

Unidade 5 – Herança Mendeliana e suas Variações

1. Introdução

O estudo atual da Genética leva as mais profundas considerações acerca das células e seus conteúdos, demonstrando que qualquer célula de um vegetal é capaz de originar novamente esse mesmo vegetal, mantendo todas suas características. Este trabalho recebe o nome de Biotecnologia.

É certo que a Biotecnologia abrange áreas como a Citogenética, a Bioquímica, a Fisiologia Vegetal que, trabalhando juntas, são capazes de determinar as menores variações dentro do conteúdo celular que possibilite a diferenciação entre cultivares ou mesmo entre espécies.

Sem dúvida alguma toda esta tecnologia demonstra a capacidade que tem a pesquisa de avançar sempre tendo como plano de fundo toda a história evolutiva da Biologia e especialmente da Genética.

A Genética nasceu das pesquisas de Gregor Johann Mendel. Monge agostiniano, professor de Física e História Natural desenvolveu seu trabalho durante os anos de 1845 a 1865 com alunos secundaristas em *Brunn*, hoje *Brno*, maior cidade da República Tcheca, cultivando ervilhas de jardim (*Lathyrus odoratus*) tentando esclarecer o comportamento de algumas das características.

Mendel não foi o primeiro a se dedicar ao estudo da hereditariedade, mas foi o que obteve resultados positivos, devido sua capacidade de interpretar corretamente os resultados dos cruzamentos feitos. Seu trabalho assíduo e paciente foi o de cultivar e analisar cerca de 10.000 plantas de ervilhas, para elaborar suas duas leis que formaram as bases da Genética, até então.

As Leis de Mendel publicadas em 8 de fevereiro de 1865 no Proceedings of Natural History Society of Brunn podem ser assim resumidas: 1º - Os caracteres herdados são produzidos por “fatores” independentes que se transmitem inalterados, de geração a geração; e 2º - Estes fatores se apresentam aos pares nos indivíduos, cada um deles originário de cada um dos pais; geralmente um domina o outro, e é chamado dominante, ao passo que o outro, mais fraco, cujos efeitos desaparecem numa geração é chamado recessivo. Na formação de gametas, os dois fatores de cada par em cada um dos pais, se separam ou segregam, e apenas um de cada par vai para o descendente. Qualquer gene de um determinado par que vai para um dado gameta, independe de qualquer outro par que vai para o mesmo gameta (NEWTON, 1987).

Os trabalhos de Mendel ficaram obscurecidos por cerca de 35 anos sendo então descobertos por três pesquisadores independentes, em 1900. Foram eles Correns, na Alemanha; Tchesmak, na Áustria e De Vries, na Holanda.

Mendel, de posse dos trabalhos anteriores a ele que não tiveram sucesso, abordou a questão da hereditariedade com visão moderna para a época. Escolheu sete características facilmente identificáveis e que não se modificavam com o ambiente, autocruzou as plantas e obteve estabilidade das características a serem analisadas. Eram elas: forma da semente, cor dos cotilédones, cor da casca da semente, forma da vagem, cor da vagem imatura, posição das flores e comprimento do caule (NEWTON, 1987).

Os resultados de Mendel foram tão bem sucedidos que até hoje se estuda características governadas por um ou dois genes em todas as plantas, principalmente as cultivadas.

O presente trabalho tem por objetivo rever as citações bibliográficas retirando delas os aspectos práticos do mendelismo, e suas variações, para usar em aulas de Genética nos Cursos de Agronomia e Engenharia Florestal.

2. O Trabalho de Mendel

Para descrever o trabalho que Mendel realizou será focado apenas uma das sete características, porque todas elas tiveram o mesmo comportamento, além do que Mendel usou sempre a mesma condução para todas elas.

2.1. Alguns Conceitos

Para que se possa entender a herança de uma característica (Monohibridismo) ou de duas (Dihibridismo), é importante que se introduzam alguns conceitos básicos descritos a seguir na forma de glossário.

Alelo - Qualquer de duas ou mais formas contrastantes de um gene, situado em loci homólogos de cromossomos homólogos.

Cromossomos - Unidade celular de transmissão dos genes de geração para geração.

Cromossomos Homólogos - São os cromossomos oriundos do pai e da mãe.

Cruzamento - teste - Um tipo de retrocruzamento feito com o pai recessivo para todos os genes.

Fenótipo - Soma das características mostradas por um organismo e que constitui a interação do genótipo com o meio ambiente.

Genótipo - Constituição genética do organismo.

Gene - Unidade de herança composta principalmente de DNA.

Haploide - É a célula que contém um só conjunto de cromossomos, ou situação de uma célula gamética.

Heterozigoto - Diz-se do indivíduo que possui as duas formas alélicas do mesmo gene, geralmente são os indivíduos da geração F₁.

Homozigoto - Organismo que possui genes de somente um tipo de alelo.

Linhagem Autofecundada - Sucessão de plantas ou animais ao longo de gerações obtidas por autofecundação.

Locus - Local que o gene ocupa no cromossomo.

Loci - Plural de locus

Meiose - Tipo de divisão celular que origina gametas dos indivíduos.

Retrocruzamento - (“Backcross”) tanto Aa x AA como Aa x aa.

Segregação - Separação de genes na meiose.

Segregação independente - Segunda Lei de Mendel. Separação de genes de forma que um não afeta o outro. Genes que estão em cromossomos separados.

Variância - Parâmetro que representa a unidade de variação de uma população.

2.2. Monohibridismo

Mendel verificando que a cor das sementes de ervilha podia ser amarela ou verde procurou estabelecer que plantas com sementes amarelas produzissem apenas sementes amarelas e plantas com sementes verdes apenas as produzissem verdes, estabilizando a produção. Na prática Mendel obteve homozigose nas plantas a partir de várias gerações de autofecundação, favorecido pelo tipo de inflorescência que *Lathyrus odoratus* tem, pois suas flores são hermafroditas e a autofecundação é possível.

As plantas que só davam sementes amarelas e as que só davam sementes verdes, Mendel chamou de Geração Paternal. O cruzamento das gerações paternas deu origem a primeira geração filial ou F₁. Das sementes amarelas cruzadas com sementes verdes resultaram plantas que só davam sementes amarelas.

Mendel surpreendeu-se com o resultado porque as sementes de cor verde haviam desaparecido. A partir de então Mendel decidiu cruzar as novas plantas com sementes amarelas obtendo o que se chamou de segunda geração filial ou F₂.

A F₂ ficou composta de plantas com sementes amarelas e com sementes verdes, na proporção de 3/4 : 1/4. A maior quantidade era de sementes amarelas e a menor de sementes verdes. Mas a melhor observação feita foi a de que a cor verde aparecia novamente. Mendel determinou então que as sementes da F₁ tinham “fatores” que determinavam a cor amarela e verde, ao que hoje se chama alelos.

O campo experimental mendeliano pode ser representado de forma gráfica como se segue:

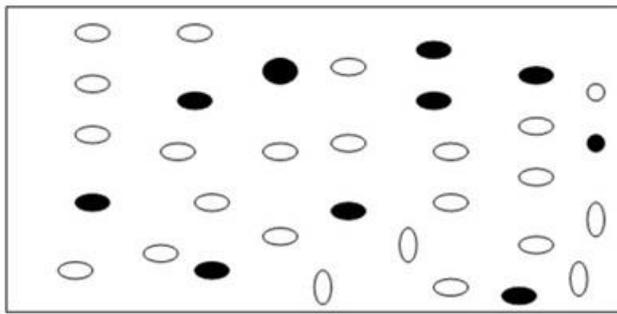
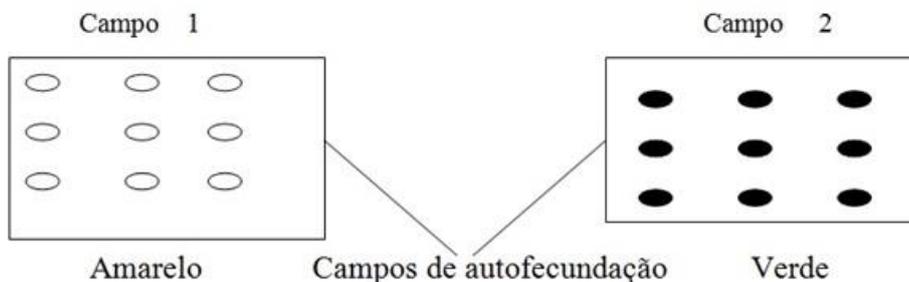


Figura 5.1 – Representação do campo de observação geral que Mendel usou para iniciar o trabalho de cruzamentos.

● Plantas que produzem sementes com tegumento verde.
○ Plantas que produzem sementes com tegumento amarelo.

Figura 5.2 – Representação dos campos de autofecundação das ervilhas.



Desses campos de autofecundação originaram-se as Gerações paternas, pois agora todas as plantas eram, com certeza, homocigotas para os fatores em estudo.

Para entender a constituição genética da geração F_1 , Mendel resolveu cruzá-las com todos os indivíduos da F_2 , ao que pode ser assim delineado:

F_1 x Amarelas
e
 F_1 x Verdes

Do primeiro cruzamento foi obtido plantas com sementes amarelas apenas; do segundo o resultado sempre era de plantas com sementes amarelas e com sementes verdes, na proporção 1/2 : 1/2. A esse último cruzamento, Mendel chamou de cruzamento-teste, que é o cruzamento da F_1 com o pai recessivo.

Nesse ponto é que Mendel concluiu sobre a separação dos fatores, que estavam “misturados” na F_1 e enunciou sua primeira lei – Lei da Segregação dos Fatores.

Todos esses cruzamentos podem ser assim esquematizados (usa-se letras para identificar os alelos):

P_1 VV x vv P_2
Amarelas Verdes

F_1 Vv
Amarelas

F_2 (F_1 x F_1) = Amarela (Vv) x Amarela (Vv)

V – determina plantas com sementes amarelas;
v – determina plantas com sementes verdes;

	Gameta 0,50 V	Gameta 0,50 v
Gameta 0,50 V	VV Amarela	Vv Amarela
Gameta 0,50 v	Vv Amarela	vv Verde

Retrocruzamentos:

F₁ x Amarela (Vv x VV) = Vv e VV - Todas amarelas

F₁ x Verde (Vv x vv) = 1/2 Vv amarelas : 1/2 vv verdes

Esta metodologia Mendel aplicou para as sete características estudadas e todas elas apresentaram o mesmo resultado.

2.3. Dihibridismo

Mendel, ao obter o mesmo resultado para todas as características estudadas em separado, decidiu verificar qual era o comportamento se seu estudo fosse dirigido para duas características juntas. O cruzamento realizado foi entre plantas que produziam sementes amarelas com tegumento liso cruzadas com sementes verdes com tegumento rugoso.

O mesmo procedimento usado no estudo do monohibridismo foi realizado. Mendel obteve plantas puras com características contrastantes, cruzou-as entre si (geração paterna) e obteve a F₁ cujas plantas tinham sementes amarelas e lisas, somente. Cruzando as F₁ entre si obteve a geração filial F₂ cuja proporção fenotípica foi: 9/16 sementes amarelas lisas; 3/16 sementes amarelas rugosas; 3/16 sementes verdes lisas; 1/16 sementes verdes rugosas. Esta proporção se confirmou para todas as características estudadas em conjunto.

A conclusão da independência dos fatores ficou evidente quando o cruzamento-teste foi feito, resultando na seguinte proporção:

F₁ x sementes verdes rugosas

VvRr x vvrr
1/4 Amarelas lisas
1/4 Amarelas rugosas
1/4 Verdes lisas
1/4 Verdes rugosas

Os cruzamentos envolvendo dois caracteres podem ser assim resumidos:

P₁ VVRR x vvrr P₂
Amarelas lisas Verdes rugosas

F₁ VvRr Amarelas lisas

F₂ (F₁ x F₁) Amarelas lisas x Amarelas lisas

	Gameta VR (0,25)	Gameta Vr (0,25)	Gameta vR (0,25)	Gameta vr (0,25)
Gameta VR (0,25)	VVRR Amarela lisa	VVRr Amarela lisa	VvRR Amarela lisa	VvRr Amarela lisa
Gameta Vr (0,25)	VVRr Amarela lisa	VVrr Amarela rugosa	VvRr Amarela lisa	Vvrr Amarela rugosa
Gameta vR (0,25)	VvRR Amarela lisa	VvRr Amarela lisa	vvRR Verde lisa	vvRr Verde lisa
Gameta vr (0,25)	VvRr Amarela lisa	Vvrr Amarela rugosa	vvRr Verde lisa	vvrr Verde rugosa

Burns (1984) estudando a forma dos bordos e disposição das nervuras, em folhas de *Coleus blumei*, como dois genes independentes, concluiu que o alelo **R** para bordos recortados e o alelo **I** para padrão de nervura irregular são dominantes em relação aos alelos **r** para bordos crenados e **i** para padrão regular de nervuras. A proporção fenotípica para estes dois pares de genes seguem a segunda Lei de Mendel ou Lei dos Fatores Independentes.

2.4. Aplicação do trabalho de Mendel

Menezes (1953) trabalhando com genética da batata doce determinou que ramas verdes são dominantes sobre ramas arroxeadas, que polpa branca é dominante sobre polpa creme. Portanto essas características são controladas por genes mendelianos simples.

Bouwkamp e Honna (1970) estudaram a herança de cinco caracteres morfológicos em tomate, entre eles a presença de bico na parte na parte basal do fruto. Das populações segregantes resultantes das linhagens VF13L, VF145B e MSU foram obtidas as gerações paternas por autofecundação e selecionadas para o cruzamento com características de frutos contrastantes (frutos com bico e sem bico). Em F₂ foram obtidas 180 plantas com frutos sem bico e 70 com bico, numa proporção próxima a 3/4 ; 1/4; conclui-se novamente que frutos sem bico não dominantes em relação a frutos com bico e que a característica é governada por um gene de herança mendeliana. Os autores usaram “BK-2” para frutos sem bico e “bk-2” para fruto com bico.

Em 1973 Wann e Hills estudaram a deficiência do transporte de boro e de ferro em tomate usando “btl” e “fer” para os genes que determinam deficiência de boro e ferro, respectivamente. O cruzamento de plantas “btl btl” (deficiente no transporte de boro) e “++” ou “Fer Fer” (normal para transporte de ferro), com duplo recessivo (“btl btl fer fer”) resultou uma F₁ em que todas as plantas eram “btl btl Fer Fer” e a F₂ segregou em 278 btl btl Fer - ; 85 btl btl fer fer. Esta segregação se aproxima da 3/4 ; 1/4 esperada. Por isso conclui-se que o transporte ineficiente de boro é governado por um gene simples.

Coyne e Steadman (1977) usaram a teoria mendeliana para determinar a herança do hábito de crescimento, determinado ou indeterminado, em *Phaseolus vulgaris*. A F₁ apresentou hábito indeterminado e a F₂ segregou em 113 plantas com hábito indeterminado e 37 plantas com hábito determinado. Com esses dados fica fácil concluir que o hábito de crescimento é governado por um gene apenas e que o hábito indeterminado é dominante sobre o determinado.

Sklinkard em 1978 estudou a herança da cor dos cotilédones em lentilhas. Os cotilédones podem ser vermelhos ou amarelos. O cruzamento das linhagens PI 339280 e Tekoa de cotilédones vermelho e amarelo, respectivamente, resultou na F₂ cuja segregação foi de 154 sementes com cotilédones vermelho e 61 com cotilédone amarelo. Isto evidencia uma proporção de 3/4 : 1/4 e que a cor dos cotilédones em lentilha segue a primeira Lei de Mendel.

Tullmann e Sabino (1994) estudaram a herança genética do hábito de crescimento e da precocidade entre o cultivar carioca e o mutante CAP – 1070 derivado do tratamento do carioca com raios gama, em *Phaseolus vulgaris* L.. O carioca tem hábito de crescimento indeterminado enquanto que o mutante apresentou hábito determinado. O cruzamento entre ambos produziu uma F₁ com hábito indeterminado. A segregação em F₂ foi de 3/4 : 1/4 mostrando que o controle é monogênico e que o CAP – 1070 possui homozigose recessiva.

Paula Jr. et al. (1997) a herança da resistência à raça 73 de *Colletotrichum lindemuthianum*, que causa antracnose, em feijão. Utilizando populações segregantes, derivadas da hibridação entre a linhagem Carioca (resistente) e Carioca Rudá (suscetível) os autores encontraram a proporção mendeliana de 3:1, resistente: suscetível para a característica em estudo, demonstrando o controle monogênico para a resistência a essa raça.

Como é possível observar o estudo e as conclusões de Mendel serviram e servirão sempre para determinar a herança dos caracteres dos organismos, proporcionando uma base para o melhoramento vegetal.

Os dados obtidos por Mendel e pelos pesquisadores citados não foram exatos, mas representavam as proporções mendelianas. Os valores sempre foram aproximados devido ao ambiente onde as plantas se encontram. Para se comprovar que os dados obtidos representam efetivamente as proporções esperadas usa-se o teste do Qui-quadrado (χ²) para verificar se os desvios observados são ou não significativos. Sua metodologia de cálculo será usada a seguir.

2.5. Aplicação do teste χ² para frequências genéticas

O teste do qui-quadrado analisa o desvio entre os dados observados e esperados dentro de uma população ou amostra da população (SOKAL e ROHLF, 1973; STANSFIELD, 1985; RAMALHO et al, 1994). Sua fórmula é:

$$\chi^2 = \sum \frac{(F_o - F_e)^2}{F_e}$$

Onde:

F_o – é a frequência observada

F_e – é a frequência esperada

O teste do qui-quadrado inicia a formulação das hipóteses de trabalho. “Os dados obtidos seguem ou não as leis mendelianas?” Estas são as hipóteses:

H_o – a frequência obtida segue a Lei de Mendel (1º ou 2º Lei)

H_a – a frequência obtida não segue a Lei de Mendel (1º ou 2º Lei)

Para se entender a aplicabilidade do teste do qui-quadrado será usado o exemplo de Menezes (1953), em batata doce. Na tabela 5.1. que se segue estão os dados referentes a herança das ramas em batata doce.

Tabela 5.1 - Texto do Qui-quadrado para ramos da batata doce.

Fenótipo	F. Observada	F. Esperada	Desvio (D)	D ²	D ² / Fe
Verde	70	72	-2	4	0,05
Arroxeadada	26	24	2	4	0,16
TOTAL	96	96	0	Σ	0,21

O dado 0,21 deve ser comparado na tabela de qui-quadrado para n = 1 g.l e ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela acha-se o valor de 3,841 (ver formulário) e na comparação dos dois valores percebe-se que o calculado é menor que o tabelado. Quando isso ocorre significa que o desvio é “não significativo” e, portanto pode-se aceitar a hipótese **H_o**, aquela que diz que a frequência observada segue as Leis Mendelianas.

Caso o valor calculado seja maior que o tabelado se aceita a hipótese alternativa **H_a**, pois a segregação observada não segue as Leis de Mendel e, portanto outros fatores devem estar influenciando os dados observados.

2.6. Combinações superiores

Os trabalhos de Mendel se resumiram nas observações referentes a um e dois genes, entretanto é possível generalizar seu ensinamento para um número maior de genes. Assim é possível prever-se segregação de F₂ para três ou mais genes em estudo, basta que se utilize do método do produto das segregações, como se segue:

Número de genes	Segregação
1	(3 : 1)
2	(3 : 1) (3 : 1)
3	(3 : 1) (3 : 1)
n	n . n . n ... n

Como estes produtos tornam-se trabalhosos deve se utilizar as combinações superiores para se obter os mesmos resultados com mais praticidade, como se segue:

Tabela 5.2 – Tabela das combinações superiores.

Número de gametas F ₁ diferentes	2 ⁿ	Número de fenótipos de F ₂ com dominância completa
Número de genótipos F ₂	3 ⁿ	Número de fenótipos de F ₂ com codominância
Número de diferentes combinações gaméticas em F ₂	4 ⁿ	Tamanho mínimo da população com todos os gametas F ₁ recombinados

(Fonte: STANSFIELD, W. D Genética. 2.ed. São Paulo. McGraw-Hill. 1985. P.57.)

Obs.: Onde “n” é o número de genes em estudo

3. Alterações das frequências mendelianas

As frequências mendelianas determinadas para um e dois genes sofreram modificações à medida que os pesquisadores aplicaram as Leis de Mendel para determinar heranças das características em plantas e animais. Foram encontrados outros tipos de interações entre alelos, como é o caso da herança intermediária, alelos múltiplos ou polialelia e mesmo entre genes que não são alelos, como nos casos de epistasia; além disso, houve a descoberta de genes ligados no mesmo cromossomo.

Os três primeiros tipos de interação serão estudados neste capítulo, enquanto que genes ligados serão estudados em capítulos a parte.

3.1. Herança intermediária e codominância

A herança intermediária pode também ser chamada de **dominância incompleta**. Neste tipo de interação alélica ocorre o aparecimento de três fenótipos em F_2 e foi descoberto em cruzamentos de *Antirrhinum majus* (boca de leão). As flores são intensivamente coloridas de roxo e outras são brancas. O cruzamento entre ambas produz o heterozigoto cujas flores são coloridas de intensidade média (roxo mais claro). O cruzamento entre estas plantas produzirão plantas com flores de cor roxa intensa, roxo médio e brancas, numa proporção de 1/4 : 2/4 : 1/4, respectivamente. O mesmo tipo de interação ocorre em *Mirabilis jalapa* que é comumente denominada de flor maravilha (SUZUKI et al., 1992).

Outro exemplo de herança intermediária é a forma da raiz do rabanete. O rabanete tem forma longa, esférica e oval. Os rabanetes longos são homozigotos assim como os de forma esférica. Quando ambos são cruzados produzem a forma oval que é heterozigota e o cruzamento de dois ovais produz rabanetes na proporção de 1/4 : 2/4 : 1/4, respectivamente, longo, oval e esférico (RAMALHO et al., 1994).

Em todos os exemplos vê-se que a proporção mendeliana fenotípica de F_2 fica alterada. Quando a dominância é completa ela é de 3/4 : 1/4 porém altera-se para 1/4 : 2/4 : 1/4 quando a herança é intermediária.

Em animais a herança intermediária também ocorre, porém passa a se denominar de codominância. Na codominância o heterozigoto possui fenótipo misturado de ambos os pais contrastantes. É o caso do cruzamento entre um touro vermelho e uma vaca branca da raça Shorthorn. A cor do pelo é governado pelos C_r (vermelho) e C_w (branco). Quando um touro $C_r C_r$ é cruzado com uma vaca $C_w C_w$ o heterozigoto é $C_r C_w$ e de cor ruão. Se seu pelo for analisado ver-se-á fios vermelhos e fios brancos, ao mesmo tempo e não fios com cor intermediária entre o vermelho e o branco. Isto é o que caracteriza a codominância, embora também a frequência em F_2 seja de 1/4 : 2/4 : 1/4.

3.2. Alelos Múltiplos ou Polialelia

Nos indivíduos diploides os alelos de um gene aparecem sempre dois a dois, determinando uma característica, em cromossomos homólogos. Entretanto, novas formas alélicas do gene podem ocorrer, devido às mutações e que passam a ser combinadas pela reprodução sexual dos organismos.

Essas formas alélicas, nos diploides, ficam sempre duas a duas, em cromossomos homólogos. Por exemplo: o gene “C” em coelhos determina a cor da pelagem que pode ser selvagem ou aguti (C^+), chinchila (C^{ch}), himalaia (C^h) e albino (C^a). Entre esses alelos ocorre à interação de dominância, como se segue: $C^+ > C^{ch} > C^h > C^a$.

Exemplo de polialelia ocorre também em *Trifolium* que apresenta padrão de divisa ou “Chevrons” em suas folhas. O gene que determina esse padrão é o gene “V” e as várias formas alélicas são resultantes dos alelos V^1 , V^h , V^f , V^{ba} , V^b , V^{by} e v . Entre esses alelos várias interações de dominância ocorrem conforme citado em Suzuki et al., (1994).

Em plantas cultivadas das famílias das *Rosaceae*, *Crucifereae*, *Leguminoseae*, entre outras ocorre um tipo de alelismo múltiplo que afeta a sua reprodução. É a série alélica “S” que determina a incompatibilidade gametofítica e possuem cinco alelos (S^1 a S^5). Do cruzamento de uma planta doadora de pólen cujo genótipo é $S_1 S_3$ com outra de genótipo $S_1 S_2$ apenas a progênie $S_1 S_3$ e $S_2 S_3$ serão produzidas. Se plantas $S_1 S_2$ são cruzadas entre si não haverá progênie por que os grãos de pólen não poderão germinar no estigma que contém a mesma constituição genotípica ($S_1 S_2$). Esse tipo de alelismo é bem discutido em Ramalho et al. (1994).

3.2.1. Outros Exemplos

No arroz quatro antocianinas comumente aparecem, simultaneamente em mais de uma parte da planta. Nos ápulos é mais frequente. Havia muitos estudos sobre a herança da cor e muita confusão surgiu através do uso de sistemas de notação, porém novos estudos relativos à herança de pigmentação mostraram que genes complementares e séries de alelos múltiplos estão envolvidos. Em Chandraratna (1964) há estudos mais completos.

As cores antocianinas são devidas a genes complementares de dois loci; o locus \underline{C} produzindo um precursor da cor e seu alelo recessivo \underline{c} determina a ausência de cor, e o locus \underline{Sp} , que produz a antocianina. Ambos produzem uma série de alelos que seguem uma ordem de dominância: $C^B > C^{bp} > C^{bt} > C^{br} > c$ e o locus \underline{Sp} possui a seguinte ordem de dominância: $Sp > S^{pd} > sp$. A produção das cores depende da interação entre os alelos \underline{C} e \underline{Sp} . Quando a planta é homocigota para \underline{c} não há desenvolvimento da cor, qualquer que seja o alelo \underline{Sp} presente. De modo contrário, sem o alelo dominante \underline{Sp} a planta será desprovida de cor independente de qual alelo esteja no locus \underline{C} .

Usualmente, quando os genes produtores de cor estão presentes, cores de várias intensidades desenvolvem-se em mais de um órgão da planta, como, por exemplo: Sp e C^B produz cor violeta nos ápulos de glumas estéreis, estigma e linhas púrpuras nos internódios. Sp com C^{bp} produz cor violeta nos ápices, glumas estéreis e estigma, somente outras combinações de genes das duas séries produzem outras distribuições de cores e variações de tonalidade.

Enquanto esse esquema satisfaz a herança de cor para o arroz japonês, não satisfaz totalmente para as variedades índicas, onde outras séries alélicas têm interferido num modelo de cores. Séries essas específicas das variedades índicas.

3.3. Epistasia

A epistasia é a interação não alélica, onde alelos não homólogos interagem entre si, modificando a proporção fenotípica mendeliana, para dois genes, que é 9:3:3:1.

Os exemplos dados a seguir de acordo com a proporção fenotípica de F_2 , não são usuais. Eles derivam de levantamento bibliográfico com a finalidade de demonstrar ao leitor que outras culturas também apresentam casos semelhantes aos exemplos comumente encontrados na literatura de Genética. Para bem caracterizar tal observação, manteve-se os genes conforme os autores os descrevem em seus trabalhos científicos.

3.3.1. Proporção 9:7

Faria e Illg (1996) estudaram a capacidade de regeneração “*in vitro*” de plantas de *Lycopersicon*. Cruzaram *L. pimpinellifolium* com *L. esculentum* sendo que a primeira possui alta capacidade regenerativa, enquanto que a segunda não. Foram analisadas as gerações F_1 e F_2 e os retrocruzamentos. Os híbridos F_1 mostraram-se com capacidade de regeneração, enquanto que em F_2 a segregação foi de 9:7 (regeneração : não regeneração) e nos retrocruzamentos a proporção foi de 1:3 respectivamente.

Neste exemplo acima a geração F_1 mostra, aparentemente, uma dominância e, portanto a possibilidade da característica ser controlada por apenas um gene. Com esse pensamento a geração F_2 deveria apresentar resultados de 3:1; entretanto essa proporção foi de 9:7 demonstrando que a característica de capacidade regenerativa *in vitro* é controlada por dois genes.

Baseado nesse estudo é possível se determinar os genótipos das plantas, como se segue:

- Capacidade de regeneração tem o genótipo **A – B –**
- Não regeneração tem os genótipos **A – bb, aa B – e aabb**

Observando os genótipos se comprova que a capacidade de regeneração é controlada por dois alelos dominantes e que deverão estar juntos para poder a planta manifestar a característica. A proporção fenotípica neste caso é de 9:7.

3.3.2. Proporção 11:5

Linhagens de *Gossypium hirsutum* que apresentam glândulas nas folhas, pecíolo e paredes dos carpelos foram cruzadas com as que não têm glândulas, para estudar sua herança, já que há discussão e diferentes interpretações para essa característica, conforme descrito em Fuchs et al, 1972.

Esses autores cruzaram as linhagens L57 e L628, que apresentam glândulas com L1008 e L1004, que não tem glândulas em suas folhas. As F₁'s foram cruzadas entre si para constituírem a F₂. O retrocruzamento com L1004 resultou numa proporção de 1:3, com glândulas: sem glândulas, evidenciando que o F₁ é segregante e que há mais de um gene para controlar essa característica.

A proporção F₂ de plântulas que apresentam glândulas em relação as que não apresentam pode ser interpretada com 11:5 ou 11:2:2:1, portanto uma epistasia tetratípica visto que a presença de glândulas depende de dois genes dominantes (Gl₂ e Gl₃) que deverão estar juntos no mesmo genótipo cada um em seu locus ou em homozigose no seu próprio locus, como a seguir descrito:

Tabela 5.3 – Segregação epistática da proporção 11:5.

Genótipos	Proporção / Fenótipo
Gl ₂ - Gl ₃ - + Gl ₂ Gl ₂ - - + - - Gl ₃ Gl ₃	9 + 1 + 1 = 11 com glândulas
Gl ₂ gl ₂ gl ₃ gl ₃	2 sem glândulas
gl ₂ gl ₂ Gl ₃ gl ₃	2 sem glândulas
gl ₂ gl ₂ gl ₃ gl ₃	1 sem glândulas

3.3.3. Proporção 9:3:4

A) Tomate:

Para estudar o comportamento dos diferentes tipos de inflorescências em tomates, Vriesenga e Honna em 1973 cruzaram as linhagens MSU 100, que é mutante e possui uma flor por ramo (“Single-flower-per-truss”) com Pennorange, que possui uma falsa inflorescência (1 a 4 “flower-per-truss”). Essas duas linhagens foram selecionadas após um ciclo de autofecundação para torna-las homozigotas. Esta característica é contrastante, por isso, a progênie de seu cruzamento pode estabelecer o tipo de herança que a controla.

O cruzamento MSU 100 (P₁) com Pennorange (P₂) resultou na F₁ com o fenótipo inflorescências simples (“simple”). Este fenótipo é diferente do dos pais. A geração F₂ apresentou os seguintes fenótipos e suas quantidades: 317 simple; 104 single-flower-per-truss e 153 pseudo-simple. Estes valores aproximam-se da proporção 9:3:4.

Os resultados obtidos pelos autores demonstram que esta característica é governada por dois genes que interagem entre si. Usando os símbolos propostos pelos autores “sft “ para single-flower-per-truss e “pss” para pseudo-simple, a distribuição genotípica epistática fica assim representada:

$$\begin{array}{ll}
 9 \text{ Sft} - \text{Pss} - & 9 \text{ Sft} - \text{Pss} - \\
 3 \text{ Sft} - \text{pss pss} & \text{ou} \quad 3 \text{ sft sft Pss} - \\
 4 \text{ sft sft Pss} - & 4 \text{ Sft} - \text{pss pss}
 \end{array}$$

Para a manifestação do fenótipo “simple” os dois alelos dominantes, um de cada gene, pelo menos, são necessários. Para “single-flower-per-truss” deverá haver a ausência de dominantes ou, pelo menos, a

presença de um alelo dominante num locus ou no outro locus; e para o fenótipo “pseudo-simple” são necessários dois alelos recessivos no locus pss e um alelo dominante no outro locus.

B) Arroz:

A pigmentação vermelha do pericarpo do grão do arroz é de grande importância comercial, porque seus efeitos atuam sobre a qualidade e moagem. Grãos vermelhos são indesejáveis e cuidados especiais são necessários para excluir este caráter das colheitas.

O pigmento, o qual não é antocianina, é geralmente herdado como se um simples par de genes estivesse envolvido com a cor vermelha dominante. Dois genes complementares podem ser os participantes, descritos como Rc e Rd é responsável pela produção de pigmentos chamados de arroz marrom-cinza, o qual tem pintas marrons irregulares sobre um fundo marrom-avermelhado. O Rd, quando presente junto com Rc, causa o espalhamento da cor de Rc produzindo, então, o arroz vermelho.

Rd, apenas, não produz pigmentos. Arroz vermelho possui o genótipo com os dois alelos dominantes, enquanto que arroz marrom-cinza é Rc – rd rd e arroz branco pode ser tanto rc rc Rd – como rc rc rd rd. O cruzamento entre arroz vermelho e branco produz uma segregação de 3:1, quanto à presença ou ausência da cor, porém segrega em 9:3:4 com relação a tonalidade das cores que pode apresentar (Chandraratna, 1964).

3.3.4. Proporção 13:3

A) Tomate:

Vriesenga e Honna, em 1974, descobriram a proporção de 13 inflorescência simples para 3 composta em tomate. A inflorescência composta é constituída de 200 a 300 flores exibindo um tipo não terminal condicionada por um gene recessivo “ntf”. A inflorescência simples (single-flower) é determinada pelo gene “sft”. Os alelos normais produzem o fenótipo “simple”.

O cruzamento entre as linhagens MSU 100 com genótipo sft sft Ntf Ntf com a MSU 200 com genótipo Sft Sft ntf ntf resultou numa F₁ cujo genótipo Sft sft Ntf ntf produz inflorescência “simple”. A geração F₂ segregou na proporção de 13:3. A conclusão epistática fica entendida da seguinte forma:

A inflorescência simple ou não terminal é condicionada pelo alelo dominante Sft portanto a presença dele inibe a expressão do Ntf. A presença dos alelos recessivos sft sft junto com alelo dominante Ntf o fenótipo é inflorescência composta. Ainda a ausência de alelos dominantes nos dois loci resulta em inflorescência simples.

B) Arroz

Esta proporção epistática de 13:3 também foi encontrada por Sidhu et al. (1990) estudando a herança da resistência a podridão bacteriana em arroz causada por *Xantomonas campestris* pv. *oryzae* em linhagens indianas e filipinenses. No cruzamento inicial sete linhagens resistentes foram cruzadas com uma suscetível, denominada TN1. As plantas da F₁ mostraram resistência e as da F₂ segregaram na proporção de 3 resistentes: 1 suscetível. Os autores atribuíram a resistência ao gene “xa13”. Em duas das 7 cultivares (IET 171 e RP 2151) as plantas da F₂ segregaram na proporção de 13 resistentes: 3 suscetíveis. Isto demonstrou que nessas linhagens o controle para a resistência é devido a dois genes não homólogos.

Neste trabalho foi determinado também que a resistência é determinada tanto por alelos dominantes quanto por recessivos e que estão em genes diferentes. O cruzamento da linhagem PEU 812 (resistente) com IET 171 (resistente), cujos genótipos são, respectivamente, Xa5Xa5 Xa13Xa13 e xa5xa5 xa13xa13 resultaram em plantas da F₁ totalmente resistentes, cujo genótipo é Xa5 xa5 Xa13 xa13. (OBS: Os alelos sublinhados são os que conferem resistência). As plantas da geração F₂ que segregaram em 13 resistentes: 3 suscetíveis apresentam os seguintes genótipos:

Tabela 5.4 – Segregação epistática 9:3:3:1.

Genótipo	Fenótipo/ Proporção
Xa5 – Xa13 –	Resistente: 9
Xa5 – xa13 xa13	Resistente: 3
xa5 xa5 Xa13 –	Suscetíveis: 3
xa5 xa5 xa13 xa13	Resistente: 1

Por essa designação compreende-se que a suscetibilidade se dá pela ausência, em homozigose, dos alelos xa13 e também pelo fato de que, no locus xa5, o que confere a resistência é o alelo recessivo.

Outra doença bacteriana no arroz é o Crestamento, causada pela bactéria *Pyricularia grisea* que ataca principalmente as cultivares plantas no centro-oeste brasileiro. Com a finalidade de se determinar o tipo de herança dessa doença, para se verificar o grau de infestação que as cultivares resistentes têm e, principalmente, buscar fontes resistentes para incluí-las nos programas de melhoramento, Filippi e Prabhu em 1996 cruzaram cultivares resistentes como: Araguaia, Basmati 370, Carreon, Dawn, Huan-Sen-Goo, Ramtulasi e Três Marias com cultivares suscetíveis, como: Bluebelle e IAC 47.

O resultado encontrado pelos autores foi que 1, 2 e 3 pares de genes controlam o caráter dependendo das cultivares suscetíveis, que é a doadora de genes para resistência. Portanto pode-se considerar como um monohibridismo com dominância, quando o controle é determinado por apenas um gene. Uma epistasia, pois quando os autores encontraram que dois e três genes controlavam o caráter, eles mostraram frequências diferentes do dihibridismo (15:1 e 63:1). Os resultados dos autores estão de acordo com suas revisões, visto que trabalhos anteriores também não definiram de forma conclusiva o tipo de herança e o número de genes que controlam o caráter.

4. Bibliografia Recomendada

- BURNS, G.W. **Genética. Uma Introdução à Hereditariedade**. 5.ed. Rio de Janeiro. Interamericana. p.15-52. 1984.
- NEWTON, S.M.C. O que é o gene. In.: COSTA, S.O.P. **Genética Molecular e de Microrganismos**. Cap.4. p.79-95, 1987.
- RAMALHO, M.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.B. **Genética na Agropecuária**. 3.ed. São Paulo. Globo. 1994. p.355.
- STANSFIELD, W.B. **Genética**. 2.ed. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 1985. p.184-205.
- SUZUKI, D.T.; GRIFFITHS, A.J.F.; MILLER, J.H.; LEWONTIN, R.C. **Introdução à Genética**. 4.ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan. 1992. p.633.
- BANDEL, G. Genética. Cap. IV. In.: PATERNIANI, E. (Coord.) **Melhoramento e Produção de milho no Brasil**. Piracicaba. Fundação Cargil. 1978. p.97-121.
- CHANDRARATNA, M.F. **Genetics and breeding of rice**. London. Longmans Green and Co. Ltda. 1964. p.389.
- BOUWKAMP, J.C.; HONNA, S. The inheritance of five morphological characters in the tomato. **The Journal of Heredity**: 61: 19-21, 1970.
- COYNE, D.P.; STEADMANN, J.R. Inheritance and association of some trait in *Phaseolus vulgaris* L. cross. **The Journal of Heredity**. 68: 60-2, 1977.
- FARIA, R.T.; ILLG, R.D. Inheritance of *in vitro* plant regeneration ability in the tomato. **Revista Brasileira de Genética**. 19(1): 113-116, 1996.

- FILIPPI, M.C.; PRABHU, A.S. Inheritance of blast resistance in rice to two *Pyricularia grisea* races, IB 1 and IB 6. **Revista Brasileira de Genética**, 19(4): 599-604, 1996.
- FUCHS, J.A.; SMITH, J.D.; BIRD, L.S. Genetic basis for an 11:5 dihybrid ratio observed in *Gossypium hirsutum*. **The Journal of Heredity**, 63(5): 300-302, 1972.
- MENEZES, O.B. Melhoramento da Batata Doce. II. Genética da Batata doce. **Revista Ceres**, 51: 189-93, 1953.
- PAULA Jr., T.; BAÍA, G.S.; ALZATE-MARÍN, A.L.; BARROS, E.G.; MOREIRA, M.A. Herança da resistência do feijoeiro à raça 73 de *Colletotrichum lindemuthianum*. **Revista Ceres**, 44(2): 480-484, 1997.
- SIDHU, G.S.; KARANJEET SINGH; RAINA, G.L. Inheritance of resistance to bacterial blight disease of rice. **Euphytica**, Netherlands, 49: 135-139, 1990.
- SKLINKARD, A.E. Inheritance of cotyledon color in lentils. **The Journal of Heredity** 69: 139-140, 1978.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Introduction to Biostatistics**. São Francisco USA W.H. Freeman and Company. 1972. p. 112-117.
- TULLMANN NETO, A.; SABINO, J.C. Indução e uso de mutante de hábito determinado e precoce em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Genética** 17(4): 425-430, 1994.
- VRIESENKA, J.D.; HONNA, S. Inheritance of tomato inflorescence . **The Journal of Heredity**, 64: 158-162, 1973.
- VRIESENKA, J.D.; HONNA, S. Inheritance of tomato inflorescence. II. Flower number and branching. **The Journal of Heredity** 65: 43-47, 1974.
- WANN, E.V.; HILLS, W.A. The genetics of boro and iron transport in the tomato. **The Journal of Heredity**. 64: 370-1, 1973.

Exercícios

1. Relacione todos diferentes gametas que podem ser produzidos pelos seguintes indivíduos:
 - a. AABBCc; R: gametas ABC; Abc.
 - b. aaBbCc; R: aBC; aBc; abC; abc.
 - c. AABbCcddEeFf; R: ABCdE; ABCde; ABcdE; ABcde; AbCdE; AbCde; AbcdE; Abcde.
 - d. AABBCCDDEEFFGGHHIi; R: ABCDEFGHI; ABCDEFGHi.
2. A relação entre cromátides recombinadas e não recombinadas é de, no máximo 50%. Quantas cromátides deverão mostrar recombinação para que a relação chegue a 25% numa célula onde o número somático $2n = 24$? R: 12 cromátides.
3. Um indivíduo é heterozigoto para os 4 pares de genes A, B, C e D. Os alelos A e B estão no mesmo par de cromossomos homólogos, enquanto que C e D estão juntos no outro par de homólogos.
 - a. Preveja quais os tipos de gametas que esse indivíduo produz considerando uma permuta entre A e B somente. R: ABCD; abCD; AbCD; aBCD.
 - b. Quantos tipos de gametas diferentes ocorrerão se em ambos os cromossomos houver permuta? R: 16 gametas diferentes.
4. Em cevada a presença e ausência de aristas nos grãos são dependentes de um gene K. K que determina a ausência é dominante sobre seu homólogo k que determina a presença das aristas. Variedades homozigotas com e sem aristas foram cruzadas entre si.

- a. Qual o fenótipo das plantas em F_1 e a frequência fenotípica em F_2 ? **R:** Plantas em F_1 com fenótipos ausência de aristas; $F_2 - 3/4:1/4$.
 - b. Como se poderão determinar as constituições genéticas das plantas em F_2 ? **R:** Retrocruzamento com o pai recessivo.
5. Baseado nos dados da tabela abaixo, diga que tipo de interação está ocorrendo na forma do fruto de *Plectritis congesta* e defina os genótipos de cada geração. **R:** Interação de dominância completa. Alado domina não alado.

Polinização	Número de frutos na prole	
	Alado	Não alado
Alado (autofecundado) AA x AA	91 AA	1*
Alado (autofecundado) Aa x Aa	90 A-	30 aa
Não alado (autofecundado) aa x aa	4*	80 aa
Alado x Não alado Aa x AA	161 Aa	0
Alado x Não alado Aa x aa	29 Aa	31 aa

6. Uma geneticista de plantas tem duas linhagens puras de feijão. Uma com pétalas roxas e outra com pétalas brancas. Ela supõe que a diferença da cor é devido a apenas um gene. Para testar essa ideia ela procura por uma proporção de 3:1 em F_2 . Ela cruza as linhagens e descobre que toda a prole F_1 é roxa. As plantas de F_1 são autofecundadas e a F_2 é obtida. O cruzamento-teste realizado resultou em 320 roxas e 80 brancas. Com esses resultados é possível se comprovar a proposta da pesquisadora? Caso seja sim ou caso seja não, demonstre o que pode ter acontecido. **R:** Não. O cruzamento-teste demonstra que a interação é epistática.
7. Foram realizados cruzamentos entre linhagens homocigotas derivadas de cruzamentos entre as espécies *Lycopersicon esculentum* x *L. peruvianum* para estabelecer a herança para resistência à marcha bacteriana em tomates (TSVW) e encontraram em F_2 551 plantas resistentes e 163 suscetíveis. O retrocruzamento com o pai suscetível apresentou a proporção de 194:222 (resistente: suscetível) e com o pai resistente apenas 353 plantas todas resistentes. Usando o símbolo criado pelo autor, Sw_5 para resistência a doença, determine o tipo de herança, diagrame os cruzamentos a partir da geração paternal e teste os valores observados pelo teste do qui-quadrado. **R:** Tipo de herança: dominância completa $X^2_c = 1,78$.
8. A cor do tegumento dos grãos de lentilha (*Lens culinares*) é marrom e verde e a forma do grão é lisa e rugosa. A situação abaixo demonstra a segregação de F_2 para a cor do tegumento e do retrocruzamento realizado. Baseado nesses dados elabore hipóteses de trabalho para ambos os cruzamentos e determine o intervalo da probabilidade (P) usando o teste do qui-quadrado para testar as hipóteses. **R:** $F_2: 0,90 < P < 0,80$; $Rc_2: 0,05 < P < 0,01$.

Grupo	Fenótipo			
	Marrom	Marrom	Verde	Verde
	Lisa	Rugosa	Lisa	Rugosa
F_2	144		56	
RC1	200			
RC2	50	32	52	28

9. Plantas de milho resistentes a *Helminthosporium turcicum* possuem o alelo Ht do gene para resistência. Da mesma forma o gene Rt determina a resistência a *Puccinia sorghi* e genótipo $agag$ condiciona plantas resistentes ao ataque de gafanhotos. Se plantas resistentes a todas as características são cruzadas com plantas suscetíveis qual a probabilidade de, em F_2 , aparecer plantas suscetíveis a *Helminthosporium turcicum* resistentes aos demais fatores estudados? E qual a probabilidade de aparecerem plantas somente suscetíveis ao ataque de gafanhotos? **R:** Suscetíveis a *H. turcicum*: 3/64. Suscetíveis ao ataque de gafanhotos: 12/4.
10. A série alélica V participa da formação da cor das vagens, junto com os alelos A , a^a e a . O gene V junto com a^a e junto com a produz vagens estriadas e rosa normal, respectivamente; com A produz vagens

amarelas, que também é determinada por, \underline{v}^{lac} e \underline{v} juntos com \underline{a}^a e \underline{a} , porém V^{lac} -**A**- e **vvA**- produz vagens vermelhas. Partindo desses dados determine a cor das vagens, em F_2 do seguinte cruzamento: $VV \underline{a}^a \underline{a}^a \times V^{lac} V^{lac} AA$, sendo \underline{V} dominante sobre \underline{V}^{lac} que é dominante sobre \underline{v} e \underline{A} dominante sobre \underline{a}^a que é dominante sobre \underline{a} . R: 12 amarelas : 3 estriadas : 1 indeterminada.

11. O pólen de plantas de tomates virescentes (amarelecentes devido à deficiência de clorofila) foi utilizado para fecundar uma planta normal verde (com produção normal de clorofila). Todos os híbridos se apresentaram de cor verde normal. Ao cruzar um desses híbridos com uma planta de cor virescente se obteve uma progênie formada por 112 plantas verdes e 72 plantas virescentes. Que conclusão se pode obter com tal resultado sobre o tipo de interação que está ocorrendo nesse caso? R: Epistasia com proporção aproximada de 9/16 : 7/16.
12. Em populações de feijão (*Phaseolus vulgaris*) dois genes aparecem para determinar a cor do tegumento das sementes. No retrocruzamento foram encontrados os seguintes fenótipos e suas quantidades: 450 – sementes esverdeadas e 150 – sementes azuladas. Baseado nesses dados responda:
 - a. Que tipo de interação está ocorrendo? R: Epistasia.
 - b. Qual a proporção fenotípica esperada para essa interação? R: Proporção 12/16: 4/16.
13. Os genes \underline{du} (dull) e \underline{su} (sugary) condicionam aumento de 35 e 40% de amilose, em grãos de milho, respectivamente. A combinação **Su du** produz até 60% de amilose, porém quando o \underline{su} está em homozigose há uma redução na taxa de amido. Os genes alelos produzem 100% de amilose. Partindo do cruzamento de plantas **SuSu dudu** com **susu DuDu**.
 - a. Qual será a proporção em F_2 quanto à produção de amido? R: Proporção 9/16: 3/16: 4/16.
 - b. Que tipo de interação está ocorrendo entre os genes? R: Epistasia.
 - c. E qual o resultado do retrocruzamento? R: 1/4 – 100% de amido: 1/4 – até 60% de amido: 2/4 – redução do amido.
14. Dois genes diferentes atuam na absorção e na utilização de ferro (Fe) em plantas de milho. O gene \underline{ys}_1 reduz a absorção de ferro nas pontas das raízes, enquanto que o gene \underline{ys}_3 permite a absorção, mas acumula-o nas células das raízes. Plantas com genótipo $\underline{ys}_1 \underline{ys}_1$ que tiveram suas folhas pulverizadas com solução de ferro ficaram verdes em 48 horas, já as plantas com genótipo $\underline{ys}_3 \underline{ys}_3$ necessitaram de 6 dias para ficarem verdes. Baseado nesses dados o cruzamento de plantas verdes normais com plantas que tem deficiência na absorção e metabolização do ferro, resultará em que quantidade, na geração F_2 numa população de 2.500 plantas de milho? R: 9/16 verdes normais (≈ 1.406): 3/16 acúmulo de ferro (≈ 469): 4/16 absorção reduzida (≈ 625).
15. Em *Phaseolus lunatus* existe o gene \underline{Ih} , dominante, que é ativador do gene \underline{Gr} , dominante para a cor marrom em vagens maduras. O alelo \underline{ih} , recessivo, produz igualmente a cor verde, independente do ativador/inibidor. Das 1.782 vagens colhidas em F_2 , resultante do cruzamento de dois híbridos F_1 marrons, quantas vagens terão cor verde e quais os genótipos e fenótipos das gerações paternas? R: Aproximadamente 445 plantas verdes. Marrom – $IhIhGrGr$ e Verde – $ihihgrgr$.
16. Genes MONOPTEROS são encontrados na embriogênese de plantas. As mutações recessivas nesses genes causam ausência de hipocótilo e de raiz e são determinadas por \underline{mp} . As plantas normais são homozigotas ou heterozigotas. O retrocruzamento de plantas normais com plantas monoptéricas resultaram em 400 plantas cuja segregação foi 325 normais e 83 monoptéricas. A proposta inicial dos pesquisadores é de que os genes para a embriogênese tenham comportamento mendeliano.
 - a. Essa proposta pode ser confirmada pelos dados obtidos? R: Não.
 - b. Qual a interação pode estar envolvendo esses genes? R: Epistasia.
 - c. Qual a proporção final? R: Proporção aproximada de 12/16: 4/16.
17. Dois genes independentes estão segregando numa população de plantas. O gene para raízes adventícias, recessivo, segregou em 97 raízes normais e 42 raízes adventícias. Outro gene que determina a presença de acúleos, quando estudado sozinho, segregou em 35 plantas sem acúleos, 78 com acúleos pequenos e 28 com acúleos longos. Determine a interação de cada um deles. Se esses genes fossem estudados juntos, na mesma população, quantos se esperariam de cada fenótipo numa população de 2.325 plantas. R:

Características tipo de raízes – dominância completa de um gene e tipos de acúleos – herança intermediária. 436 - raízes normais, sem acúleos; 872 - raízes normais, com acúleos pequenos; 436 - raízes normais, com acúleos longos; 145 - raízes adventícias, sem acúleos; 260 - raízes adventícias, com acúleos pequenos e 146 - raízes adventícias, com acúleos longos.