mariposas.

Além dos autossômicos, cada indivíduo possui dois cromossomos sexuais: a fêmea é ZW e o macho é ZZ.

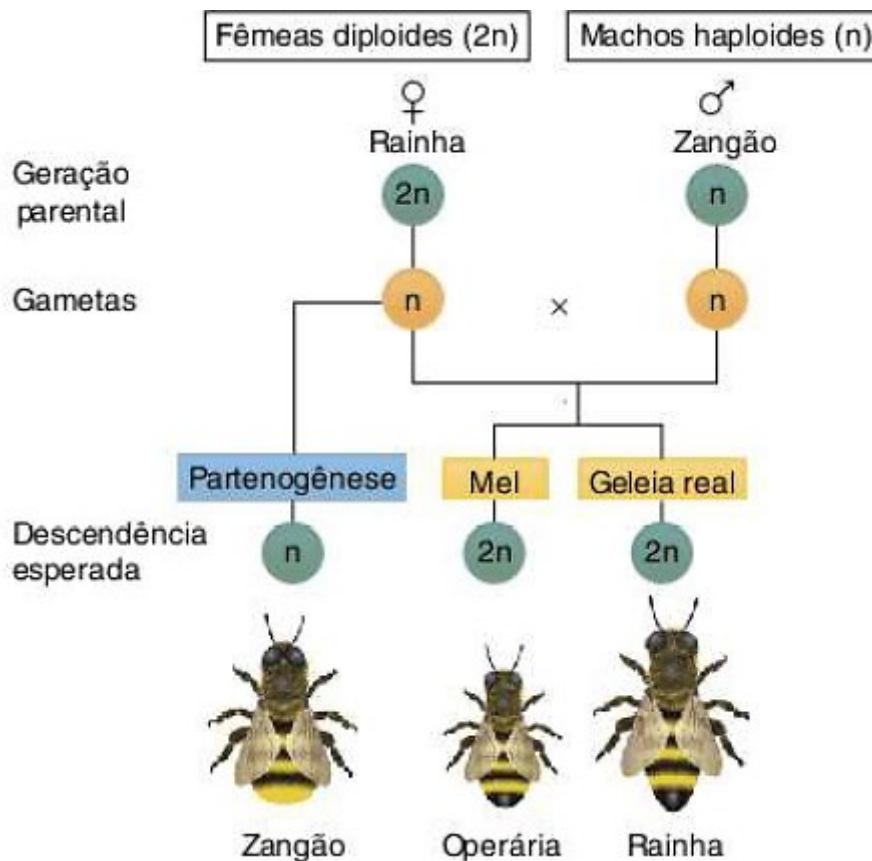
Assim, o cromossomo Z é comum ao macho e à fêmea (como o cromossomo X nos mamíferos). Já o cromossomo W é exclusivo da fêmea (nos mamíferos, é o macho que apresenta um cromossomo exclusivo, o cromossomo Y).

O macho só produz gametas Z, portanto é o sexo homogamético. A fêmea produz gametas Z e gametas W, portanto é o sexo heterogamético.

SISTEMA n/2n

Abelhas têm o sistema $n/2n$ de determinação sexual. Em geral, as fêmeas são $2n$ (diploides) e os machos são n (haploides).

As fêmeas são provenientes de zigotos ($2n$) e dependem do tipo de alimentação que receberão para a determinação da sua fertilidade. Esse zigoto, depositado em uma célula que contenha geleia real, originará uma rainha (fêmea fértil); se o zigoto for colocado em célula que contenha mel, originará uma operária (fêmea estéril). Os machos (zangões) são provenientes de óvulos não fecundados, o que caracteriza um caso de partenogênese.



Determinação do sexo no sistema $n/2n$ para as abelhas.

Existem mais detalhes acerca da determinação sexual em abelhas, envolvendo um gene denominado CSD (*complementary sex determiner* ou determinador complementar do sexo), o qual possui de 11 a 19 alelos diferentes. Um ovo diploide apresenta dois alelos diferentes do gene CSD (heterozigoto) e as proteínas que eles codificam desencadeiam o desenvolvimento de uma fêmea. Um óvulo, porém, que não foi fecundado, tem apenas um alelo CSD (hemizigoto) e desenvolve-se em um macho. Se o ovo diploide receber duas cópias do mesmo alelo CSD (homozigoto), o resultado também será o desenvolvimento de um macho, nesse caso, diploide.

ATIVIDADES

1. Em relação aos cromossomos humanos, como são denominados os cromossomos sexuais? Quais são eles? Como são denominados os cromossomos não sexuais?
2. Na espécie humana, qual é o sexo homogamético e qual é o sexo heterogamético?
3. Cite exemplos de animais nos quais ocorrem os sistemas XO e ZW, descrevendo como são machos e fêmeas em relação aos cromossomos.
4. No sistema haploide/diploide de abelhas, indique a composição cromossômica do macho e da fêmea.
5. Acerca da relação entre os cromossomos de um menino e os de seus avós, fizeram-se as seguintes afirmações:
 - I. Seu cromossomo Y é descendente do Y de seu avô paterno.
 - II. Seu cromossomo X é descendente de um X de sua avó paterna.
 - III. Entre seus autossomos, há descendentes de autossomos de seus avós.Julgue como verdadeira ou falsa estas três afirmações.



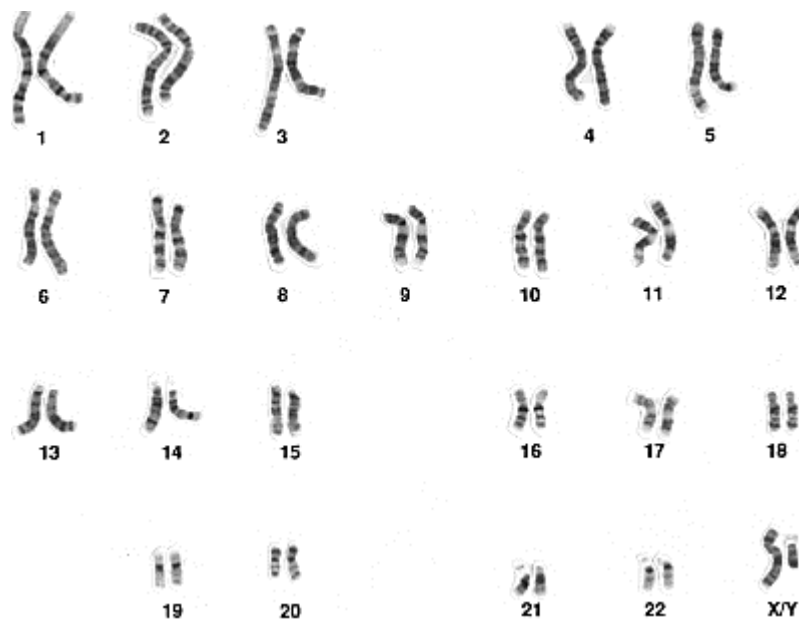
AULA 14

DEFEITOS NOS CROMOSSOMOS



Como aprendemos na aula anterior, algumas doenças são causadas por alterações no número de cromossomos. A fotografia a seguir mostra um cariótipo – conjunto organizado dos cromossomos de uma espécie, apresentado em uma fotografia – humano normal, de indivíduo do sexo masculino: existe apenas um cromossomo X, além do Y de menor tamanho.

Os cromossomos estão todos duplicados e se encontram no máximo de sua condensação.



Fotomicrografia de um cariótipo: cromossomos humanos ampliados, ordenados em pares, segundo critérios definidos.

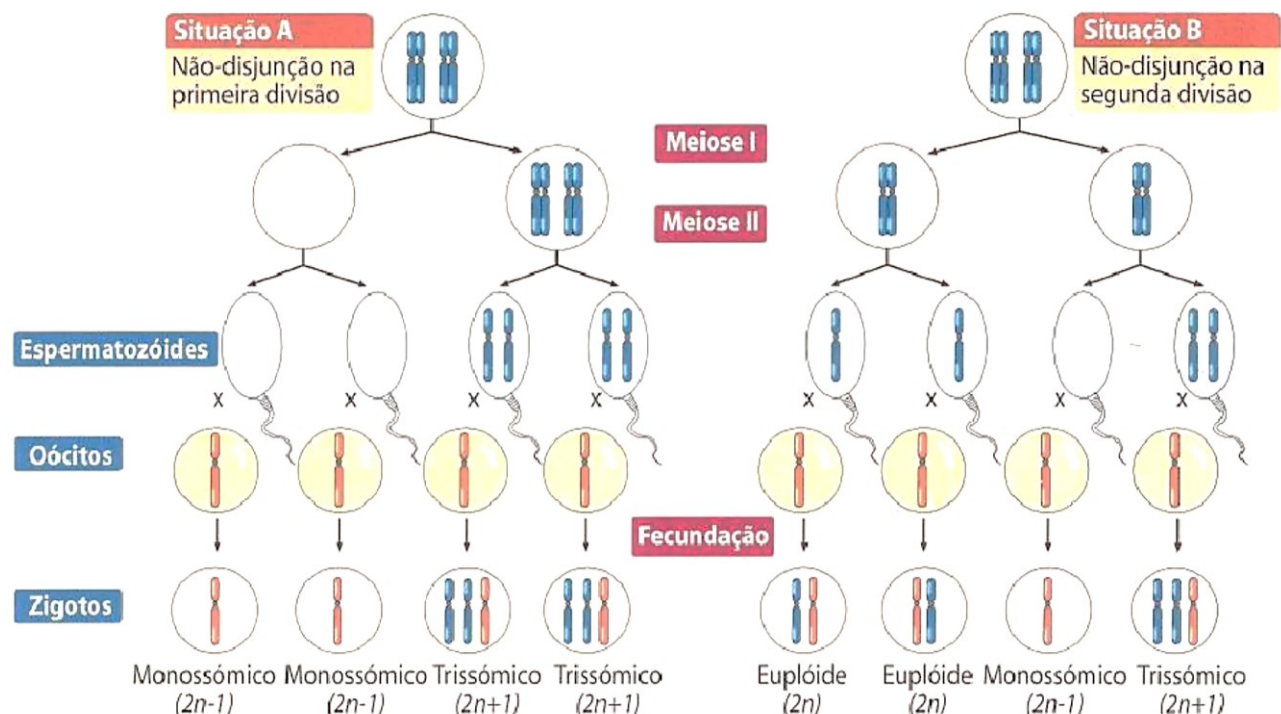
COMO SURGEM AS ANOMALIAS NUMÉRICAS?

Na espécie humana, as alterações numéricas – chamadas aneuploidias – envolvem acréscimo ou diminuição de um ou alguns poucos cromossomos. Os indivíduos são, dessa forma, $2n + 1$, $2n - 1$, $2n + 2$, etc.

As euploidias, ao contrário, alteram conjuntos cromossômicos inteiros, ou seja, o número de genomas ($3n$, $4n$, etc.).

Como surgem as aneuploidias? Por razões desconhecidas, durante a meiose I, formadora de óvulos ou espermatozoides, um determinado par de cromossomos homólogos

pode não se separar. Esse evento é chamado de não-disjunção. Uma das células fica com o cromossomo a mais, e a outra, com um cromossomo a menos. A não-disjunção também pode ocorrer na meiose II, como no esquema abaixo: não ocorre separação das cromátides, e o cromossomo com duas cromátides passa para uma célula, enquanto a outra nada recebe. As duas cromátides acabam por separar, originando dois cromossomos. Os casos de não-disjunção tanto podem acontecer com um autossomo quanto com um cromossomo sexual.



Se uma não-disjunção do X ocorrer em uma ovogênese, poderão originar-se óvulos com 2X ou óvulos sem nenhum X, os quais, fecundados por espermatozoides normais (X ou Y), produzem zigotos com aneuploidias.

Os indivíduos com três cromossomos do mesmo tipo são chamados de trissômicos e os que têm apenas um são denominados monossômicos.

A tabela a seguir descreve as aneuploidias sexuais mais comuns.

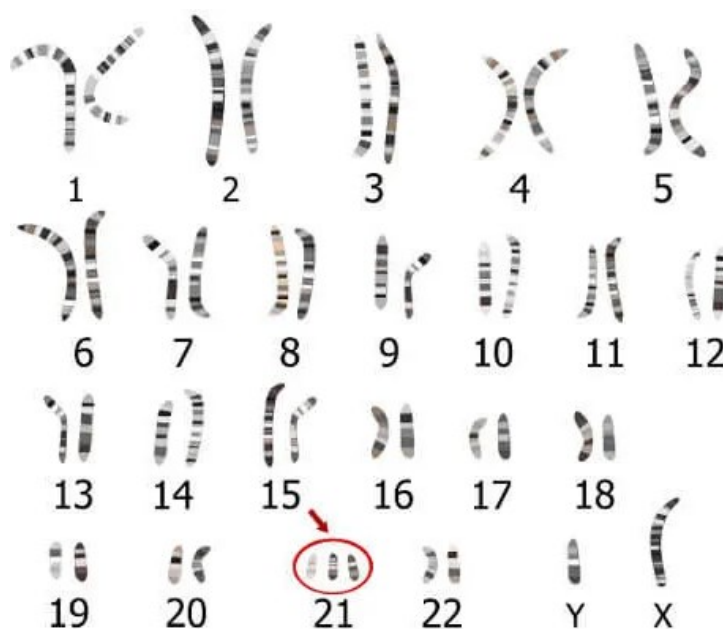
Constituição Cromossômica	Tipo de aneuploidia	Nome clínico	Descrição
47, XXX	Trissomia	Síndrome do triplo X	Mulheres férteis, embora com distúrbios sexuais e, às vezes, retardamento mental.
47, XXY	Trissomia	Síndrome de Klinefelter	Homens de estatura geralmente maior que a média. Órgãos genitais pouco desenvolvidos, ausência de espermatozoides, desenvolvimento de mamas e alterações sexuais secundárias. Distúrbios de comportamento e déficit de inteligência.
47, XYY	Trissomia	Síndrome duplo Y	Homens férteis, fenotipicamente normais, um pouco mais altos que a média,

			podendo apresentar algum grau de retardamento mental.
45, X0	Monossomia	Síndrome de Turner	Mulheres estéreis, baixa estatura, pescoço alargado, sem desenvolvimento das glândulas mamárias, ovários rudimentares e defeitos vasculares.
45, Y0	Monossomia	-	Esses indivíduos não chegam a se formar, devido à falta do cromossomo X, portador de vários genes indispensáveis ao desenvolvimento.

SÍNDROME DE DOWN: UMA ANEUPLOIDIA AUTOSSÔMICA

Nas aneuploidias autossômicas humanas, os cromossomos sexuais são normais (XX ou XY), mas pode haver um autossomo em dose tripla. Nesse caso, fala-se em trissomias, das quais a Síndrome de Down – antigamente chamada de mongolismo – é a mais conhecida.

Os indivíduos com essa anomalia têm 47 cromossomos. O cromossomo suplementar é um autossomo, o de número 21, ou seja, é a trissomia do cromossomo 21. Os portadores podem ser sexo masculino (XY) ou feminino (XX); mais ou menos uma criança em cada 800 apresenta o problema. Normalmente, o gameta com dois cromossomos 21 é o óvulo.



Fotomicrografia de cariótipo de homem com Síndrome de Down. Destaque para os três pequenos cromossomos 21.

A síndrome do Down manifesta-se por um grande número de sintomas, que variam de indivíduo a indivíduo. Na prática, basta a presença de quatro dos itens citados abaixo para firmar o diagnóstico:

- a) quociente intelectual baixo;
- b) prega palpebral;
- c) língua fissurada;
- d) inflamação das pálpebras;
- e) uma única prega no dedo mínimo;
- f) prega transversal contínua na palma da mão (prega plantar ou simiesca).



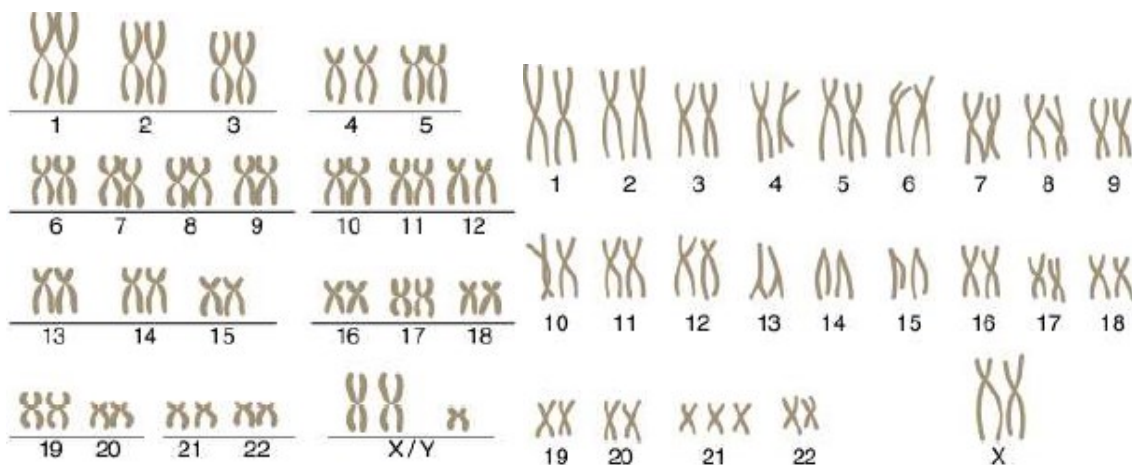
Criança portadora de Síndrome de Down.

As crianças com Síndrome de Down, além de todos os sintomas citados, frequentemente nascem com defeitos cardíacos, que são a maior causa de morte nos doze primeiros meses de vida. Geralmente, quando esses defeitos não existem, eles atingem a idade adulta, embora sua expectativa de vida seja menor que a das pessoas normais.

Foi demonstrado que a incidência dessa anomalia é maior em filhos de mulheres mais velhas.

ATIVIDADES

1. O que são euploidias? E aneuploidias? A Síndrome de Down é caracterizada como euploidias ou aneuploidia?
2. Explique com suas próprias palavras o que é a não-disjunção cromossômica. Em que tipo de processo ela ocorre? Que consequências ela tem?
3. O que significa os termos monossomia e trissomia?
4. Com base nos cariótipos a seguir, complete as frases:



O primeiro cariótipo é de uma pessoa do sexo _____ com Síndrome de _____.

O segundo cariótipo é de uma pessoa do sexo _____ com Síndrome de _____.



AULA 20

PROBLEMAS BIOÉTICOS RELACIONADOS AO INÍCIO DA VIDA

“Antes que eu te formasse no ventre de tua mãe, Eu te conheci; antes de saíres do seio de tua mãe, Eu te consagrei”. Jr 1, 5

“Todas as vezes que fizestes isso a um destes mais pequenos, que são meus irmãos, foi a mim que o fizestes”. Mt 25, 40.

ABORTO

O aborto é uma realidade violenta. No entanto, é necessário entender as implicações e riscos e falarmos sobre isso. Nós tentamos apresentar esta realidade sem mascará-la, mas fazendo a escolha de não mostrar fotos de bebês abortados. Aborto é a morte prematura do embrião (ou do bebezinho) durante o desenvolvimento. O aborto pode ser de dois tipos: espontâneo e provocado.

O aborto espontâneo ocorre naturalmente, é decorrente de algum problema no desenvolvimento do bebê. Não é provocado.

Já o aborto provocado ocorre quando a vida do bebezinho é interrompida voluntariamente, isto é, interrompe-se por algum processo provocado a gravidez, e, neste caso, é um assassinato e é sempre um pecado mortal.

Infelizmente, hoje no mundo, dominado pelo egoísmo e pela “cultura do morte”, o ataque à vida inocente é bem estruturado, e a mentalidade de muitas pessoas quer exigir que esse ato terrível seja visto como um “direito da mulher”. Como católicos defensores da vida, temos que lutar contra essa forma terrível de assassinato e defender os mais inocentes.

Terrivelmente há diversos procedimentos utilizados para iniciar o processo de abortamento; alguns são até muito comuns, e, infelizmente, as pessoas nem sabem que estão realizando esse crime.

Aborto por sucção: o feto é desmembrado graças à ação do aspirador. É o método normalmente usado para praticar o aborto.

Aborto através de curetagem: o embrião é destruído com a "cureta" (instrumento cirúrgico) e os fragmentos são removidos do útero.

Aborto após inoculação:

- de cloreto de potássio no coração do feto. Desta forma, causa a morte do feto e é induzido o parto prematuro da criança morta.
- de uma solução hipertônica no líquido amniótico. Com isso a criança morre após várias horas. Vinte e quatro horas depois a mãe dá à luz um filho natimorto. Este tipo de aborto é preferido para as interrupções médicas da gravidez até pouco antes do término fisiológico (nono mês).

O uso de DIU (dispositivo intrauterino), que é amplamente utilizado no mundo por mulheres que querem “evitar a gravidez”, também é abortivo. Essas pessoas, querendo evitar os filhos (o que já é um erro), acabam por matar os próprios filhos, pois, quando ocorre a fecundação, o DIU impede que o embrião se fixe ao útero para se desenvolver, causando o aborto.

Aborto medicamentoso: a pílula do dia seguinte ou “contracepção de emergência” teria um efeito contraceptivo, bloqueando a ovulação se o medicamento fosse tomado antes da ovulação. Contudo, como normalmente é ingerido depois, justamente para “evitar” a gravidez, age impedindo a implantação do embrião; tendo, portanto, um efeito abortivo. De qualquer forma, a intenção é, no entanto, interromper a gravidez.

Existem outros medicamentos que são contrabandeados no Brasil que têm o efeito de iniciar um aborto “espontâneo”, mas que será preciso “terminar” o procedimento em um hospital.

Pílulas anticoncepcionais podem causar abortos precoces. Geralmente, pílulas clássicas (combinado ou progesterona) atuam como contraceptivos, bloqueando a ovulação e modificando também o muco cervical para o tornar impermeável ao espermatozoide. Porém, quando um desses dois mecanismos se mostra insuficiente (uma a cada 10 ovulações não é bloqueada), um terceiro efeito da pílula é ativado: uma modificação da mucosa uterina tão consistente que previne a implantação do embrião. É um efeito abortivo, já que no momento em que o embrião não pode se implantar, é expulso. O mesmo efeito também é alcançado com pílulas de microdoses e contraceptivos a base de progestina ("minipílula", injeções contraceptivas e implantes de contraceptivos subcutâneos). Nestes casos, o aborto ocorre sem a mulher tomar ciência. Mas por que fazer isso?

Uma mulher que pensa em realizar o aborto, precisa realmente ser ajudada, pois, na grande maioria das vezes, está com medo, sentindo-se só e desamparada, e não tem consciência real do que seja o aborto. Apesar de no desespero ter a ilusão de que o aborto é uma solução, a realidade mostra que a maior parte das mulheres que abortam se sentem ainda pior após o procedimento abortivo, carregando por toda a sua vida graves consequências psicológicas.

Observa-se que muitas mulheres que abortaram podem apresentar um estado depressivo e manifestar vários outros distúrbios: culpa, perda de autoestima, depressão, ideias suicidas, ansiedade, insônia, cólera, distúrbios sexuais, pesadelos tendo como objeto o filho

abortado; algumas o sentem chamar a sua mãe, ou que este sente ódio por ela ... A conexão com o aborto, no entanto, não é sempre fácil e nem sempre é realizada. Estes sintomas, de fato, que podem aparecer imediatamente ou mesmo algum tempo depois, são hoje bem conhecidos como "síndrome pós-aborto". Podem ser amplificados toda vez que a mãe conhece uma mulher grávida, vê um bebê na rua, se vê passando perto de uma clínica, pensa no aniversário da criança que abortou ... A síndrome "pós-aborto", no entanto, não se limita apenas à mãe. Muitas vezes, também pode envolver pessoas próximas a ela, como o pai, os irmãos da criança que não nasceu ... No mundo, muitas mulheres estão dando testemunho: "Se ao menos o tivéssemos conhecido."

Nas leis, a expressão "interrupção da gravidez" tem substituído a palavra "aborto". A expressão "Interrupção Voluntária da Gravidez" na verdade, mascara a realidade, escondendo o fato de que a pessoa diretamente afetada morre, isto é, a criança. Estima-se que ocorram cerca de 50 milhões de abortos no mundo por ano (o que seria correspondente a matar mais que todas as pessoas que vivem no estado de São Paulo). São muitas crianças inocentes sendo mortas.

Como é possível que algumas pessoas pensem em “direito ao aborto”? Os promotores da cultura da morte têm imposto sua agenda sobre todos os povos e, infelizmente, temos visto vários países “desenvolvidos” renegar suas raízes católicas e, de forma bárbara, cruel e satânica, aprovar políticas públicas defensoras dos “direitos sexuais e reprodutivos” das mulheres, expressão eufêmica para financiamento de assassinato e genocídio em massa de crianças inocentes. Ninguém tem o direito de tirar a vida de uma pessoa inocente, razão por que não deve existir direito ao aborto. Isso é contrário à lei natural, e, portanto, é contrário à razão. Todo este sangue inocente derramado é um pecado gravíssimo que clama a Justiça Divina! Que Deus tenha Misericórdia de nós!

No Brasil, a legislação atual considera o aborto um crime, passível de pena. Não existe aborto legal no Brasil! Há no Código Penal três situações em que, apesar de continuar a ser crime, o aborto não é penalizado: em caso de estupro, de risco de vida para a mãe, e de anencefalia. O que existe, então, é um crime que não é penalizado; mas o aborto no Brasil continua sendo crime em qualquer circunstância. O que é importante ressaltar é que a criança é sempre inocente, e mesmo nos casos mais difíceis precisamos defendê-la.

Historicamente, um fato é importante: a mentalidade contraceptiva conduz mais facilmente à aceitação do aborto. Isso significa justamente que, ao não querer os filhos, ou seja, ao negar aquilo que é próprio da família, há uma inversão da ordem. E aquele que deveria ser o fruto próprio do matrimônio acaba por ser rejeitado. Evitando-se os filhos, dá-se um passo na direção de entender o filho como um mal, e não como o que realmente é, uma bênção de Deus. É quando se começa a pensar no filho como um mal a ser evitado que se abre a porta para aceitar o aborto. Além disso, muitos métodos contraceptivos são também abortivos, de modo que a ligação entre contracepção e aborto é direta.

Graças a Deus e ao trabalho, dedicação e generosidade de muitos brasileiros, nosso Brasil tem sido o grande baluarte defensor da vida e da família no mundo. Estima-se que hoje cerca de 90% da população seja contra o aborto. Este número é o extremo oposto dos demais países, onde a cultura da morte já conquistou todos os terrenos. Recentemente, a França

promulgou uma ementa à Constituição para instituir o aborto como um direito constitucional, ou seja, está na Constituição francesa que o aborto é um direito e que o Estado deve garantir esse direito.

Milhões de brasileiros vão às ruas todos os anos expressar em “marchas pela vida” esta nossa certeza de que a vida é sagrada e inviolável, uma dádiva de Deus, que deve ser defendida a todo o custo.



Continuemos trabalhando para que a vida seja defendida, estudando para compreender profundamente todo este movimento que atenta, em última instância, contra Deus, e rezando para que o Sacratíssimo Coração de Nosso Senhor Jesus Cristo e o Imaculado Coração de Maria reinem em nossos corações, em nossas vidas e em nosso país!

ATIVIDADE

Uma das obras de misericórdia é instruir os ignorantes. Apresente para alguém, que você desconfie que seja “ignorante” em relação ao tema que estudamos nesta aula, o que você aprendeu sobre o aborto.



AULA 21

PROBLEMAS BIOÉTICOS – PARTE 2



Continuando os estudos sobre bioética, gostaríamos de lembrar do caráter introdutório destas exposições. Todos os problemas aqui apresentados, implicam em várias outras questões científicas e morais que precisam ser aprofundadas para um verdadeiro estudo de cada caso. Evidentemente, a Ciência deve estar subordinada à Teologia Moral para que tenhamos total clareza do que é bom, justo e verdadeiro

DIAGNÓSTICO PRÉ-NATAL

Denomina-se diagnóstico pré-natal (DPN) o conjunto de exames realizados ao longo da gravidez para evitar precocemente doenças ou más-formações do feto no útero materno.

Ele é útil para permitir, precocemente, o tratamento e a resolução de certos problemas que podem ocorrer no desenvolvimento da gravidez, mas, quando foge desse fim de proteção à mãe e à criança e se torna um instrumento de condução ao aborto, torna-se deplorável.

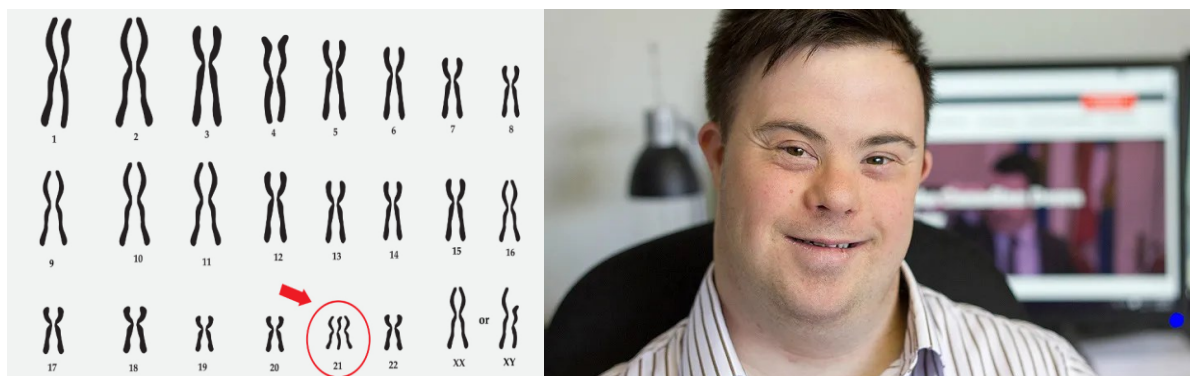
O procedimento de DPN mais comum é a ecografia por ultrassom, e não traz nenhum risco à mãe ou ao bebê. O problema são as técnicas invasivas (como amniocentese ou fetoscopia), que, além de trazerem risco para a gravidez, estão relacionadas, muitas vezes, ao diagnóstico de anomalias para condução ao aborto.



O julgamento moral do DPN depende dos métodos e dos fins para o qual é utilizado. Por exemplo, se visa diagnosticar doenças para posterior realização de aborto, é imoral. Já quando utiliza meios lícitos para tratamento de doenças, é moralmente bom.

Em muitos países o DPN é destinado ao reconhecimento de possíveis más-formações no bebê com o fim de conduzir ao aborto seletivo. Torna-se, assim, um processo eugênico, que visa assassinar, por meio do aborto, qualquer bebê que possa apresentar alguma deficiência. Por exemplo, em todo o mundo, bebês identificados com a trissomia do

cromossomo 21 (ou seja, que apresentam Síndrome de Down) são, em 96% dos casos, abortados. E esta não é uma doença mortal.



Trissomia 21: os portadores apresentam um cromossomo 21 a mais, o que caracteriza a síndrome de Down.

É importante ressaltar que os pais que assumem um matrimônio cristão, devem estar preparados para acolher uma criança, mesmo doente. São muitos os testemunhos de pessoas que, mesmo com deficiências graves, exprimem sua alegria de viver. Há um estudo sistemático, que envolveu um grande número de pessoas com deficiência, e que mostrou claramente que estas não se sentiam mais infelizes, apesar do seu estado, do que a média da população geral. Por mais que os pais possam se preocupar e sofrer com a descoberta de alguma doença em seu filho, esse sofrimento jamais será resolvido com a morte do filho.

As técnicas de DPN são ruins?

As técnicas de DPN não são, em si mesmas, nem boas nem ruins, mas tudo depende do uso feito delas. Elas podem ser boas se servirem para diagnosticar doenças que mais tarde podem ser mais bem tratadas, ou para ajudar os pais a compreenderem a doença e organizarem-se para receber uma criança doente. Mas são indubitavelmente prejudiciais se forem utilizados para selecionar filhos antes do nascimento.

É possível falar sobre eugenia nesse caso?

É bastante comum falar sobre eugenia quando se faz referência ao DPN, pois está associado a uma triagem em larga escala que muitas vezes se transforma em aborto. Isto é especialmente verdade no caso de crianças com trissomia 21, que são abortadas em 97% dos casos. Nestes casos, a medicina se presta à seleção de seres humanos a partir de suas características biológico-genéticas. Nesse sentido, realiza uma verdadeira e própria forma de eugenia científica e tecnológica.

A triagem para trissomia 21 é obrigatória?

Os médicos devem informar da existência de triagem para trissomia 21. No entanto, os pais não são obrigados a aceitá-la: pelo contrário, eles têm o direito de recusar a coleta de sangue para a detecção de marcadores séricos, bem como amniocentese ou qualquer outro diagnóstico pré-natal invasivo ou não invasivo, que não vise uma autêntica terapia para salvar a vida e a saúde da criança. Não é fácil, no entanto, suportar as pressões em torno do uso dessas técnicas durante a gravidez.

ASSISTÊNCIA MÉDICA À PROCRIAÇÃO

A procriação é um ato dos pais, que, pela graça de Deus, originam um filho, uma nova vida. Após o casamento, forma-se uma família, e naturalmente os filhos vão sendo gerados.

Ocorre muito comumente que casais apresentem dificuldade no processo de procriação, não conseguindo ter filhos. É daí que surge a assistência médica à procriação.

Os processos de assistência médica à procriação podem ser morais, quando são de acordo com a lei natural, ou imorais, quando ferem a lei natural.

A expressão «procriação medicamente assistida» (PMA) ou “reprodução assistida” (RA), no Brasil, algumas vezes substituída pela expressão "assistência médica à procriação" (AMP), se refere ao conjunto de técnicas que permitem chegar à concepção de uma criança.

A PMA usa gametas: espermatozoides masculinos e óvulos femininos. Existem essencialmente três técnicas de PMA:

1 O método natural

Assistência médica para procriação natural, método Billings, NaProTechnology (NaProTechnology: Natural Procreative Technology).

2 Métodos artificiais

Inseminação artificial usando espermatozoides.

Fertilização *in vitro* com transferência de embriões (FIVET) que utiliza esperma e óvulos.



Os processos de assistência de acordo com a lei natural, e por isso lícitos, são aqueles que visam auxiliar o casal para que, pelo processo natural, consigam gerar uma nova vida, como o método Billings, ou a naprotecnologia.

Já os processos ilícitos, por serem contrários à lei natural, são aqueles que de algum modo alteram o processo natural de geração, substituindo ou alterando de alguma forma o papel do casal na geração de uma nova vida. São exemplos desses métodos artificiais de reprodução assistida: a inseminação artificial e a fecundação *in vitro*.

Os métodos artificiais de procriação geram inúmeros problemas bioéticos, pois, além de não respeitarem o processo natural de geração de uma nova vida, criam embriões em laboratório. Esses embriões, muitas vezes, não são colocados no ventre materno, mas são mantidos congelados por anos, e, depois, destruídos ou utilizados em pesquisas, o que é muito grave e inaceitável! São exemplos de problemas bioéticos relacionados a essa prática:

desrespeito ao processo natural de geração de uma nova vida (falta essa presente em todas as etapas, desde a obtenção ilícita dos gametas até o modo artificial de fecundação e o armazenamento do embrião formado, que além de ser manipulado em laboratório, é, muitas vezes, congelado sem expectativa de ser colocado em ventre materno). Todo o processo corrompe o processo natural de geração. Infelizmente, esses processos artificiais de reprodução assistida são muito comuns no Brasil.

A geração de embriões por reprodução assistida, pode gerar ainda outros problemas bioéticos, como o do estudo sobre os embriões congelados ou mesmo a sua destruição.

As crianças são um dom

A criança não é algo devido, mas um presente. O "maior presente do casamento" é uma pessoa humana. A criança não pode ser considerada um objeto de propriedade: isso levaria ao reconhecimento de uma reivindicação de "direito a uma criança". Nesse campo, apenas a criança tem verdadeiros direitos: a de "ser fruto do ato específico do amor conjugal de seus pais e, também, o direito de ser respeitada como pessoa desde o momento de sua concepção".

O casamento é o único lugar digno da procriação humana responsável

Por respeito à dignidade humana, a Igreja nega a possibilidade de conceber uma criança com fecundação heteróloga ou homóloga. Toda criança tem o direito diante de Deus a ter pai e mãe, a conhecê-los e crescerem em seu amor até que isso seja possível. Inseminação artificial com espermatozoides de um homem estranho para o casal (inseminação heteróloga) também destrói o espírito do casamento, no qual o homem e a mulher têm o direito de se tornar pai ou mãe através do outro cônjuge. Mas, também, a inseminação homóloga (isto é, quando o espermatozoide pertence ao marido) faz da criança o fruto de um processo técnico e não a permite nascer da união do amor de um relacionamento pessoal. Além disso, quando uma criança se torna um produto, coloca-se imediatamente a questão técnica sobre a qualidade e garantia deste produto.

A tentação de onipotência

O dom da vida, que Deus Criador e Pai confiou ao homem, exige que eles tomem a consciência do seu valor inestimável e assumir sua responsabilidade [...]. Hoje, vários procedimentos nos permitem intervir não apenas para ajudar, mas também para dominar os processos de procriação. Tais técnicas podem permitir que o homem "tome seu destino em suas próprias mãos", mas também podem expô-lo "à tentação de ir além dos limites de um domínio razoável sobre a natureza".

ATIVIDADES

1. O que é DPN? É um procedimento lícito ou imoral?
2. Explique quando é lícita e quando é ilícita a assistência médica à procriação.



AULA 25

BIOQUÍMICA



omeçaremos agora o estudo de uma nova área da Biologia, nova para nós e nova enquanto ciência. A bioquímica é voltada principalmente para a química dos processos biológicos que ocorrem em todos os seres vivos, destacando a estrutura e a função de componentes celulares como proteínas, carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e outras biomoléculas.

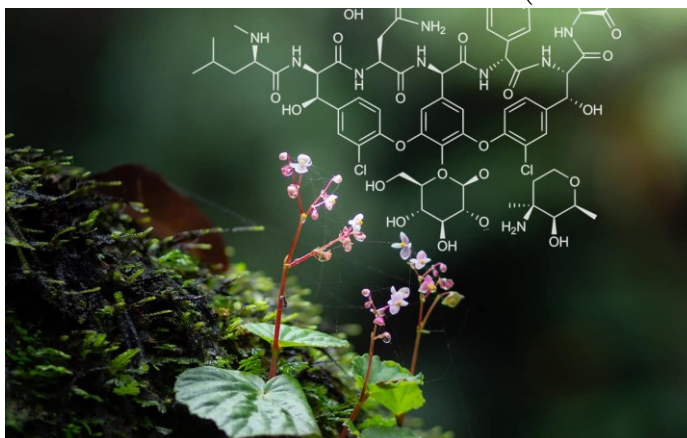
A história da ciência bioquímica é recente. Começou no início do século XX, com os primeiros estudos das vias metabólicas que sustentam a vida. Desde então, o avanço no conhecimento bioquímico tem sido marcado por descobertas científicas e avanços tecnológicos excepcionais que englobam o desenvolvimento da biologia molecular, da engenharia genética, da biotecnologia, das técnicas de clonagem, das terapias moleculares e celulares, da investigação com células estaminais, da engenharia de tecidos, da investigação das bases moleculares de patologias. Esses são alguns exemplos de áreas em que a prática bioquímica se vai expandindo. Lembremos que existem nestes estudos questões bioéticas gravíssimas e que precisam sempre ser consideradas.

Bioquímica é a ciência que estuda os processos químicos que ocorrem nos organismos vivos.

A bioquímica estuda a estrutura e a função metabólica de componentes celulares, como proteínas, carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e outras biomoléculas.

Dentre os diversos tipos de biomoléculas, muitas são moléculas grandes e complexas (polímeros), longas cadeias formadas pela reunião de unidades fundamentais (monômeros). Cada tipo de biomolécula polimérica apresenta unidades fundamentais diferentes. Por exemplo, as proteínas são polímeros cujas unidades monoméricas são os aminoácidos, enquanto os ácidos nucleicos (como o DNA) são polímeros compostos por cadeias de nucleotídeos.

O estudo da bioquímica abrange as propriedades de moléculas biológicas



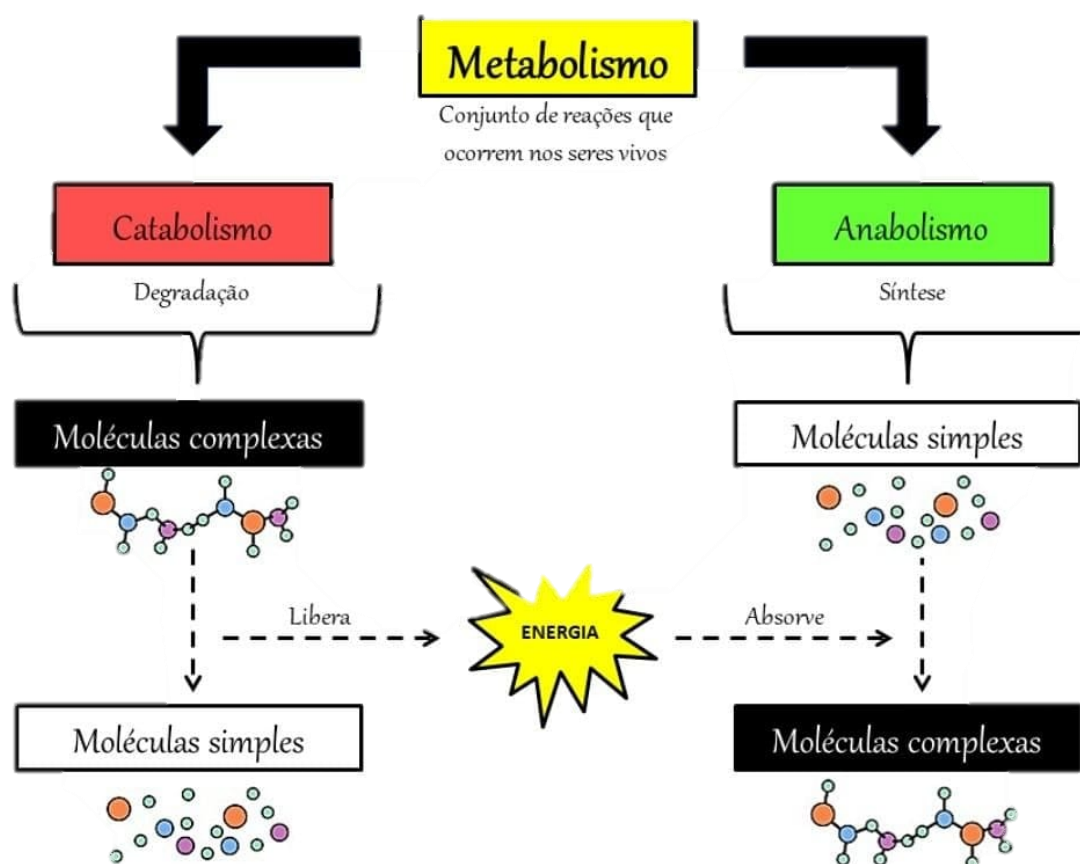
O mistério da vida passa pela bioquímica.

importantes, como as proteínas e os ácidos nucleicos e, em particular, a química de reações catalisadas por enzimas através de diversos temas de estudo como do código genético, da síntese de proteínas, do transporte de membrana celular e da transdução de sinal.

Os bioquímicos utilizam ferramentas e conceitos da química, particularmente da química orgânica e físico-química, para a elucidação do sistema vivo.

No interior das células vivas ocorre uma série de transformações químicas, que em conjunto são chamadas de metabolismo (do grego *metabolé*, mudança, transformação). Essas transformações permitem, por exemplo, que o alimento seja convertido em mais material vivo (metabolismo de construção ou anabolismo); que a célula obtenha a energia necessária para crescer, dividir-se e movimentar-se (metabolismo energético ou catabolismo); e que o material genético seja capaz de controlar tudo o que acontece. Quando as reações do metabolismo param, o organismo morre.

Veja a seguir um esquema simplificado de alguns eventos do catabolismo e do anabolismo:



COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SERES VIVOS

Dos mais de cem tipos diferentes de elementos químicos existentes, pouco mais de 20 são encontrados na formação da matéria viva, entre os quais há uma predominância de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Esses quatro elementos são os mais abundantes no ser vivo, constituindo 95% ou mais de sua massa. Outros elementos, como fósforo, enxofre, cálcio, sódio, potássio, etc. completam o restante da massa.

Os átomos dos diferentes elementos químicos encontrados nos seres vivos podem associar-se uns aos outros, formando estruturas mais complexas, as moléculas, como também podem dissociar-se, formando os íons.

Moléculas e íons são encontrados formando as substâncias (compostos químicos), que podem ser subdivididas em dois grupos: substâncias inorgânicas e substâncias orgânicas.

Composição química dos seres vivos	
Substâncias inorgânicas	Substâncias orgânicas
Água Sais Minerais	Aminoácidos
	Proteínas
	Carboidratos
	Lipídios
	Nucleotídeos
	Ácido nucleicos
	Vitaminas

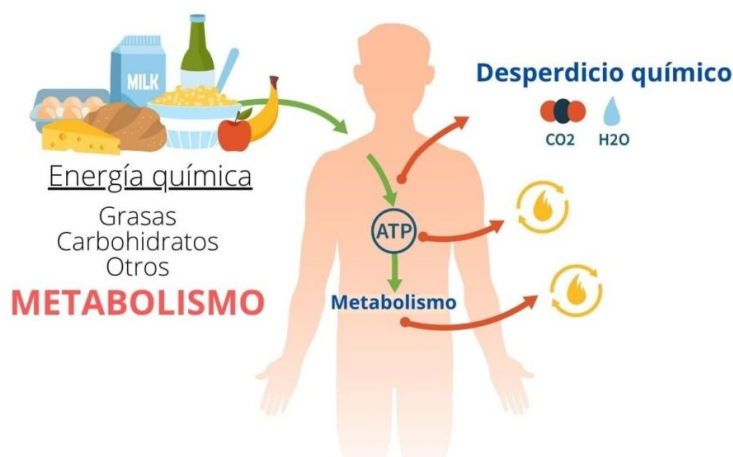
Nos seres vivos, os átomos, as moléculas e os íons das diferentes substâncias, além de fazerem parte das estruturas que compõem o organismo, também participam de diversas reações químicas que ocorrem no interior de suas células, tecidos e órgãos. Um organismo vivo é, na realidade, um verdadeiro “laboratório químico”, em que, a todo momento, ocorrem inúmeras reações indispensáveis à manutenção da vida.

Muitas dessas reações têm como objetivo formar novos compostos e construir novas estruturas, enquanto outras visam a liberar energia para possibilitar a realização de diversas atividades. Ao conjunto de todas essas reações que se passam numa estrutura viva, dá-se o nome de metabolismo (do grego *metabolé*, mudança, transformação).

O metabolismo é responsável pela utilização e transformação da matéria no organismo e pode ser subdividido em anabolismo e catabolismo.

Anabolismo (do grego *anabolé*, erguer, construir) – Compreende as reações metabólicas “construtivas”, isto é, que fabricam novas moléculas, permitindo, dessa maneira, a formação de novas estruturas necessárias ao crescimento, ao desenvolvimento e à reparação de partes lesadas. Por isso, o anabolismo também é chamado de metabolismo plástico ou metabolismo de construção. Um bom exemplo de reação anabólica é a síntese de proteínas que ocorre no interior das células, por meio da união de várias moléculas menores de aminoácidos.

As reações do anabolismo são, em geral, endergônicas (endotérmicas), pois a quantidade de energia contida nos produtos finais é

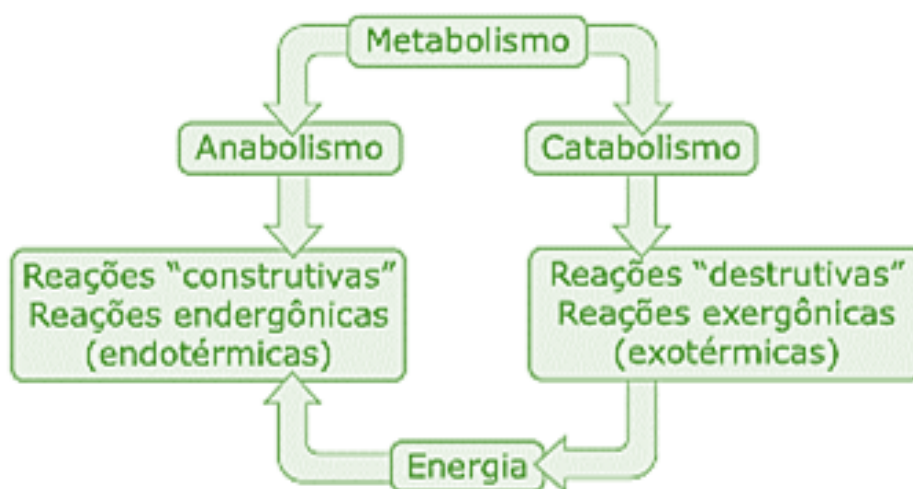


maior que a existente nos reagentes. Isso significa que, no decorrer de uma reação, houve absorção de energia do meio.

Catabolismo (do grego katabolé, destruir, eliminar) – Compreende as reações metabólicas “destrutivas”, isto é, reações de análise que degradam (“quebram”) moléculas, transformando-as em unidades menores.

Tais reações têm como finalidade principal liberar energia para as atividades vitais. A reação da glicólise (lise ou quebra da glicose), que ocorre durante o processo da respiração celular, é um bom exemplo de reação catabólica.

As reações do catabolismo são exergônicas (exotérmicas), uma vez que a quantidade de energia contida nos produtos finais é menor que a existente nos reagentes. Isso significa que, no decorrer da reação, houve liberação de energia para o meio.



As reações do anabolismo quase sempre estão acopladas às do catabolismo, uma vez que a energia utilizada pelo anabolismo normalmente é proveniente das reações do catabolismo.

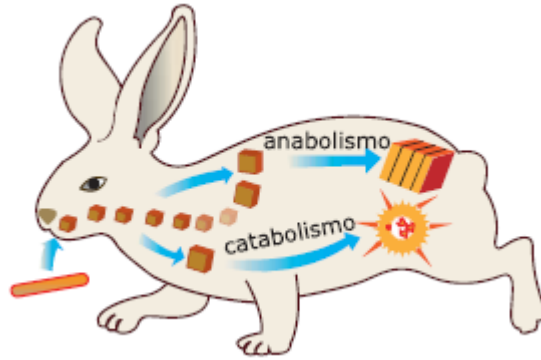
Muitas das reações metabólicas ocorrem em cadeia, ou seja, uma reação depende previamente da realização de outra(s), conforme mostra o esquema a seguir:



Observe que, para ocorrer a reação 3, é preciso que anteriormente tenha ocorrido a reação 2, visto que um dos reagentes da reação 3 é um dos produtos da reação 2. Por sua vez, para ocorrer a reação 2, é preciso que, primeiramente, ocorra a reação 1, já que um dos reagentes da reação 2 é o produto da reação 1. Assim, se por algum motivo não ocorrer a reação 1, deixam de ocorrer também as reações 2 e 3.

ATIVIDADES

1. O que é a bioquímica e qual sua importância?
2. O que é o metabolismo?
3. Qual a diferença entre o anabolismo e o catabolismo?
4. O esquema a seguir ilustra algumas etapas do metabolismo animal.



Tendo em vista as características do metabolismo, julgue as afirmativas:

I. O catabolismo se caracteriza como metabolismo construtivo, no qual o conjunto de reações de síntese será necessário para o crescimento de novas células e a manutenção de todos os tecidos, ao contrário do anabolismo.

II. Uma parte do alimento ingerido é levada para a célula, onde é quebrada e oxidada, transformando-se em moléculas menores, processo chamado de respiração celular, no qual é produzida a energia necessária às diversas transformações que ocorrem no organismo.

III. Os seres vivos retiram constantemente matéria e energia do ambiente, adquirindo novas moléculas que serão utilizadas na reconstrução do corpo, permitindo o crescimento e desenvolvimento do organismo.

5. As reações de análise que ocorrem no organismo e que comumente liberam energia são reunidas sob a designação de

- | | |
|-----------------|-----------------|
| a) anabolismo. | d) proteolismo. |
| b) hemibalismo. | e) metabolismo. |
| c) catabolismo. | |



AULA 29

CARBOIDRATOS



água e os sais minerais são compostos ou elementos químicos que estão presentes tanto no mundo inanimado (mundo mineral) quanto no mundo animado (dos seres vivos) da mesma maneira, ou seja, são os átomos e moléculas que constituem todo o mundo material. A água, por exemplo, é água em um rio, no oceano e dentro de nosso corpo. Os íons metálicos são íons metálicos em qualquer ser que estejam. Começaremos a estudar moléculas mais complexas que naturalmente estão presentes apenas nos seres vivos.

Carboidratos são compostos orgânicos também conhecidos por hidratos de carbono, glúcides, glucídios, glícides, glicídios ou açúcares.

As moléculas desses compostos orgânicos, normalmente, possuem átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Em alguns deles, encontra-se também o nitrogênio.

De acordo com a complexidade de suas moléculas, os carboidratos podem ser classificados em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos.

MONOSSACARÍDEOS

São os carboidratos mais simples. Suas moléculas não precisam sofrer hidrólise para serem absorvidas pelas células. Nelas há um pequeno número de átomos de carbono. Com algumas exceções, obedecem à seguinte fórmula geral:

$$C_nH_{2n}O_n = C_n(H_2O)_n, \text{ em que } n \text{ pode variar de } 3 \text{ a } 7.$$

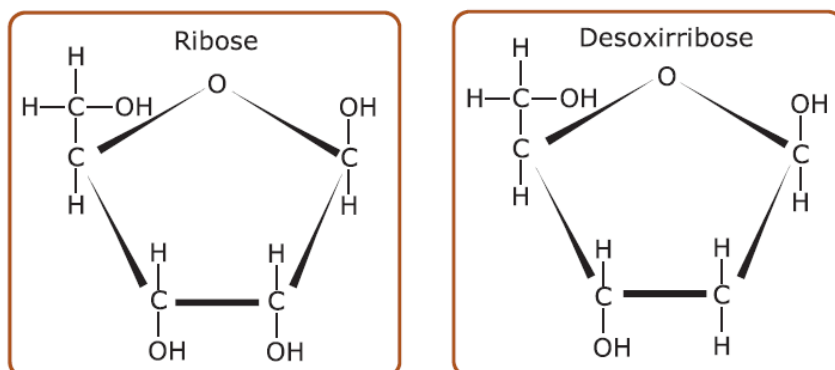
Conforme o número de átomos de carbono presente nas moléculas, os monossacarídeos podem ser subdivididos em trioses, tetroses, pentoses, hexoses e heptoses.

Veja a tabela a seguir:

Monossacarídeo	Fórmula geral
Trioses	$C_3H_6O_3$
Tetroses	$C_4H_8O_4$
Pentoses	$C_5H_{10}O_5$
Hexoses	$C_6H_{12}O_6$
Heptoses	$C_7H_{14}O_7$

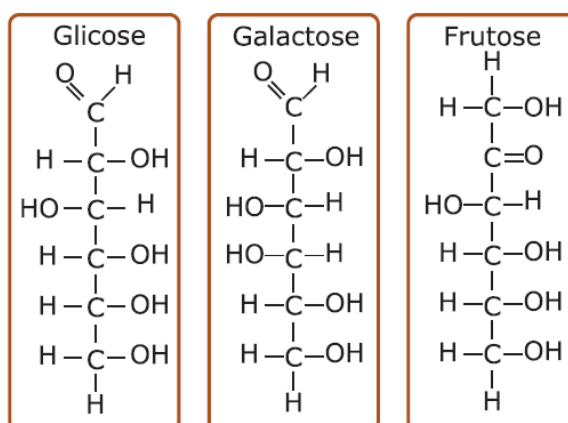
Entre os monossacarídeos de maior importância para os seres vivos, estão as pentoses e as hexoses. As pentoses porque entram na constituição dos ácidos nucleicos (RNA e DNA) e do ATP; e as hexoses porque exercem um importante papel energético.

Entre as pentoses, destacam-se a ribose ($C_5H_{10}O_5$) e a desoxirribose ($C_5H_{10}O_4$).



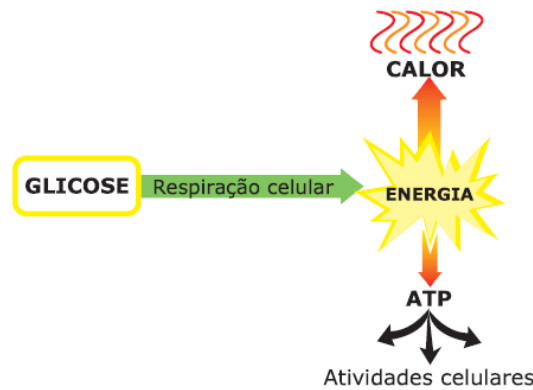
A ribose entra na constituição do RNA (ácido ribonucleico) e do ATP (adenosina trifosfato) e a desoxirribose, na constituição do DNA (ácido desoxirribonucleico).

Entre as hexoses, destacam-se a glicose, a frutose e a galactose. Todas elas têm importante função energética.



Observe que as três têm a mesma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$), diferindo entre si pela fórmula estrutural.

As hexoses, especialmente a glicose, são utilizadas para a obtenção de energia por meio das reações químicas da respiração celular.

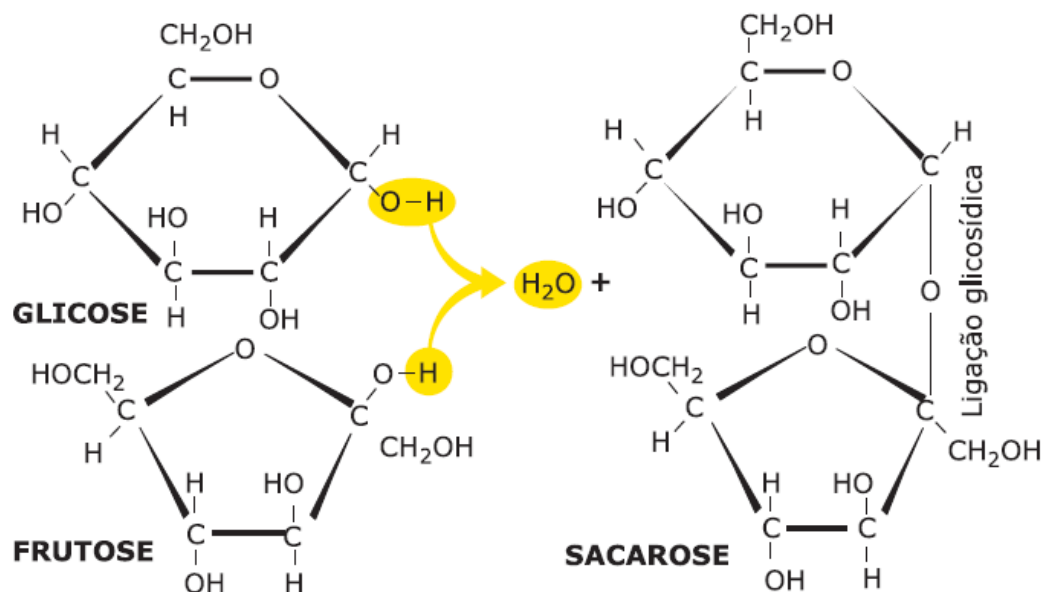


Ao serem degradadas (“quebradas”) durante as reações da respiração celular, liberam energia. Parte dessa energia irradia-se para o meio sob a forma de calor e parte é transferida para as moléculas de ATP, nas quais fica armazenada até ser utilizada em uma atividade celular.

OLIGOSSACARÍDEOS

São carboidratos resultantes da união de poucos (2 a 10) monossacarídeos iguais ou diferentes. Conforme o número de monossacarídeos que se ligam, podem ser classificados em dissacarídeos (união de dois monossacarídeos), trissacarídeos (união de três monossacarídeos) e assim por diante. A união entre moléculas de monossacarídeos se faz por meio de uma ligação covalente denominada ligação glicosídica.

Para formar esse tipo de ligação, um dos monossacarídeos perde um de seus hidrogênios (–H) e o outro perde uma hidroxila (–OH); os monossacarídeos se unem e o hidrogênio mais a hidroxila que foram liberados se juntam para formar uma molécula de água. Veja o exemplo a seguir:



Formação do dissacarídeo sacarose a partir da união dos monossacarídeos glicose e frutose – À semelhança do que ocorre na formação de uma ligação peptídica, sempre que se estabelece uma ligação glicosídica, forma-se também uma molécula de água. Trata-se, portanto, de mais um exemplo de síntese por desidratação.

Entre os oligossacarídeos, destacam-se os dissacarídeos maltose, sacarose e lactose.

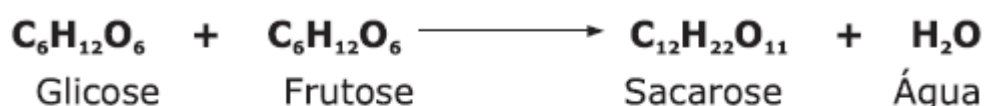
A maltose resulta da união de duas unidades de glicose. É encontrada em alguns vegetais (cevada, por exemplo) e também provém da digestão do amido que ocorre no tubo digestório de muitos animais.



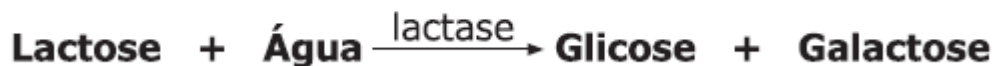
A maltose tem importante papel energético, uma vez que sua hidrólise no tubo digestório dos animais fornece moléculas de glicose que, então, são absorvidas e utilizadas como fonte de energia.



A sacarose, dissacarídeo que resulta da união de uma molécula de glicose com uma de frutose, tem papel energético e é abundante em muitos vegetais (cana-de-açúcar, beterraba, etc.). Sua hidrólise no tubo digestório dos animais, em presença da enzima sucrase (invertase, sacarase), fornece as hexoses glicose e frutose, que são absorvidas e utilizadas como fonte de energia. Vejamos os esquemas a seguir:



A lactose, encontrada no leite e derivados, é um dissacarídeo, resultante da união da glicose com a galactose, e tem papel energético. Sua hidrólise fornece as hexoses glicose e galactose.



POLISSACARÍDEOS

São os carboidratos mais complexos. Suas macromoléculas resultam da união de muitas unidades de monossacarídeos (às vezes, milhares delas). São, portanto, polímeros de monossacarídeos. Dividem-se em homopolissacarídeos e heteropolissacarídeos.

Os homopolissacarídeos resultam da polimerização de apenas uma espécie de monossacarídeos. Os principais exemplos são amido, glicogênio, celulose e quitina.

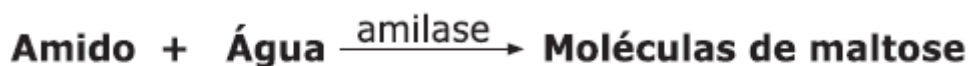
A macromolécula de amido (amilo) é um polímero formado por unidades de glicose, sendo encontrada apenas nos vegetais, nos quais fica armazenada, principalmente, em certos tipos de caule (como a batatinha), raízes (mandioca, por exemplo) e sementes (milho, trigo, feijão, etc.).

Nos vegetais, o amido tem a função de ser uma importante reserva energética, uma vez que é a forma como os vegetais armazenam em suas células a glicose que não está sendo consumida. Sabe-se que, por meio da reação de fotossíntese, os vegetais clorofilados fabricam a glicose que será utilizada como alimento nos processos de obtenção de energia, isto é, na respiração celular, e também como matéria-prima para a produção de outros compostos orgânicos.

Entretanto, quando a produção de glicose é maior que o seu consumo, o excesso da produção é armazenado sob forma de amido. Em caso de necessidade, o vegetal lança mão dessas reservas. Por isso, diz-se que o amido é o material de reserva vegetal.

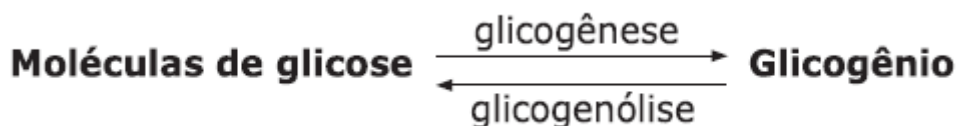
Além de ser uma reserva energética dos vegetais, o amido é também um importante alimento energético para os animais, uma vez que a maioria deles produz as enzimas necessárias para degradar a macromolécula de amido, transformando-a em várias moléculas menores de glicose, que, então, são absorvidas e usadas como fonte de energia.

Essa digestão do amido é feita em duas etapas, conforme mostra o esquema a seguir:



A macromolécula de glicogênio resulta da união de unidades de glicose. Esse polissacarídeo é encontrado em animais e em fungos e tem função de reserva energética, uma vez que é a forma como os animais e também os fungos armazenam glicose em suas células. Diz-se, portanto, que o glicogênio é o material de reserva dos animais (e também dos fungos). Em nosso organismo, por exemplo, o glicogênio é encontrado nas células do fígado e nas células musculares.

O processo de formação do glicogênio tem o nome de glicogênese. Quando se faz necessário, o glicogênio é quebrado e convertido em moléculas de glicose. Esse desdobramento do glicogênio em glicose denomina-se glicogenólise.



A celulose é o carboidrato mais abundante na natureza. Sua macromolécula resulta da associação de unidades de glicose. Sua função é tipicamente estrutural, uma vez que é o principal componente da parede celular (revestimento mais externo) das células vegetais.

São raros os organismos que produzem as enzimas necessárias para a digestão da celulose. Os ruminantes (boi, cabra, veado, girafa, etc.), por exemplo, são animais

essencialmente herbívoros que se alimentam de folhagens ricas em celulose. Assim como ocorre no nosso organismo, os ruminantes não produzem as enzimas necessárias para a digestão da celulose.

Entretanto, no estômago desses animais, vivem e proliferam certas espécies de microrganismos (bactérias e protozoários) que são capazes de produzir e de liberar as enzimas celulase e celobiase, permitindo, assim, que, no tubo digestório desses animais, haja o desdobramento da celulose em moléculas de glicose que, então, são absorvidas e utilizadas como fonte de energia. Para esses animais, a celulose é um importante alimento energético. A digestão completa da celulose, à semelhança do que acontece com a digestão do amido, é feita em duas etapas. Veja o esquema a seguir:



O homem, ao contrário dos animais herbívoros, não possui, em seu tubo digestório, os microrganismos produtores das enzimas celulase e celobiase. Dessa forma, nós não conseguimos aproveitar a celulose como fonte de energia. Entretanto, a celulose que ingerimos não é totalmente inútil para o nosso organismo, uma vez que ela, juntamente com outras substâncias, forma a parte vegetal dos alimentos conhecidas como fibras. Essas fibras vegetais dão consistência às fezes, estimulando os movimentos peristálticos do intestino e facilitando a defecação.

A quitina é um polissacarídeo nitrogenado, duro, resistente e insolúvel em água. É um polímero de N-acetilglicosamina. Tem função estrutural, sendo encontrado no exoesqueleto dos artrópodes e na parede celular dos fungos.

Os heteropolissacarídeos resultam da associação de diferentes tipos de monossacarídeos. Ácido hialurônico, condroitinsulfato A e heparina são alguns exemplos.

O ácido hialurônico e o condroitinsulfato são encontrados na matriz (substância intercelular) dos tecidos conjuntivos. A heparina tem propriedades anticoagulantes, sendo produzida pelos mastócitos (tipo de célula do tecido conjuntivo propriamente dito) e pelos basófilos (um tipo de leucócito).

ATIVIDADES

1. O que é um carboidrato e quais são os três grandes grupos de carboidratos?
2. Quais são os papéis biológicos dos polissacarídeos amido, glicogênio, celulose e quitina?
3. Sobre as funções dos carboidratos é INCORRETO afirmar:
 - a) Os alimentos que contêm carboidratos fornecem energia ao corpo humano.
 - b) O amido é um carboidrato considerado a principal reserva energética dos vegetais.
 - c) Os carboidratos participam da formação dos ácidos nucleicos, chamados de pentoses.
 - d) Os carboidratos têm a função estrutural em algumas células.

e) Os carboidratos auxiliam na formação dos ossos do corpo humano.

4. Os dissacarídeos são moléculas solúveis em água formados pela união de dois monossacarídeos. Qual das alternativas abaixo NÃO representa um desse tipo de carboidrato simples:

- a) sacarose (glicose + frutose).
- b) lactose (glicose + galactose).
- c) maltose (glicose + glicose).
- d) rafinose (glicose + frutose).
- e) n.d.a.



AULA 36

METABOLISMO CELULAR



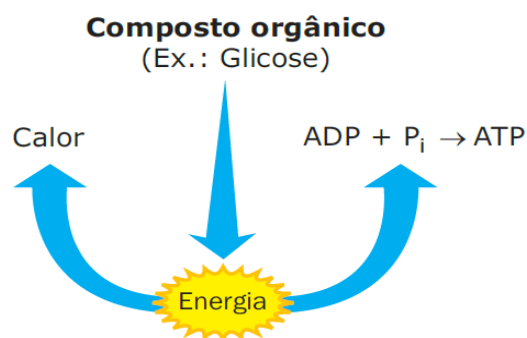
epois de estudarmos a composição química de diversas substâncias que ou fazem parte de nosso corpo ou atuam em nosso corpo para mantê-lo vivo e funcional, iremos estudar o mecanismo de geração desta energia que nos mantém continuamente vivos. Dentro da bioquímica, este conjunto de reações que ocorrem dentro das células é o metabolismo. Antes de prosseguir, leiamos estes versículos da Sagrada Escritura:

*"Não temais aqueles que matam o corpo, mas não podem matar a alma; temei antes aquele que pode precipitar a alma e o corpo na geena. Não se vendem dois passarinhos por um asse? No entanto, nenhum cai por terra sem a vontade de vosso Pai. **Até os cabelos de vossa cabeça estão todos contados.** Não temais, pois! Bem mais que os pássaros valeis vós." (São Mateus 10, 28-31)*

É maravilhoso pensarmos que se até os cabelos de nossa cabeça estão contados, tudo está sob os cuidados de Deus, até mesmo todas as reações bioquímicas que estão acontecendo agora em nosso metabolismo estão sendo conduzidas, em última instância, por Deus que tudo sustenta na existência. Com este olhar de maravilhamento e gratidão, é que estudaremos alguns processos que ocorrem nas células e que são essenciais para a manutenção da vida: os processos de produção de energia e divisão celular.

RESPIRAÇÃO CELULAR E FERMENTAÇÃO

Respiração celular e fermentação são processos de obtenção de energia a partir de compostos orgânicos. Consistem numa série de reações químicas que visam à degradação (“quebra”) de moléculas orgânicas no interior da célula, com o objetivo de liberar a energia nelas contida. Parte dessa energia irradia-se para o meio sob a forma de calor e parte é utilizada na síntese de moléculas de ATP, nas quais fica armazenada até ser utilizada numa atividade.



Os compostos orgânicos utilizados no processo de obtenção de energia estão representados, principalmente, pelos carboidratos, notadamente a glicose.

Assim, o objetivo da respiração celular e da fermentação é a síntese de moléculas de ATP.

Os compostos orgânicos utilizados no processo de obtenção de energia são principalmente os carboidratos, notadamente a glicose. No entanto, na carência de carboidratos, as células passam a utilizar lipídios e, na falta destes, chegam a lançar mão das proteínas para obtenção de energia.

O O_2 pode participar ou não como um dos reagentes dessas reações que visam à obtenção de energia. Quando o O_2 participa, diz-se que o processo é aeróbio (aeróbico); quando não há participação do O_2 , o processo é dito anaeróbio (anaeróbico). A respiração pode ser aeróbia ou anaeróbia, já a fermentação é um processo anaeróbio.

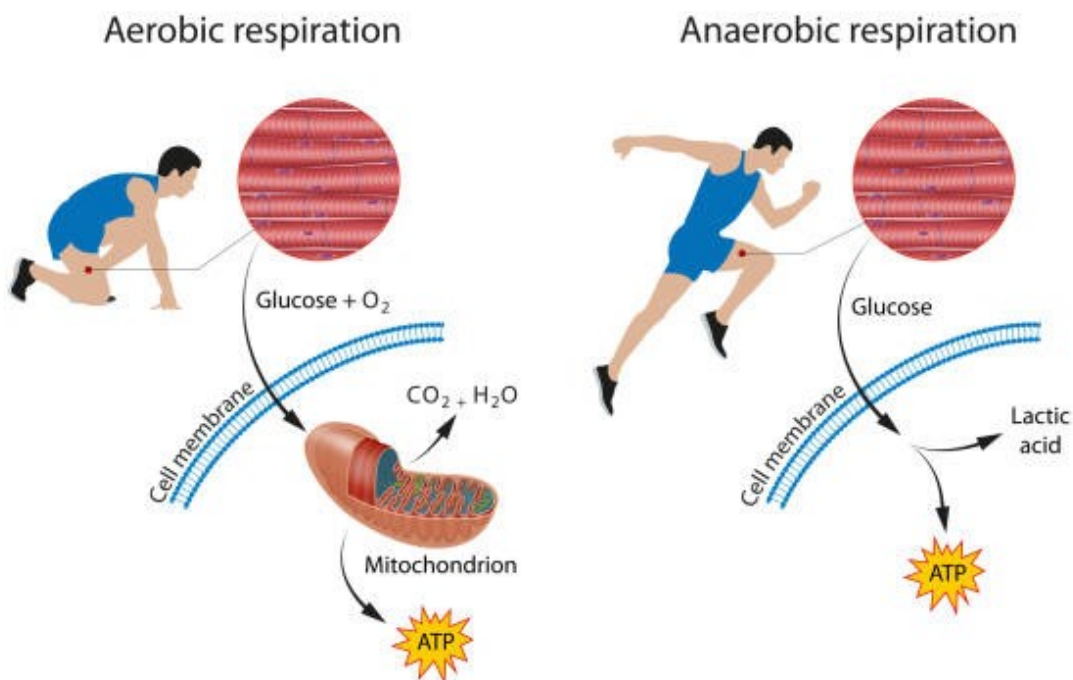
Existem células que só realizam processo aeróbio; outras que só realizam o processo anaeróbio; e, ainda, existem aquelas que podem realizar as duas modalidades. Assim, podemos classificar as células em:

Aeróbias estritas: só realizam o processo aeróbio. Na ausência de O_2 , morrem. A maioria das células do nosso corpo está incluída nessa categoria.

Anaeróbias estritas ou obrigatórias: só realizam o processo anaeróbio. A presença do O_2 , inclusive, lhes é prejudicial, chegando a matá-las.

Isso acontece, por exemplo, com células de alguns micro-organismos, como é o caso do *Clostridium tetani*, bactéria causadora do tétano.

Anaeróbias facultativas: são capazes de realizar processo aeróbio e anaeróbio, conforme tenham ou não à sua disposição o O_2 . Na presença de O_2 , realizam o processo aeróbio; na ausência de O_2 , passam a obter energia por processo anaeróbio. Isso é feito, por exemplo, por nossas células musculares esqueléticas.



Na respiração aeróbia há a produção de ATP e liberação de CO_2 e H_2O ; na respiração anaeróbia é produzido ATP e ácido láctico.

RESPIRAÇÃO AERÓBIA

No metabolismo celular, normalmente, a respiração aeróbia é feita a partir da glicose. Trata-se de uma reação exergônica (reação espontânea termodinamicamente falando) que pode ser representada de forma simplificada através da seguinte equação química:



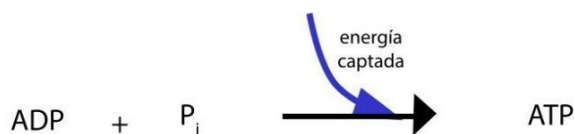
A glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), utilizada como reagente, pode ser obtida através da alimentação, no caso de organismo heterótrofo, ou, então, é produzida dentro da própria célula, através da fotossíntese ou da quimiossíntese, no caso de o organismo ser autótrofo.

O oxigênio (O_2), que também é um reagente da respiração aeróbia, normalmente é proveniente do meio ambiente, podendo, dependendo da espécie, ser retirado da atmosfera, da água (O_2 que se encontra dissolvido entre as moléculas de água dos rios, mares, lagos, etc.) e mesmo do solo.

O gás carbônico ou dióxido de carbono (CO_2) é um dos produtos finais da reação. Em altas concentrações no interior do organismo, torna-se uma substância prejudicial e tóxica para as células, uma vez que é um óxido ácido. Assim, quanto maior a sua concentração em um meio, mais ácido esse meio se torna. Essa acidificação excessiva pode levar à morte das células. Por isso, o CO_2 formado nas reações da respiração aeróbia, normalmente, é eliminado para o meio ambiente. Na respiração aeróbia, portanto, há, normalmente, uma troca de gases (absorção de O_2 e eliminação do CO_2) entre o organismo e o meio ambiente.

A água (H_2O), outro produto da reação, pode ser utilizada no próprio metabolismo celular, como também pode ser eliminada por meio de diferentes processos (transpiração, por exemplo).

Quanto à energia liberada pela reação, parte dela é perdida para o meio sob a forma de calor, e parte é utilizada na fosforilação de moléculas de ADP para a fabricação de ATP, conforme mostra o esquema a seguir:

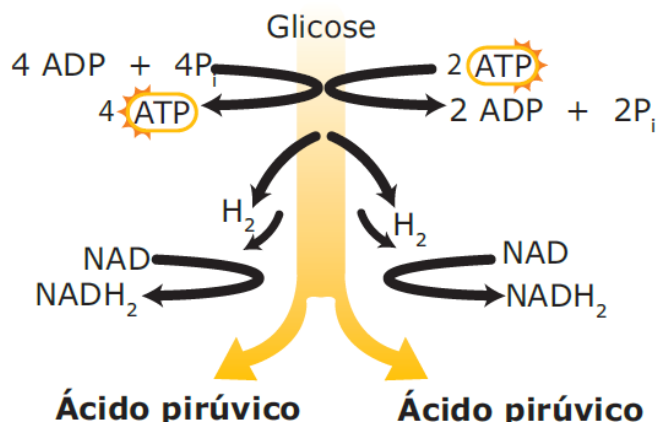


A respiração aeróbia, feita a partir da glicose, pode ser subdividida em três etapas básicas: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória, as quais estudaremos nesta e na próxima aula.

GLICÓLISE

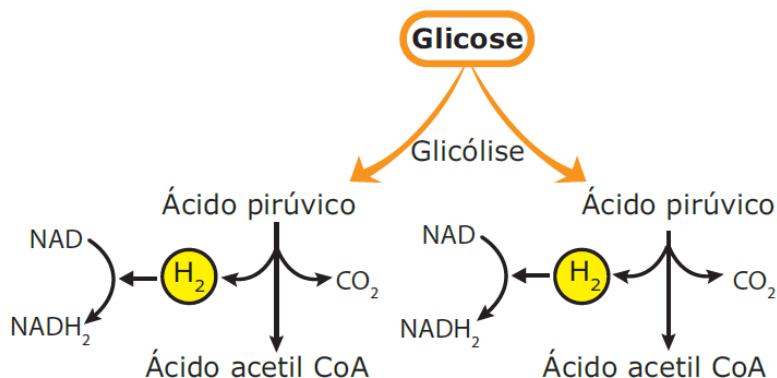
Ocorre no citoplasma das células e consiste numa sequência de reações que tem como finalidade “quebrar” ou decompor a molécula de glicose (que possui 6 carbonos) em duas moléculas menores (cada uma com 3 carbonos) de uma substância denominada ácido pirúvico (piruvato).

De forma mais simples, podemos resumir a glicólise da seguinte maneira:



Glicólise – O esquema mostra resumidamente que as reações da glicólise consomem 2 ATP, liberam hidrogênios com a consequente formação de 2NADH_2 ($2\text{NADH} + \text{H}^+$), liberam energia que é utilizada para a síntese de 4 ATP e formam duas moléculas de ácido pirúvico. O NAD ou NAD^+ (nicotinamida adenina dinucleotídeo) é um transportador de hidrogênios. Ao receber hidrogênios, o NAD passa para a sua forma reduzida $\text{NADH} + \text{H}^+$ que, por comodidade didática, muitos autores preferem representar por NADH_2 ou $\text{NAD}\cdot 2\text{H}$). Embora a oxidação e a redução sejam definidas para perda e ganho de elétrons, podemos também usar esses termos quando são ganhos ou perdidos átomos de hidrogênio, porque as transferências de átomos de hidrogênio envolvem transferência de elétrons ($\text{H} = \text{H}^+ + \text{e}^-$). Os NADH_2 formados na glicólise irão para a cadeia respiratória.

Após a glicólise, cada molécula de ácido pirúvico sofre descarboxilação (saída de CO_2 , devido à ação das enzimas descarboxilases), e desidrogenação (saída de H_2), transformando-se em ácido acético (composto com apenas dois carbonos na molécula).

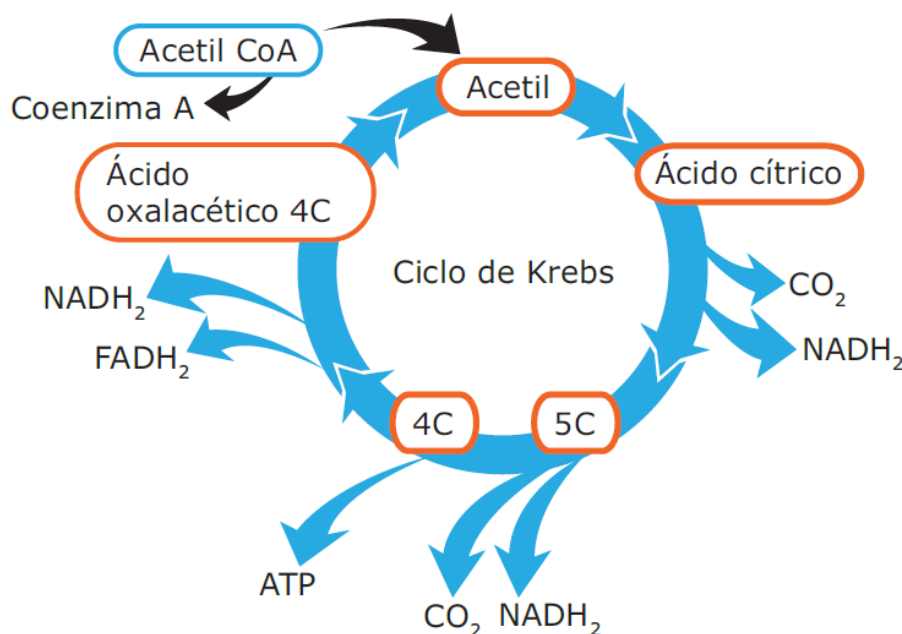


As moléculas de CO_2 liberadas dessas reações são eliminadas para o meio extracelular e, posteriormente, liberadas no meio ambiente. Os H_2 liberados são captados por moléculas de NAD, formando NADH_2 que, por sua vez, irão para a cadeia respiratória. Cada molécula de ácido acético liga-se à coenzima A, formando um composto conhecido por acetil CoA que irá para o ciclo de Krebs.

CICLO DE KREBS

O radical acetil do ácido acético desliga-se da coenzima A e reage com o ácido oxalacético (um composto que tem 4 carbonos na molécula), formando o ácido cítrico (com

6 carbonos na molécula). Assim, o ácido cítrico é o primeiro composto formado nessa etapa e, por isso, o ciclo de Krebs é conhecido também por ciclo do ácido cítrico. No quadro a seguir, temos uma representação esquemática e resumida do ciclo de Krebs.



Ciclo de Krebs – O esquema do ciclo de Krebs representado anteriormente mostra que, em cada volta do ciclo, ocorrem os seguintes fenômenos: o ácido cítrico é degradado sucessivamente em compostos com 5 e 4 carbonos, até reconstituir o ácido oxalacético; liberação de 2CO_2 (descarboxilação) que, normalmente, serão eliminados para o meio extracelular e, posteriormente, para o meio ambiente; liberação de energia que permitirá diretamente a síntese de um ATP e liberação de 4H_2 (desidrogenação). Destes, 3H_2 são captados por moléculas de NAD, formando 3NADH_2 , e o outro H_2 liga-se a uma molécula de FAD, formando um FADH_2 . O FAD (flavina adenina dinucleotídeo), assim como o NAD, é um acceptor e transportador de hidrogênios. Os NADH_2 e o FADH_2 formados durante as reações do ciclo de Krebs também irão para a cadeia respiratória.

ATIVIDADES

1. Qual a importância da produção de energia realizada pelas células?
2. Quais são os passos da produção de energia em um ser vivo aeróbico (que utiliza oxigênio)?
3. Sobre a glicólise:
 - a) Onde ocorre?
 - b) Explique os passos.
 - c) Qual o saldo de energia?
4. Sobre o ciclo de Krebs:
 - a) Onde ocorre?
 - b) Explique as etapas.
 - c) Qual o saldo de energia?



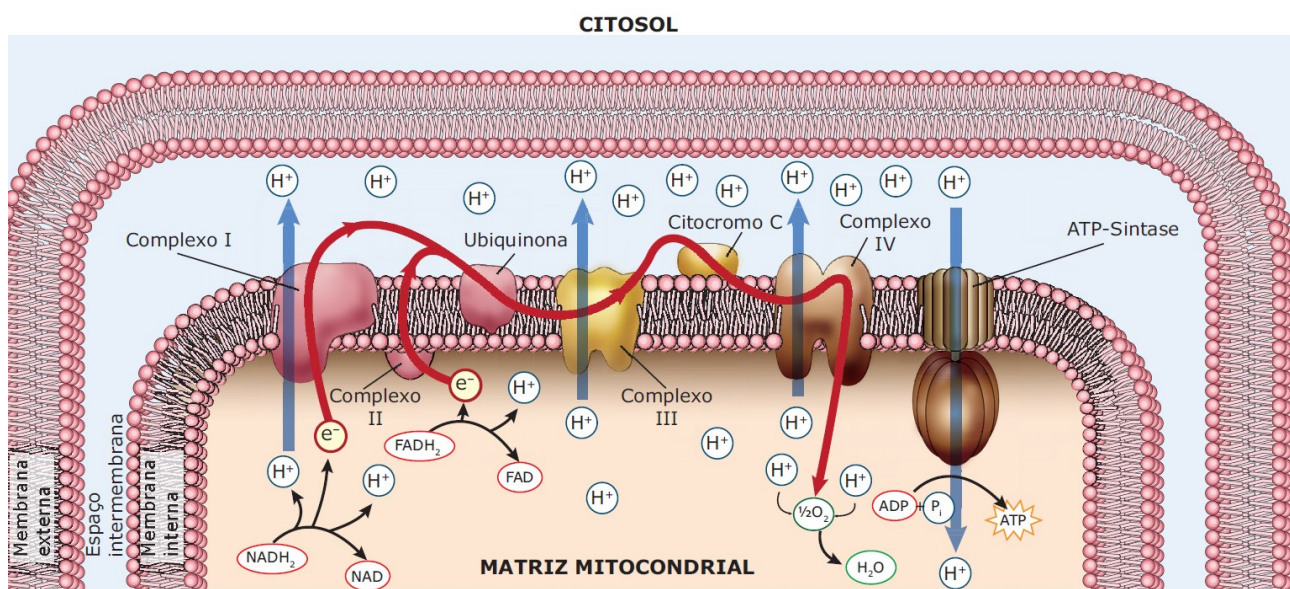
AULA 37

CADEIA RESPIRATÓRIA



Continuando o processo metabólico da respiração celular aeróbia, temos a cadeia respiratória. A cadeia respiratória, que nas células eucariotas é realizada na membrana interna da mitocôndria, tem início a partir dos NADH_2 e dos FADH_2 produzidos nas etapas anteriores da respiração celular. Nela, ocorre síntese de água, transporte de elétrons através de uma cadeia de substâncias (cadeia transportadora de elétrons) e bomba de prótons (H^+) com consequente síntese de ATP.

A cadeia transportadora de elétrons é um conjunto de reações de oxirredução que envolve a participação de quatro complexos proteicos (I, II, III e IV) e de duas moléculas conectoras móveis: a ubiquinona (coenzima Q) e o citocromo C. A bomba de prótons é um mecanismo de transporte ativo que transfere íons H^+ da matriz mitocondrial para o espaço intermembrana (espaço existente entre a membrana externa e a membrana interna da mitocôndria). A ilustração a seguir mostra de forma simplificada os principais fenômenos da cadeia respiratória.



A cadeia respiratória – A oxidação dos NADH_2 ($\text{NADH}_2 \rightarrow \text{NAD} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$) e a dos FADH_2 ($\text{FADH}_2 \rightarrow \text{FAD} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$) liberam elétrons e prótons. Os elétrons provenientes da oxidação dos NADH_2 são recebidos pelo complexo I no começo da cadeia respiratória, enquanto aqueles provenientes dos FADH_2 são recebidos pelo complexo II.

Desses receptores (I e II), os elétrons são transferidos para a ubiquinona, de onde são repassados para o complexo III e daí para o citocromo C. Do citocromo C, eles são enviados para o complexo IV, que, então, os entrega ao O_2 , que se combina com íons H^+ , formando água (H_2O). O oxigênio, portanto, é o receptor final dos elétrons na cadeia transportadora. Nesse processo de transferência de elétrons dos $NADH_2$ e dos $FADH_2$ até o O_2 , há, gradativamente, liberação de energia. Parte dessa energia é dissipada sob a forma de calor e parte é utilizada para bombear prótons (H^+) da matriz mitocondrial para o espaço existente entre as membranas mitocondriais. Portanto, à medida que os elétrons passam pela cadeia transportadora, os prótons são bombeados para o espaço intermembrana.

O acúmulo de íons H^+ nesse espaço cria um gradiente de concentração de prótons: concentração alta de H^+ no espaço intermembrana e concentração baixa de H^+ na matriz mitocondrial. Devido à carga positiva nos prótons (H^+), estabelece-se também uma diferença na carga elétrica: a matriz mitocondrial torna-se mais negativa que o espaço intermembrana. Juntos, o gradiente de concentração de prótons e a diferença de carga constituem uma fonte de energia potencial denominada força motora de prótons. Essa força aciona o retorno de prótons para a matriz mitocondrial, através de um canal específico de prótons formado por um complexo proteico denominado ATP-sintase (ATP-sintetase). Ao passar por esse complexo proteico, ocorre liberação de energia, que é, então, utilizada para fosforilar o ADP, ou seja, acrescentar um fosfato ao ADP, transformando-o em ATP. O complexo ATP-sintase “extraí” energia química dos íons H^+ para sintetizar ATP. Essa fosforilação que ocorre na cadeia respiratória é conhecida por fosforilação oxidativa.

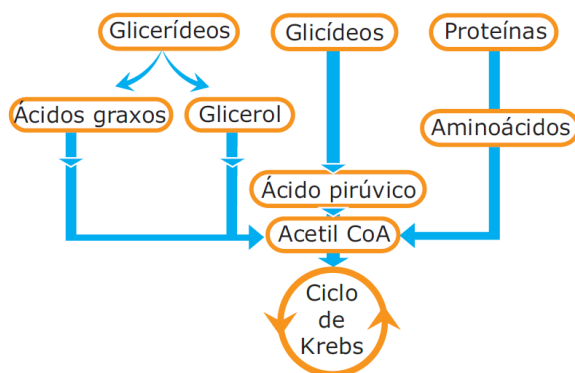
As reações da cadeia respiratória são de oxirredução, isto é, reações que envolvem perda e ganho de hidrogênios e de elétrons (uma substância que perde elétrons ou hidrogênios fica oxidada; quando ganha elétrons ou hidrogênios, fica reduzida). A glicose e seus subprodutos, por exemplo, ao perderem hidrogênios para os NAD, estão sofrendo oxidação. Por isso, fala-se que durante a respiração ocorre oxidação da glicose. Por outro lado, os NAD, ao receberem hidrogênios transformando-se em $NADH_2$, estão sofrendo redução. Todos os componentes da cadeia respiratória, ao receberem elétrons, reduzem-se e, ao cedê-los para a substância seguinte, tornam a se oxidar. Assim, na respiração celular, a todo momento ocorrem reações de oxidação e de redução.

O objetivo da respiração celular é a produção de ATP. A produção líquida ou saldo energético (em moléculas de ATP) por glicose pode chegar a 32 ATP, dependendo do tipo de célula. Veja a tabela a seguir:

Saldo energético da respiração aeróbia /glicose	
Glicólise	São produzidos 4 ATP. Como são gastos 2 ATP, há saldo positivo de 2 ATP.
Ciclo de Krebs	Cada ciclo produz 1 ATP. Como são 2 ciclos por glicose, o saldo é de 2 ATP.
Cadeia respiratória	Cada $NADH_2$ proporciona a síntese de 2,5 ATP. Como são 10 $NADH_2$ por glicose, a partir deles são produzidos 25 ATP. Cada $FADH_2$ proporciona a síntese de 1,5 ATP. Como são 2 $FADH_2$ por glicose, a partir deles são produzidos 3 ATP.
Salto total => 2 ATP + 2 ATP + 25 ATP + 3 ATP = 32 ATP.	

Existem células em que a membrana interna da mitocôndria é impermeável ao NADH_2 . Nessas células, a passagem para o interior da mitocôndria dos hidrogênios transportados pelos 2NADH_2 , produzidos no citosol durante a glicólise, requer gasto de energia, sendo gasto 1 ATP para cada um desses NADH_2 . Nessas células, portanto, o saldo energético / glicose é de 30 ATP ($32 - 2 = 30$ ATP).

Para realizar a respiração aeróbica, a glicose é o “combustível” preferido pela célula. Mas não é o único. Na falta de glicose, a célula lança mão dos lipídios e, caso haja necessidade, até das proteínas. Isso é possível porque a substância acetil CoA, formada na respiração aeróbica, também pode ser produzida a partir de outros compostos orgânicos, como ácidos graxos, glicerol e aminoácidos. Portanto, tanto os carboidratos como os lipídios e as proteínas podem originar o acetil CoA através de diferentes vias metabólicas. O acetil CoA, independentemente de onde provém, seguirá o mesmo caminho, ou seja, entrará no ciclo de Krebs, conforme mostra o esquema a seguir:



A respiração aeróbia, não importando se feita a partir de glicídio, lipídio ou proteína, necessita de O_2 para sua realização, e, no decorrer das reações, há a produção de CO_2 . A relação existente entre a quantidade de moléculas de CO_2 liberadas durante a reação e a quantidade de moléculas de O_2 consumidas denomina-se **quociente respiratório (Q.R.)**. Veja os exemplos a seguir:

$$Q.R. = \frac{\text{CO}_2 \text{ liberado}}{\text{O}_2 \text{ consumido}}$$

$$Q.R. \text{ da glicose } (C_6H_{12}O_6): C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$$Q.R. = \frac{6}{6} = 1$$

$$Q.R. \text{ do ácido esteárico } (C_{18}H_{36}O_2): C_{18}H_{36}O_2 + 26O_2 \rightarrow 18CO_2 + 18H_2O$$

$$Q.R. = \frac{18}{26} = 0,69$$

Os exemplos anteriores mostram que o Q.R. é diferente para cada tipo de substância. O ácido esteárico, por exemplo, requer muito mais oxigênio para sua oxidação do que a glicose.

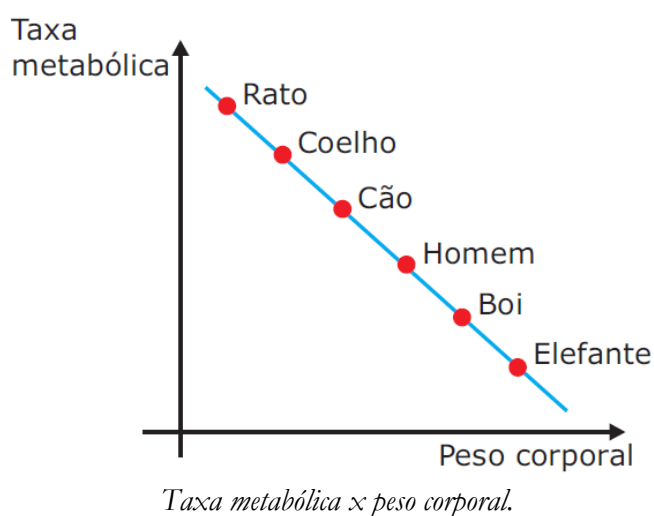
O consumo de O_2 está diretamente relacionado às atividades metabólicas. Assim, uma das maneiras de se avaliar a taxa metabólica de um organismo aeróbio é através do consumo de O_2 feito por esse organismo num determinado intervalo de tempo: quanto mais intensa a

atividade metabólica, mais intensamente se faz a respiração celular e, consequentemente, maior será o consumo de O_2 .

Animais lentos e animais que vivem fixos a substratos têm, em geral, taxas metabólicas menores do que animais mais ativos. As taxas de consumo de O_2 nos celenterados sésseis (fixos), por exemplo, são relativamente baixas, enquanto, nos mamíferos e nos insetos voadores, são mais elevadas.

As taxas metabólicas variam também num mesmo indivíduo, dependendo da idade, das atividades realizadas, do estado nutricional e da hora do dia. Por exemplo: quando o animal realiza um trabalho muscular intenso, consome muito mais O_2 do que quando está em repouso. Um mamífero correndo usa entre 5 e 20 vezes mais O_2 por minuto do que quando está parado. Insetos durante o voo consomem cerca de 100 vezes mais oxigênio do que quando estão no chão.

Há também uma diferença quando comparamos animais pecilotermos (poiquilotermos) com os homeotermos. Os pecilotermos, também conhecidos por animais de “sangue frio”, possuem metabolismo mais baixo do que os homeotermos. Contudo, nos homeotermos, a taxa metabólica varia na razão inversa ao tamanho ou à massa corporal. Animais grandes têm menor taxa metabólica do que animais pequenos. Num animal pequeno, a superfície do corpo é grande em relação ao seu volume e, dessa forma, a perda de calor pela pele é relativamente maior. Por isso, os animais pequenos têm necessidade de maior consumo de alimento por grama de peso que animais maiores. Um elefante, por exemplo, tem menor taxa metabólica do que um rato.



O gráfico ao lado mostra a relação entre a taxa metabólica e o peso corporal de alguns animais homeotermos.

ATIVIDADES

1. Sobre a fosforilação oxidativa (cadeia respiratória):

- Onde ocorre?
- Quais os passos?
- Qual o saldo de energia?

2. A respiração aeróbia, não importando se feita a partir de glicídio, lipídio ou proteína, necessita de O_2 para sua realização, e, no decorrer das reações, há a produção de CO_2 . Como podemos verificar qual dos “combustíveis” é mais eficiente?