

BIOLOGIA

3º Ano

Parte II

Aluno(a): _____

Nº: _____

Turma: _____

Turno: _____

Prof.: Lourenço

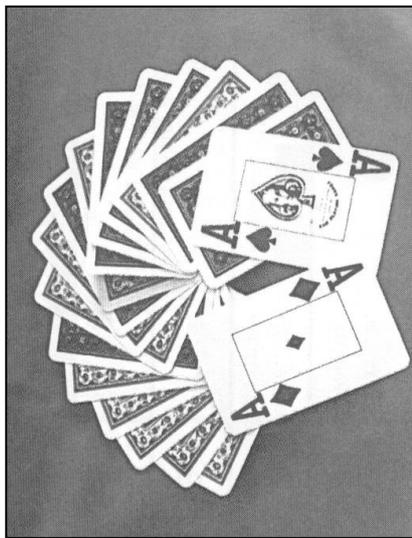
GENÉTICA

PROBABILIDADE

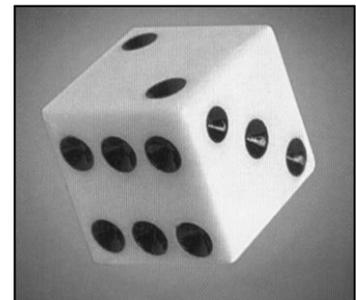
A noção de probabilidade é uma ferramenta importante para se entenderem melhor as leis de Mendel. Essa noção permite lidar com os eventos que ocorrem ao acaso, também chamados aleatórios ou de sorte.

Um bom exemplo de evento aleatório é o do encontro de dois tipos de gametas, um espermatozoide e um óvulo. Imaginemos um homem de genótipo **Aa**, casado com uma mulher **aa**. A mulher produz sempre óvulos **a**; o homem produz dois tipos de espermatozoides: **A** e **a**. O fato de ser o espermatozoide **A** ou o espermatozoide **a** a fecundar o óvulo depende apenas do acaso; pode-se dizer, intuitivamente, que a chance ou probabilidade de cada um desses eventos ocorrer é de $1/2$.

Outro exemplo: imagine o lançamento de uma moeda; podem ocorrer 2 eventos, com igual probabilidade: **cara** ou **coroa**. Se alguém nos perguntar qual a probabilidade de sair cara num lançamento, raciocinaremos assim: há 1 evento favorável (cara) em 2 eventos igualmente possíveis (cara e coroa). Diremos, assim, que a probabilidade é de $1/2$.



Em um baralho normal, a probabilidade de se tirar um ás de ouro ou de espada é $1/26$



Um dado comum tem 6 faces. Qual é a probabilidade de aparecer a face 5, ao jogar-se o dado uma só vez? Cada uma das 6 faces tem a mesma chance de aparecer, se o dado não for viciado. Assim, há 1 evento favorável (a face 5) e 6 eventos igualmente possíveis (as faces 1, 2, 3, 4, 5 e 6). A probabilidade, então, é de $1/6$. No caso do mesmo dado, qual é a probabilidade de aparecer uma face par? Há 3 eventos favoráveis (2, 4, 6) e 6 eventos igualmente possíveis; assim, a probabilidade de aparecer uma face par é de $3/6$ ou $1/2$.

Estamos prontos, assim, para definir de forma simples o que seja probabilidade, desde que todos os eventos sejam igualmente possíveis.

A REGRA DO "OU"

Vamos ainda usar o exemplo do dado. Qual é a probabilidade de, numa jogada, sair o

4 ou o **5**? Trata-se de 2 eventos favoráveis, mutuamente exclusivos (isto é, saindo o 4, não pode sair junto o 5, e vice-versa). Neste caso, a probabilidade é dada pela soma das probabilidades isoladas:

$$P(4 \text{ ou } 5) = 1/6 + 1/6 = 2/6 = 1/3$$

A REGRA DO "E"

Uma situação muito frequente num problema de Genética é aquela em que necessitamos calcular a probabilidade de dois eventos independentes ocorrerem simultaneamente. Vamos primeiro explicar essa situação usando exemplos de dados e moedas, e a seguir aplicaremos o que aprendemos a algumas situações de herança.

Vamos supor que se lancem ao mesmo tempo um dado e uma moeda. Qual é a probabilidade de obtermos simultaneamente cara e 5? Veja que são eventos totalmente independentes: o que acontecer na moeda não influirá sobre o resultado do dado e vice-versa. Percebemos que existem 12 eventos igualmente possíveis, mas apenas um deles é favorável (cara e 5). Aplicando o conceito de probabilidade, falamos que $P(\text{cara e } 5) = 1/12$.

Existe, no entanto, um método mais simples de se obter esse resultado. Veja bem: a probabilidade isolada de sair cara é igual a $1/2$; a probabilidade isolada de sair 5 é de $1/6$. A probabilidade de obtermos **cara** e **5** é dada pelo produto das probabilidades isoladas:

$$P(\text{cara e } 5) = 1/2 \cdot 1/6 = 1/12$$

Acompanhe o exemplo abaixo:

O albinismo (doença genética que determina falta de pigmentação na pele e olhos) é determinado pelo gene **a** e a pigmentação normal por um gene **A**. Se um homem normal heterozigoto para o albinismo (**Aa**) casa-se com uma mulher albina (**aa**), qual é a probabilidade do casal ter um filho do sexo **feminino** e **albino**?

Resolução:

- $P(\text{sexo feminino}) = 1/2$

		gametas maternos	
		a	a
gametas paternos	A	Aa normal	Aa normal
	a	aa albino	aa albino

Após o cruzamento, conclui-se que:

- $P(\text{albino}) = 1/2$

Portanto, utilizando-se a regra do "e", teremos:

$$P ("menina" e "albina") = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01) Num baralho normal de 52 cartas, qual é a probabilidade de obtermos um rei qualquer?

02) No lançamento de um dado normal, qual é a probabilidade de obtermos uma face par?

03) Se a probabilidade de nascimento de uma menina é igual a $1/2$, qual é a probabilidade de nascer um menino?

04) Qual é a probabilidade de uma criança herdar o gene **a** de sua mãe **Aa**?

05) O albinismo é condicionado por gene recessivo. João e sua esposa Maria têm pigmentação normal. João é filho de um homem normal e de uma mulher albina; Maria é filha de uma mulher normal e de um pai albino. Qual é a probabilidade de a primeira criança do casal ser albina e do sexo masculino?

06) (FGV-SP) Na espécie humana, um determinado caráter é causado por um gene autossômico recessivo. A probabilidade de um homem híbrido produzir espermatozoides contendo o gene recessivo é de:

- a () 25%
- b () 30%
- c () 50%
- d () 75%
- e () 100%

07) (FEI-SP-mod.) O albinismo, despigmentação da pele, da íris dos olhos e dos cabelos, é uma doença transmitida por herança genética autossômica recessiva. Um homem albino casa-se com uma mulher normal, filha de pai albino. Qual é a probabilidade de o casal ter 3 crianças albinas em seguidas gestações?

- a () 1/32
- b () 1/64
- c () 1/16
- d () 1/12
- e () 1/8

08) (Fuvest-SP) Do casamento entre uma mulher albina com cabelos crespos e um homem normal com cabelos crespos, cuja mãe é albina, nasceram duas crianças, uma com cabelos crespos e outra com cabelos lisos. A probabilidade de que uma terceira criança seja albina com cabelos crespos é:

- a) 75%
- b) 50%
- c) 37,5%
- d) 25%
- e) 12,5%

ALELOS MÚLTIPLOS

Genes alelos, você já sabe, condicionam o mesmo caráter e se localizam na mesma região, no mesmo *locus* de dois cromossomos homólogos. Nos exemplos que estudamos até o momento, sempre havia duas qualidades de genes alelos: **A** e **a** no caso do albinismo, **R** e **r** para sementes lisas e rugosas e assim por diante. Às vezes, a relação entre os alelos era de dominância; outras vezes, como na maravilha (uma planta), ambos os alelos participavam do caráter: os genes **V** e **B**, respectivamente para vermelho e branco, quando juntos condicionavam a cor rosa.

Há casos em Genética, porém, em que existem mais de duas qualidades de genes para um mesmo caráter. Imagine uma situação em que existam três qualidades de alelos: **A**, **a** e **a'**. Esses três genes são chamados **alelos múltiplos**, pelo fato de existirem mais de duas qualidades possíveis.

Cada indivíduo tem apenas dois genes, localizados no seu par de homólogos. No entanto, os genótipos possíveis na população são mais numerosos: **AA**, **Aa**, **Aa'**, **aa**, **aa'** e **a'a'**. Está claro que a 1ª Lei continua válida: o caráter continua sendo condicionado por dois genes, passando apenas um gene ao gameta. A diferença consiste somente no fato de haver, na população, mais de duas qualidades de alelos.

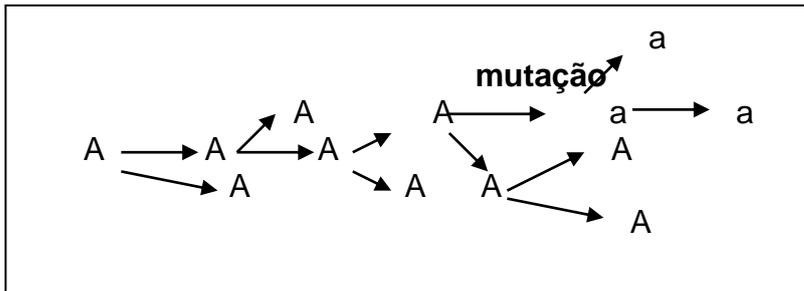
ALELOS MÚLTIPLOS SURGEM POR MUTAÇÃO

Genes são pedaços de DNA. Quando um gene **A** se duplica, são produzidos dois

genes **A**; estes, ao se duplicarem, sempre produzem genes **A**, a não ser que ocorra um acidente eventual, ou **mutação**. Ao sofrer mutação, um gene **A** sofre uma pequena modificação: surge dessa forma o gene **a**, que faz uma proteína ligeiramente diferente.

Nada impede que, ao longo da evolução, novas mutações ocorram, tanto no gene **A** quanto no **a**, produzindo uma terceira, quarta ou quinta versão do gene original. É assim que os alelos múltiplos se originam.

A condição para que o gene novo permaneça na população é que não cause um fenótipo desfavorável ao indivíduo. Genes que causam defeitos graves são normalmente eliminados por seleção natural, já que os indivíduos que possuem o gene têm chances pequenas de sobrevivência e reprodução.



OS GRUPOS SANGUÍNEOS DO SISTEMA ABO

O caso dos grupos sanguíneos na espécie humana é um exemplo clássico de alelos múltiplos. Antes, porém, de discutir como são transmitidos, vamos verificar o que são esses grupos, de fato.

Transfusões de sangue são usadas em medicina há bastante tempo. No entanto, até o século passado ocorriam às vezes acidentes fatais; isso era devido ao fato de não se saber que existem vários tipos de sangue. Os acidentes ocorriam quando havia incompatibilidade entre o sangue do doador e o do receptor.

Em 1900, o pesquisador Landsteiner verificou, através de experimentos, a existência na espécie humana de quatro grupos com diferentes composições de sangue. Ele misturava em lâminas de vidro gotas de sangue de pessoas distintas. Em alguns casos, havia a aglutinação das hemácias, isto é, elas se grudavam umas às outras, formando verdadeiros grumos; em outros casos, a aglutinação não ocorria.

Compreendeu-se assim que, nas transfusões mal sucedidas, as hemácias do doador se aglutinavam na circulação do receptor, o que obstruía os finíssimos capilares, podendo levar, eventualmente, à morte.

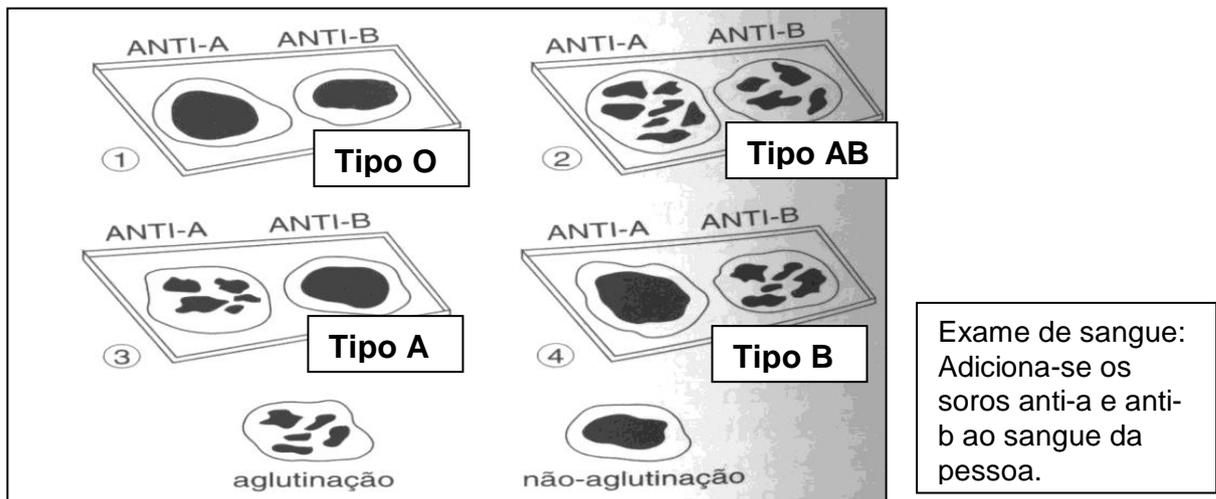
A aglutinação, entendeu-se logo, é um fenômeno de reação antígeno-anticorpo. As hemácias possuem substâncias na sua membrana plasmática; essas substâncias não são necessariamente iguais em todas as pessoas. Caso sejam introduzidas na circulação de uma pessoa hemácias que contenham uma molécula que não seja natural da pessoa, a substância será interpretada como antígeno. No soro dos diversos indivíduos há outras substâncias, com o papel de anticorpos, que reagem com os antígenos introduzidos.

No caso dos grupos sanguíneos, tanto antígenos (ou aglutinogênios) como anticorpos (ou aglutininas) já existem no sangue, naturalmente, sendo determinados geneticamente. Repare então que os anticorpos estão presentes no sangue, independentemente de ter ou não havido a entrada de antígeno através de transfusão.

AS SUBSTÂNCIAS NAS HEMÁCIAS E NO SORO

A seguir, mostramos os quatro grupos sanguíneos com as substâncias que possuem nas hemácias (antígeno) e no soro (anticorpo). Repare que os indivíduos do grupo **A** têm na hemácia a substância **a**, que poderá funcionar como antígeno se introduzida em indivíduos de grupo diferente. No soro, as pessoas **A** têm anticorpo anti-b. Os indivíduos do grupo **B** têm, na hemácia, o antígeno **b**, e no soro o anticorpo anti-a. Pessoas **AB** têm os dois antígenos na hemácia e nenhum anticorpo no soro. Pessoas **O**, ou zero, não têm antígenos na hemácia, mas possuem os dois anticorpos no soro.

Tipo de sangue	Antígeno (aglutinogênio) na hemácia	Anticorpo (aglutinina) no soro
A	A	anti-B
B	B	anti-A
AB	A e B	—
O	—	anti-A e anti-B



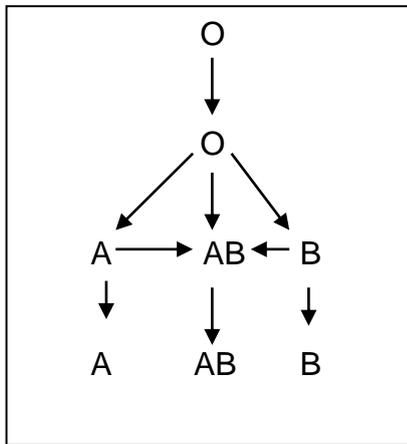
COMO PROCEDER NAS TRANSFUSÕES SANGUÍNEAS

Uma observação cuidadosa da tabela vai permitir que você deduza facilmente as transfusões que podem ser feitas sem perigo e aquelas em que os sangues não são compatíveis. Uma regra simples: transfusões dão problemas quando o sangue doado contém o antígeno e o sangue do receptor contém o anticorpo correspondente.

Assim, se introduzirmos sangue **A** (portanto, com antígeno a) num indivíduo **B** (que tem anticorpos anti-a), haverá evidentemente aglutinação das hemácias doadas, causada pelos anticorpos presentes no soro do receptor. Da mesma forma, sangue **B** (com antígeno b), sendo introduzido num receptor **A** (com soro contendo anti-b), será aglutinado e trará risco de vida.

O sangue de pessoas do grupo **O**, por não ter nenhum antígeno, pode ser doado sem risco para pessoas de qualquer outro grupo. Chamamos essas pessoas de **doadores universais**. É verdade que esse sangue possui os dois tipos de anticorpos, anti-a e anti-b; no entanto, quando esse sangue é transfundido, esses anticorpos se diluem muito na

circulação do receptor, não constituindo, portanto, risco grande de causar aglutinação. Repare ainda que pessoas do grupo **O** só podem receber sangue de seu mesmo tipo, devido aos dois anticorpos que têm.



A GENÉTICA DO SISTEMA ABO

Os grupos sanguíneos do sistema **ABO** são condicionados por três genes. É um caso de alelos múltiplos. Em 1925, Bernstein demonstrou a presença desses três genes alelos (I^A , I^B , i). Os genes I^A e I^B apresentam uma relação de co-dominância (herança sem dominância), mas ambos são dominantes com relação ao recessivo i . Para cada fenótipo, temos os genótipos abaixo:

Fenótipos	Genótipos
grupo A	$I^A I^A$, $I^A i$
grupo B	$I^B I^B$, $I^B i$
grupo AB	$I^A I^B$
grupo O	ii

A letra **I**, que denomina o gene, vem do termo isoaglutinação, pois ela ocorre entre seres da mesma espécie.

Descobriu-se recentemente que existem outras modalidades de genes no mesmo *locus* cromossômico para o sistema ABO (A_2 , A_3 , A_x , A_m), que condicionariam subgrupos dos grupos já conhecidos. Trabalharemos, no entanto, com o sistema clássico de três genes.

Em casos de paternidade duvidosa, os grupos sanguíneos têm sido usados em Medicina legal para a exclusão de alguns indivíduos envolvidos.

Os grupos sanguíneos do sistema ABO aparecem na população, conforme as proporções abaixo:

Grupo	% entre os brancos	% entre os negros	% entre os amarelos
A	39%	30,5%	37%
B	9,7%	11,9%	22,7%

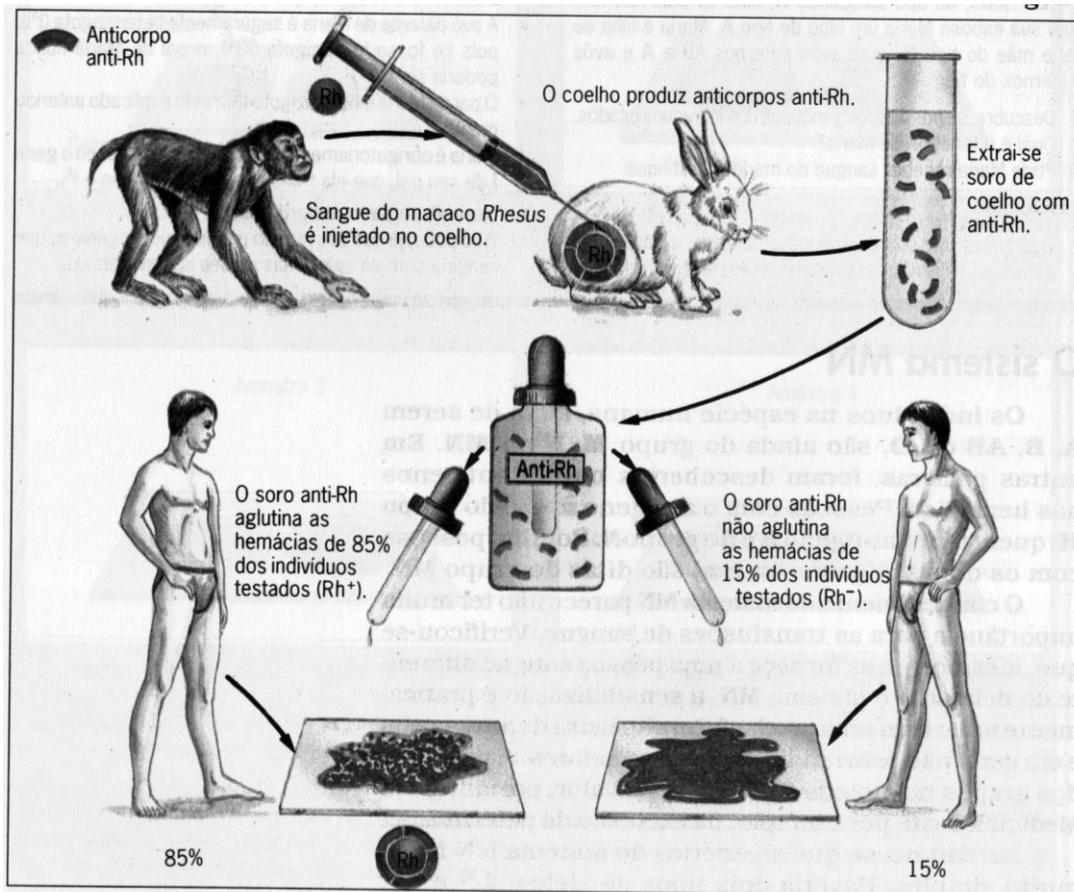
AB	3,5%	4,2%	13,3%
O	47,8%	53,4%	27%

FATOR RH

Em 1940, os cientistas Karl Landstainer e A. S. Wiener descobriram o fator Rh no sangue do macaco reso. Suspeitaram eles que no sangue de 85% das pessoas deveria haver o mesmo antígeno.

O termo **fator Rh** deve-se às iniciais de *Rhesus*.

Indivíduos em cujo sangue existe o fator Rh apresentam sangue Rh positivo (**Rh⁺**) ; aqueles em que o fator Rh está ausente apresentam sangue Rh negativo (**Rh⁻**).



A descoberta do sistema Rh veio esclarecer os casos em que as transfusões de sangue ocasionavam reações graves de incompatibilidade, embora tanto o doador como o receptor tivessem sido testados quanto ao sistema ABO. O encontro de hemácias do doador, portadoras do fator **Rh**, com o plasma do receptor, contendo anticorpos **anti-Rh**, determina a ocorrência de **aglutinação** semelhante àquela causada por aglutinogênios e aglutininas do sistema ABO. Ao se realizar uma transfusão, é importante que seja feita a tipagem quanto aos sistemas ABO e Rh.

Ao contrário do sistema ABO, em que as pessoas possuem aglutininas anti-A ou anti-B mesmo sem terem recebido transfusões anteriores, os anticorpos anti-Rh só são produzidos quando uma pessoa de sangue **Rh negativo** entra em contato com o fator Rh.

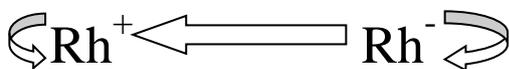
Quando se faz a tipagem de uma amostra de sangue, geralmente empregam-se

anticorpos anti-A, anti-B e anti-Rh, determinando-se simultaneamente o grupo ABO e o Rh.

A determinação genética do sistema Rh é relativamente complexa, e novos antígenos têm sido progressivamente descobertos. Entretanto, para efeitos práticos, pode-se entender a transmissão dessa característica como um caso de monoidrismo com dominância completa: um par de alelos **D** e **d**, em que o alelo dominante **D** determina a produção do fator Rh e o alelo recessivo **d** determina sua ausência.

Genótipos	Fenótipos
DD (ou RR)	Rh positivo
Dd (ou Rr)	Rh positivo
dd (ou rr)	Rh negativo

As pessoas do tipo Rh positivo podem receber tanto sangue Rh positivo como negativo, pois não possuem nem produzem anticorpos anti-Rh. Já as pessoas do tipo Rh negativo só devem receber sangue Rh negativo, caso contrário irão sensibilizar-se e produzir o anticorpo **anti-Rh**.

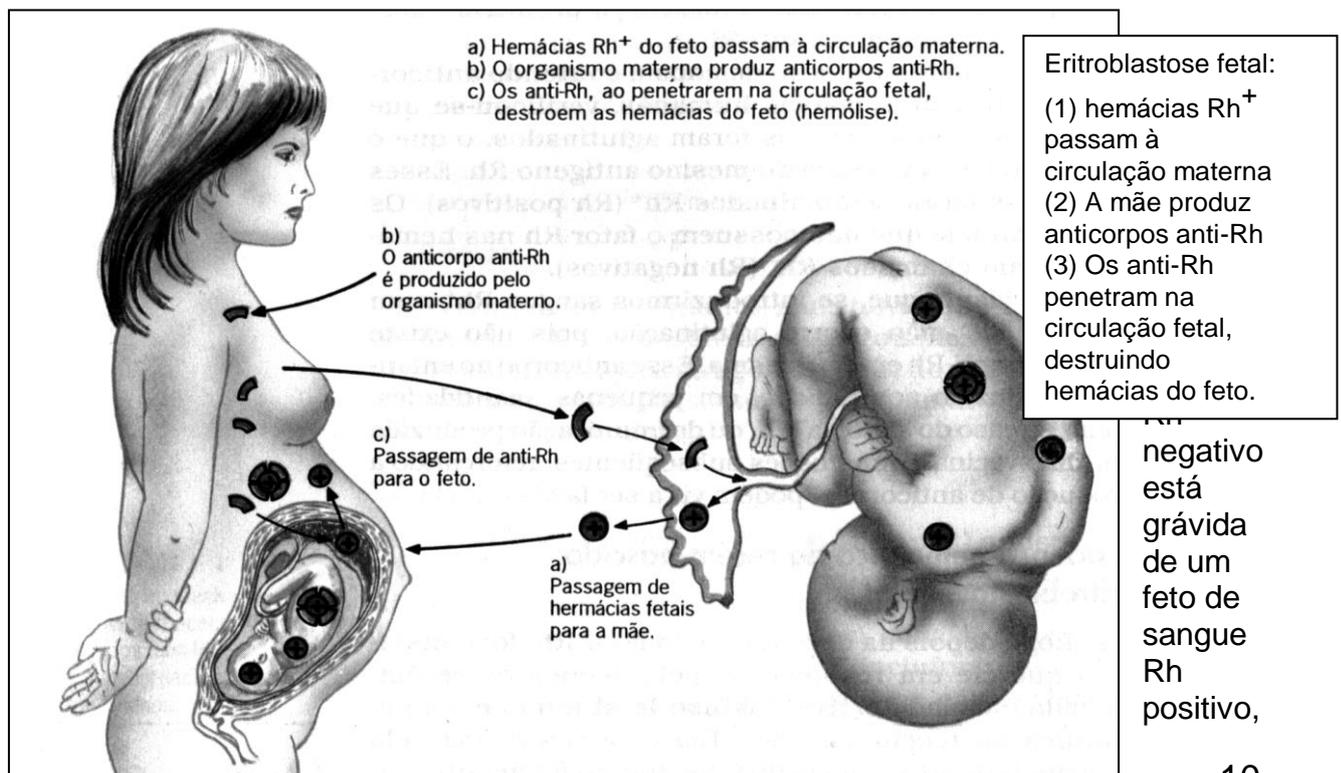


Considerando os dois sistemas estudados (ABO e Rh), concluímos, portanto, que:

- Quem tem sangue **AB Rh+** é receptor universal;
- Quem tem sangue **O Rh-** é doador universal.

DHRN – DOENÇA HEMOLÍTICA DO RECÉM NASCIDO

Atualmente, com a criteriosa tipagem das amostras de sangue realizada nas transfusões, tornou-se rara a sensibilização de pessoas do tipo Rh negativo. Entretanto, essa sensibilização pode acontecer em algumas gestações.



hemácias fetais podem passar para a circulação materna, particularmente durante o parto e o descolamento da placenta. Mesmo em quantidade reduzida, as hemácias contendo o fator Rh são reconhecidas pelo sistema imunológico da mulher, que produz anticorpos anti-Rh, tornando-a sensibilizada. A criança que resultou dessa gravidez dificilmente irá apresentar algum problema, mas cria uma situação indesejável para os próximos fetos de sangue Rh positivo.

Os principais sinais de hemólise (destruição de hemácias) intensa são anemia grave, icterícia provocada pelo aumento na concentração de bilirrubina no sangue, elevação da frequência cardíaca, aumento do tamanho do baço e do fígado, presença de hemácias jovens no sangue circulante e, nos casos mais graves, edema (inchaço) generalizado.

Hemácias jovens observadas no sangue de crianças do tipo Rh positivo, ainda nucleadas, são chamadas **eritroblastos**, o que explica o outro nome dado à doença, **eritroblastose fetal**. Pela hemólise intensa que determina, esse quadro também é conhecido por doença hemolítica do recém-nascido (DHRN). Sua incidência, com diferentes graus de intensidade, é de aproximadamente nove casos por mil nascimentos. O tratamento consiste em fototerapia ou exsanguineotransfusão, que consiste na troca do sangue da criança.

É possível diminuir a chance de uma mulher de sangue Rh negativo vir a ser sensibilizada depois do nascimento de um bebê de sangue Rh positivo. Para isso, empregam-se anticorpos anti-Rh logo depois do parto.

A injeção de anticorpos anti-Rh é erroneamente chamada de vacina anti-Rh, pois se trata de um soro anti-Rh que, aplicado na mãe irá destruir rapidamente as hemácias fetais, antes que o sistema imunológico da mãe as reconheça.

O soro deve ser aplicado até 72 horas após o parto de uma criança de Rh positivo. Os anticorpos permanecem na circulação por algumas semanas e não constituem ameaça para uma futura gestação.



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01) (Fuvest-SP) Nas hemácias de um indivíduo de tipo sanguíneo AB:

- a () existe o aglutinogênio AB.
- b () existem os aglutinogênios A e B.
- c () existem as aglutininas anti-A e anti-B
- d () não existem aglutinogênios
- e () existe a aglutinina anti-AB

02) (PUC-Campinas) Os soros anti-A e anti-B, que possibilitam a determinação dos tipos sanguíneos do sistema ABO, são obtidos a partir, respectivamente, do sangue de indivíduos:

- a () A e B
- b () A e AB
- c () AB e B
- d () B e AB
- e () B e A

03) (PUC-SP) Analisando o sistema sanguíneo ABO, pode-se afirmar corretamente que:

- a () apenas os indivíduos do grupo AB podem ser geneticamente heterozigotos.
- b () os indivíduos dos grupos A e B só podem ser geneticamente homozigotos.

- c () os indivíduos do grupo O são geneticamente homocigotos recessivos.
 d () os indivíduos do grupo AB são receptores universais, porque não apresentam antígenos (aglutinógenos) em suas hemácias.
 e () os indivíduos do grupo O são doadores universais, porque não apresentam anticorpos aglutininas) em seu plasma.

04) Por que um indivíduo do grupo O pode doar seu sangue a qualquer pessoa? Por que uma pessoa do grupo AB pode receber sangue de qualquer tipo?

05) (Fuvest-SP) Um banco de sangue possui 5 litros de sangue tipo AB, 3 litros tipo A, 8 litros tipo B e 2 litros tipo O. Para transfusões em indivíduos tipos O, A, B e AB estão disponíveis, respectivamente:

- a () 2, 5 10 e 18 litros
 b () 2, 3, 5 e 8 litros
 c () 2, 3, 8 e 16 litros
 d () 18, 8, 13 e 5 litros
 e () 7, 5, 10 e 11 litros

06) (UFPA) Em um casal em que o homem é do grupo sanguíneo AB e a mulher do grupo O, a probabilidade de nascer uma criança do grupo B é de:

- a () 100%
 b () 75%
 c () 50%
 d () 25%
 e () 0%

07) (Esal-MG) Um casal tem quatro filhos e resolveu determinar, em relação ao sistema ABO, qual o fenótipo de cada um. Verificou que um era do grupo A, outro do grupo B, um terceiro do grupo AB e o quarto filho era do grupo O.

a) Qual o provável genótipo dos pais?

b) Qual dos filhos pode receber sangue de qualquer membro da família? Por quê?

08) (Fuvest-SP) Um homem do grupo sanguíneo AB é casado com uma mulher cujos avós paternos e maternos pertencem ao grupo sanguíneo O. Esse casal poderá ter apenas

descendentes:

- a () do grupo O.
 b () do grupo AB.
 c () dos grupos AB e O.
 d () dos grupos A e B.
 e () dos grupos A, B e AB

09) Considere o seguinte casal:

pai "A" heterozigoto Rh ⁺ heterozigoto	x	mãe "O" Rh ⁺ heterozigoto
---	---	--

Qual a probabilidade de nascer uma criança de tipo sanguíneo "O" e fator Rh negativo desse casamento?

- a) 100%
 b) 0
 c) 1/2
 d) 1/4
 e) 1/8

10) (UFGO) Com relação ao sistema sanguíneo ABO, assinale a(s) alternativa(s) correta(s) e dê a soma dos números que as precedem.

- (01) Indivíduos com aglutinogênio A e aglutinina B pertencem ao grupo B.
 (02) Um casal heterozigoto para A e B poderá ter filhos com sangue dos grupos A, B, AB e O.
 (04) A herança dos sistemas ABO é um exemplo de alelos múltiplos.
 (08) A chance de um casal, sendo ambos do grupo AB, ter filhos do mesmo grupo é igual a $\frac{1}{2}$.
 (16) A chance de um casal, sendo eles do grupo O, ter filhos do grupo A é zero.

Soma: _____

11) (U. E. Londrina-PR) Uma mulher Rh⁺, cujo pai é Rh⁻, é casada com um homem Rh⁺, cuja mãe é Rh⁻. A probabilidade de esse casal vir a ter uma criança Rh⁻ é de:

- a () 100%
- b () 75%
- c () 50%
- d () 25%
- e () 0%

12) (UFES) Um homem Rh positivo heterozigoto casa-se com uma mulher que não possui o aglutinogênio Rh nas hemácias, e desse casamento nasce uma criança com doença hemolítica perinatal (DHPN).

A probabilidade de um segundo filho do casal vir a ter a mesma doença é:

- a () nenhuma
- b () 12,5%
- c () 25%
- d () 50%
- e () 100%

13) – No quadro abaixo estão representados os resultados da reação de aglutinação, de hemácias de quatro indivíduos, na presença de anticorpos anti-A, anti-B e anti-Rh.

	Anti-A	Anti-B	Anti-Rh
João	+	-	+
Paulo	-	+	-
Maria	+	+	+
Ana	-	-	-

+ = indica que houve aglutinação - = indica que não houve aglutinação

Com base nos resultados apresentados no teste de aglutinação, marque qual das alternativas contém a afirmação correta:

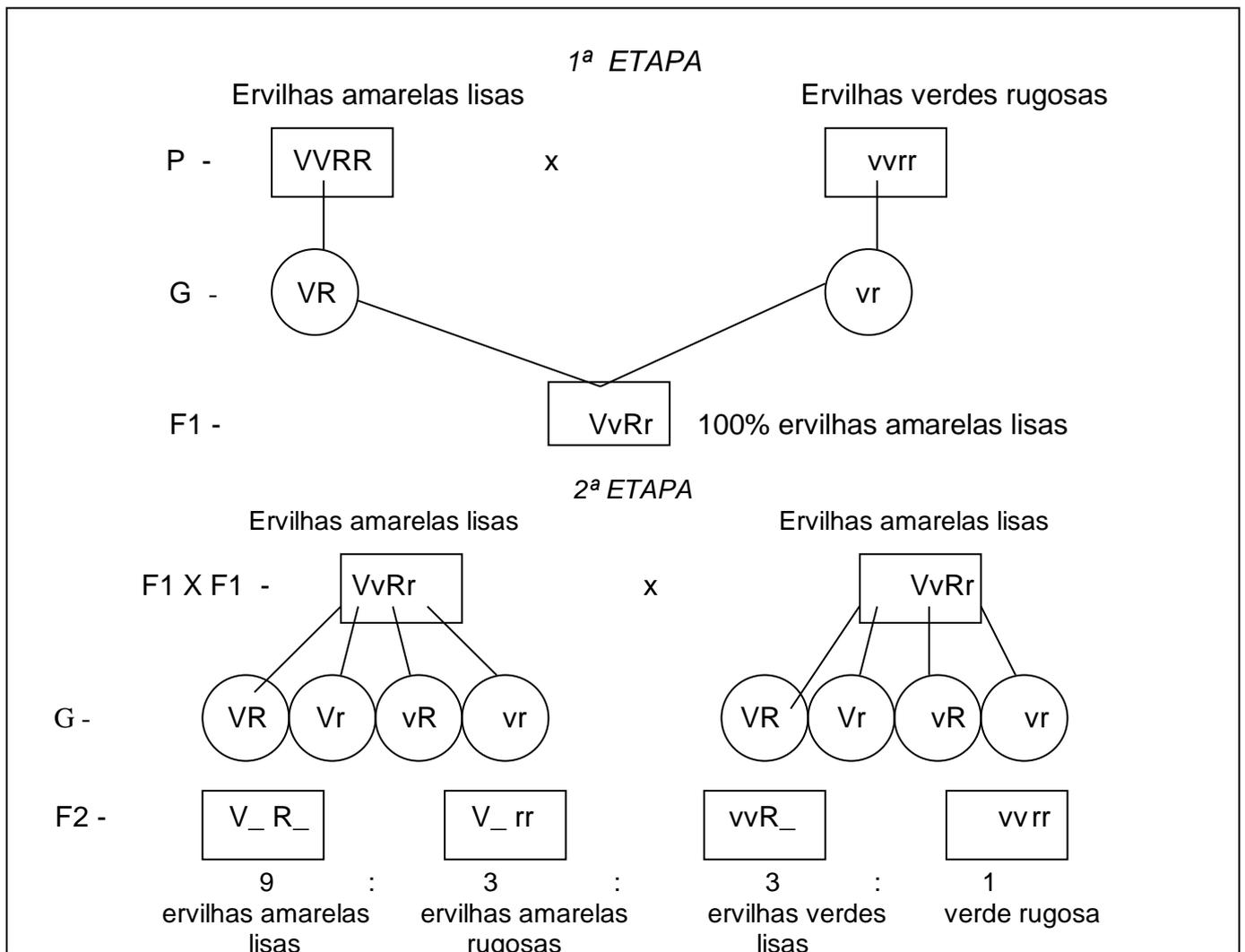
- a) Ana pertence ao grupo sanguíneo O Rh⁺.
- b) Maria poderá receber sangue de Paulo.
- c) Maria possui aglutininas anti-A e anti-B no plasma.
- a) João possui aglutinogênio ou antígeno B em suas hemácias.
- b) Paulo possui aglutinogênio ou antígeno A em suas hemácias.

SEGUNDA LEI DE MENDEL

A Segunda Lei de Mendel rege o comportamento simultâneo de dois ou mais pares de genes alelos, desde que estejam em cromossomos não homólogos.

Mendel estudou a herança de dois pares de características nas ervilhas. Em uma das experiências cruzou uma variedade de sementes amarelas lisas (dominantes) com outra, verde rugosa (recessivas). Na geração F1 obteve somente ervilhas amarelas lisas. Em seguida, deixou que as ervilhas autofecundassem, obtendo na geração seguinte, F2, a seguinte proporção:

- 9/16: sementes amarelas lisas
- 3/16: sementes amarelas rugosas
- 3/16: sementes verdes lisas
- 1/16: sementes verdes rugosas



Esquema demonstrando os cruzamentos realizados por Mendel

Veja, agora, como fica o quadro de cruzamentos da situação anterior:

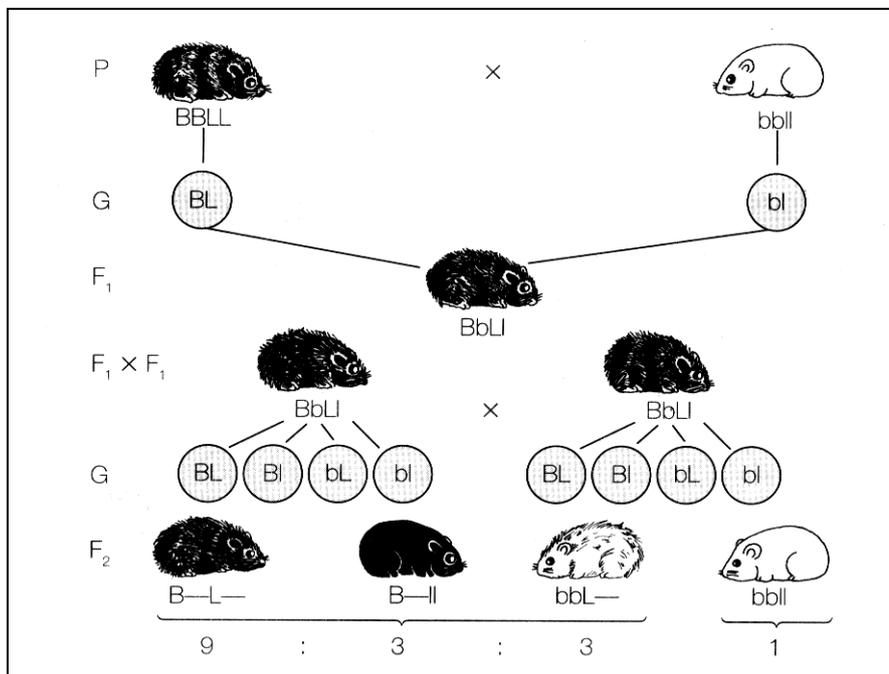
Gametas → ↓	VR	Vr	vR	vr
VR	VVRR	VVRr	VvRR	VvRr
Vr	VVRr	VVrr	VvRr	Vvrr
vR	VvRR	VvRr	vvRR	vvRr
vr	VvRr	Vvrr	vvRr	vvrr

Este resultado pode ser simplificado admitindo-se uma completa independência dos genes os quais, uma vez separados e recombinados nos gametas, reúnem-se no zigoto, produzindo novas combinações.

ENUNCIADO DA SEGUNDA LEI DE MENDEL

"Na formação dos gametas, o par de fatores responsáveis por uma característica separa-se independentemente de um outro par de fatores responsável por outra característica."

Os princípios enunciados nas duas leis de Mendel (1ª e 2ª) aplicam-se a todos os organismos de reprodução sexuada.



Exemplo:

Cobaias pretas de pêlo eriçado, homocigotas, cruzadas com cobaias brancas de pêlo liso homocigotas, originarão descendentes pretos de pêlo eriçado que, cruzados entre si, originarão cobaias pretas de pêlo eriçado, cobaias pretas de pêlo liso, cobaias brancas de pêlo eriçado e cobaias brancas de pêlo liso, na proporção 9:3:3:1, respectivamente:

Cruzamento de cobaias



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01) (Unifor-CE) A segunda lei de Mendel explica a:

- a () dominância incompleta.
- b () pureza dos genes.
- c () ligação de genes.
- d () segregação independente
- e () ação de alelos múltiplos.

02) (UFPA) Os experimentos de Mendel com cruzamento diíbrido mostrando distribuição independente dos dois pares de alelos resultam em uma proporção:

- a () fenotípica de 3 : 1.
- b () genotípica de 3 : 1.
- c () genotípica de 1 : 2 : 1.
- d () fenotípica de 9 : 3 : 3 : 1.
- e () genotípica de 9 : 3 : 3 : 1.

03) (Fuvest-SP) Um indivíduo heterozigoto para dois pares de genes (**A** e **a**; **B** e **b**), localizados em dois pares diferentes de cromossomos, formará que tipos de gametas e em que proporções?

- a () 75% AB e 25% ab.
- b () 50% Aa e 50% Bb.
- c () 25% aa, 50% AB e 25% bb.
- d () 25% AA, 50% ab e 25% BB.
- e () 25% AB, 25% aB, 25% Ab e 25% ab.

04) (Unifor-CE) De acordo com a segunda lei de Mendel, qual é a proporção esperada de homocigotos dominantes na descendência do cruzamento de dois duploheterocigotos?

- a () 1/32
- b () 1/16
- c () 1/8
- d () 1/4
- e () 1/a

05) (Unifor-CE) Em certa espécie vegetal, o gene dominante **B** condiciona plantas altas e seu alelo recessivo **b** condiciona plantas baixas. O gene **A** condiciona flores brancas e é dominante sobre o gene **a**, que condiciona flores amarelas. Cruzaram-se entre si plantas altas com flores brancas, heterocigotas para ambos os pares de genes, e obtiveram-se 320 descendentes. Desses, espera-se que o número de plantas baixas com flores brancas seja:

- a () 20
- b () 60
- c () 180
- d () 240
- e () 320

06) (Unifor-CE) Em ervilhas-de-cheiro, sementes amarelas (**V**) são dominantes sobre sementes verdes (**v**) e sementes lisas (**R**) são dominantes sobre sementes rugosas (**r**). Cruzaram-se plantas de sementes amarelas rugosas com plantas de sementes verdes lisas que produziram descendentes com sementes amarelas lisas, amarelas rugosas, verdes lisas e verdes rugosas em proporções iguais. Os genótipos das plantas cruzadas são, respectivamente:

- a () Vvrr wRr
- b () Wrr wRR
- c () Vvrr wRR
- d () Wrr wRr
- e () VvRr wRr

07) (Puccamp-SP) Qual é a probabilidade de um casal de duplo heterozigotos para dois pares de genes autossômicos com segregação independente vir a ter um descendente com apenas uma característica dominante?

- a () 15/16
- b () 9/16
- c () 6/16
- d () 3/16
- e () 1/16

08) (FURRN) No homem, a capacidade de enrolar a língua é devida a um gene dominante **E**; a incapacidade é devida ao seu alelo **e**. O uso da mão direita é devido ao gene dominante **C** e o uso da mão esquerda, ao seu alelo **c**. Um homem destro (que usa a mão direita) e dotado da capacidade de enrolar a língua casou-se com mulher canhota e também dotada da capacidade de enrolar a língua. O casal teve 4 filhos canhotos, dos quais 3 são capazes de enrolar a língua; e 1, não é capaz de enrolar a língua. O possível genótipo do casal é:

- a () CcEe e ccEe
- b () CCEE e CCE
- c () CCee e ccee
- d () ccee e CcEE
- e () ccEE e CCee

09) (MACK-SP) Do cruzamento entre dois indivíduos com genótipo AaBbCc, a probabilidade de surgir um descendente com genótipo que apresenta, pelo menos, um gene dominante é:

- a () 1/4
- b () 1/16
- c () 1/32
- d () 1/64
- e () 63/64

10) (Unifor-CE) As proposições abaixo referem-se à 1ª lei de Mendel:

- 01. Seu enunciado pode ser: "Cada caráter é condicionado por um par de fatores, que se separam na formação dos gametas".
 - 02. Os pares de fatores estão localizados em cromossomos homólogos.
 - 04. Um dos fatores de cada par é sempre dominante.
 - 08. Essa lei também é conhecida como lei da segregação independente dos fatores.
- A soma dos números referentes aos itens CORRETOS é: _____

SEGUNDA LEI DE MENDEL

A Segunda Lei de Mendel rege o comportamento simultâneo de dois ou mais pares de genes alelos, desde que estejam em cromossomos não homólogos.

Mendel estudou a herança de dois pares de características nas ervilhas. Em uma das experiências cruzou uma variedade de sementes amarelas lisas (dominantes) com outra, verde rugosa (recessivas). Na geração F1 obteve somente ervilhas amarelas lisas. Em seguida, deixou que as ervilhas autofecundassem, obtendo na geração seguinte, F2, a seguinte proporção:

- 9/16: sementes amarelas lisas
- 3/16: sementes amarelas rugosas
- 3/16: sementes verdes lisas
- 1/16: sementes verdes rugosas

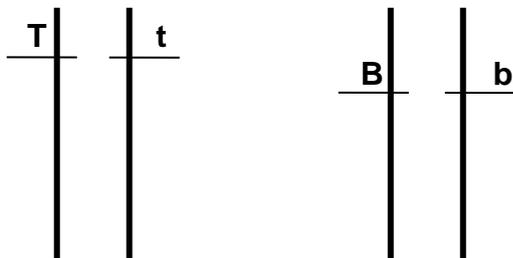
Gametas → ↓	TB	Tb	tB	tb
TB	TTBB	TtBb	TtBB	TtBb
Tb	TTBb	TTbb	TtBb	Ttbb
tB	TtBB	TtBb	ttBB	ttBb
tb	TtBb	Ttbb	ttBb	ttbb

Resultado obtido:
 9 – flores axiais / púrpuras
 3 - flores axiais / brancas
 3 - flores terminais / púrpuras
 1 - flores terminais / brancas

púrpuras

1 - flores terminais / brancas

A lei da segregação independente só vale quando os pares de genes estão localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos:



EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Em cobaias, B determina pêlos pretos e b determina pêlos creme; C determina pêlos curtos, enquanto c determina pêlos longos. Um macho duplo-heterozigoto foi cruzado com uma fêmea duplo-recessiva.

- a) Qual a probabilidade de surgimento de um filhote com genótipo Bbcc?
- b) Qual a probabilidade do surgimento de um filhote de pêlos creme e curtos?

Resolução:

a) Não é necessário fazer o quadro de cruzamento da 2ª Lei (16 descendentes).

Basta separar as características e trabalhar como se fosse 1ª Lei:

Bb/Cc X bb/cc

	B	b
b	Bb	bb
b	Bb	bb

	C	c
c	Cc	cc
c	Cc	cc

$P(Bb) = \frac{1}{2}$

$P(cc) = \frac{1}{2}$

$P(Bb \text{ e } cc) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4} (25\%)$

b) $P(bb \text{ e } C_) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4} (25\%)$

INTERAÇÃO GÊNICA

Dois ou mais pares de alelos determinam, ao mesmo tempo, uma única característica. É o inverso da pleiotropia.

Genes complementares: em um mesmo indivíduo, determinam fenótipo diferente de quando estão isolados.

Exemplo: Formato da crista de galinhas.

R – rosa
 E – ervilha
 rree – simples
 RREE – noz

P – RREE X rree
 noz simples

F1 – 100% RrEe (noz) X RrEe (noz)

F2:

Gametas → ↓	RE	Re	rE	re
RE	RREE	RREe	RrEE	RrEe
Re	RREe	RRee	RrEe	Rree
rE	RrEE	RrEe	rrEE	rrEe
re	RrEe	Rree	rrEe	rree

Resultado obtido:

noz – 9/16 – (R_E_)
 rosa – 3/16 – (R_ee)
 ervilha – 3/16 – (rrE_)
 simples – 1/16 – (rree)

9:3:3:1

EPISTASIA

Um alelo (epistático) inibe a expressão fenotípica e outro, localizado em *locus* diferente.

Exemplo: A determinação da cor da plumagem de galináceos.

C – plumagem colorida (alelo hipostático)
 c - plumagem branca
 I – impede a produção de pigmentos (alelo epistático)
 i – permite pigmentos

P – CCII X ccii
 branca branca

F1 – 100% Ccli X Ccli
 branca branca

F2:

Gametas → ↓	CI	Ci	cl	ci
CI	CCII	CCli	CcII	Ccli
Ci	CCli	CCii	CCli	CCii
cl	CcII	Ccli	cclI	ccli
ci	Ccli	Ccii	ccli	ccii

Resultado obtido:

brancas – 9/16 – (C_I_)

coloridas – 3/16 – (C_ii)

brancas – 3/16 – (ccl_)

brancas – 1/16 – (ccii)

Ou seja, 13 brancas e 3 coloridas, num total de 16 descendentes.

VARIAÇÃO GÊNICA

Variação qualitativa ou descontínua: classes fenotípicas bem distintas, como por exemplo, bois com chifre e sem chifre, ervilhas de sementes amarelas ou verdes.

Variação gradativa ou contínua: classes fenotípicas com diversidade gradativa, como a estatura humana, por exemplo.

Comparação:

P - ervilhas altas X ervilhas baixas

F1 – altas X altas

F2 – 3 altas : 1 baixa

P – trigo alto X trigo baixo

F1 – planta intermediária

F2 – plantas com diferentes alturas

HERANÇA QUANTITATIVA

Muitos pares de alelos participam da expressão fenotípica.

Exemplo: Cor da pele na espécie humana.

SS' e PP' – determinam a cor da pele

S' e P' – alelos aditivos

S e P – alelos não aditivos

Alelos aditivos	fenótipos
4	Negro
3	Mulato escuro
2	Mulato médio
1	Mulato claro

0	Branco
---	--------

P – branco X negro
 SSPP S'S'P'P'
 F1- 100% S'SP'P X S'SP'P
 F2:

Gametas →	S'P'	S'P	SP'	SP
↓				
S'P'	S'S'P'P'	S'S'P'P	S'SP'P'	S'SP'P
S'P	S'S'P'P	S'S'PP	S'SP'P	SSPP
SP'	S'SP'P	S'SP'P	SSP'P'	SSP'P
SP	S'SP'P	S'SPP	SSP'P	SSPP

Resultado obtido:

Negros – 1/16
 Mulatos escuros – 4/16
 Mulatos médios – 6/16
 Mulatos claros – 4/16
 Brancos – 1/16

VARIAÇÕES DO MONOIBRIDISMO
CAP. 14 – PÁG. 128

Dominância incompleta: heterozigoto manifesta fenótipo intermediário.

Exemplo: Planta boca-de-leão

P- flores vermelhas X flores brancas

$C^V C^V$ $C^B C^B$

F1 – 100% flores rosas X flores rosas

$C^V C^B$ $C^V C^B$

F2:

	C^V	C^B
C^V	$C^V C^V$	$C^V C^B$
C^B	$C^V C^B$	$C^B C^B$

Resultado: 50% rosas, 25% vermelhas, 25% brancas.

Co-dominância: Os alelos são ativos e manifestam-se, simultaneamente.

Exemplo 1: produção de albumina (proteína solúvel do sangue) em cavalos.

$A^a A^a$ - albumina A

$A^b A^b$ - albumina B

$A^a A^b$ - albuminas A e B (em quantidades iguais)

Exemplo 2: grupos sanguíneos - sistema ABO, no homem.

I^AI^B - o indivíduo produz proteínas (aglutinógenos) A e B, sendo classificado como grupo AB.

Pleiotropia: Um gene (pleiotrópico) pode determinar o aparecimento simultâneo de várias características. Vamos mencionar dois exemplos humanos e um exemplo em vacas.

Exemplo 1: fibrose cística. Essa doença afeta a produção de uma glicoproteína, alterando o teor do suor (que fica com mais sais) e outras secreções de glândulas exócrinas. Isso leva a distúrbios digestórios, hepáticos e pulmonares.

Gene X → várias características

Exemplo 2: galactosemia. É o não metabolismo da galactose (presente no leite). A galactose acumula-se em diversos órgãos, levando a pessoa a apresentar anemia, distúrbios intestinais, cirrose hepática e catarata.

Exemplo 3: Os criadores de gado, muitas vezes, já sabem que genes determinantes da pelagem, do formato da cabeça e das tetas tem a ver também com a produção de leite ou de carne, no animal.

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

Questão 01

1. () A análise de duas características, ao mesmo tempo, pode ser chamada de diíbridismo.
2. () Quando Gregor Mendel estudou duas características de ervilhas, como a cor e a posição da flor, ele verificou que, na meiose, a separação de um par de alelos não interfere na separação de outro par.
3. () O item anterior fala em segregação independente, a essência da 2ª Lei de Mendel.
4. () A Segunda Lei de Mendel pode assim ser enunciada: “Dois ou mais pares de fatores segregam-se independentemente, durante a formação dos gametas, nos quais se combinam ao acaso.”
5. () A Primeira Lei de Mendel também fazia menção a dois pares de fatores (genes).
6. () Um indivíduo de genótipo AaBb pode formar os seguintes tipos de gametas: **AB, Ab, aB e ab**.
7. () Nas interações gênicas, dois ou mais pares de genes determinam, ao mesmo tempo, uma única característica.
8. () Um caso de interação gênica ocorre com o formato da crista de certa variedade de galinhas. A crista pode ser dos seguintes formatos: noz, rosa, ervilha ou simples.
9. () Pode-se dizer que pleiotropia é o mesmo que interação gênica. (*Pleiotropia está na pág. 128 do livro + internet*)
10. () Na pleiotropia, assim como na epistasia, um gene pode impedir a expressão fenotípica de um outro, que ocupa outro loco gênico.
11. () A epistasia pode ser observada em certa variedade de galinhas, no que se refere a elas serem brancas ou coloridas.
12. () Na variedade *Leghorn* (galináceos), as aves brancas de genótipo **CCII** não manifestam cor, devido ao fato de o gene **C** ser epistático.

13. () Nos casos em que ocorre dominância, observamos classes fenotípicas bem distintas (variação qualitativa).
14. () A estatura humana é um exemplo de variação contínua ou gradativa.
15. () Na determinação da cor da pele na espécie humana, os alelos não são dominantes ou recessivos, mas aditivos ou não aditivos.
16. () Ainda a respeito do item anterior, podemos dizer que quanto menos genes aditivos, mais melanina terá o indivíduo.
17. () Do casamento de um homem mulato médio com uma mulher de igual fenótipo, não se pode esperar o nascimento de um filho branco.
18. () A melanina, que dá cor à pele, protege contra o excesso de radiação solar.
19. () A cor da pele nos seres humanos não pode ser associada a inferioridade étnica.
20. () O Projeto Genoma Humano (PGH), desenvolvido por vários países do mundo, conseguiu sequenciar os cerca de 3 bilhões de nucleotídeos do DNA humano.

Questão 02)

André e Maria apresentam coagulação sanguínea normal. O pai de Maria é hemofílico. André e Maria se casam. Eles têm medo de ter filhos hemofílicos e procuram um serviço de aconselhamento genético. A orientação correta a ser dada ao casal é:

- a) Não há risco de o casal ter filhos hemofílicos, já que os pais são normais.
- b) A probabilidade de nascer uma criança hemofílica é de 25 %.
- c) A probabilidade de nascer uma criança hemofílica é de 50 %
- d) A probabilidade de nascer uma menina hemofílica é de 50 %
- e) O casal não deve ter filhos porque todos serão hemofílicos ou portadores do gene para hemofilia.

Questão 03)

Em humanos, um tipo de daltonismo é codificado por um gene recessivo ligado ao sexo. Do cruzamento de um homem daltônico com uma mulher normal, filha de pai daltônico, espera-se :

- a) 1/4 de mulher normal e 3/4 de homem daltônico.
- b) 1/2 de mulher normal e 1/2 de homem daltônico.
- c) 1/4 de mulher normal, 1/4 de mulher daltônica e 1/2 de homem normal.
- d) 1/2 de mulher normal, 1/4 de mulher daltônica e 1/4 de

homem daltônico.

e) 1/4 de homem normal, 1/4 de homem daltônico, 1/4 de mulher normal e 1/4 de mulher daltônica.

----XXX---