

Paulo Vanderlei Ferreira

Melhoramento de Plantas: Princípios, Bases Genéticas e Planejamento



2021

 **hawking**
EDITORA

DIREÇÃO EDITORIAL: Betjane Soares de Barros
REVISÃO ORTOGRÁFICA: Paulo Vanderlei Ferreira
DIAGRAMAÇÃO E DESIGNER DE CAPA: Editora Hawking
IMAGENS DE CAPA: canva.com

O padrão ortográfico, o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas do autor. Da mesma forma, o conteúdo da obra é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu autor.



Todos os livros publicados pela Editora Hawking estão sob os direitos da Creative Commons 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR

2021 Editora HAWKING
Rua Luiz Clemente de Vasconcelos, 725b, Clima Bom. Maceió/AL.
www.editorahawking.com.br
editorahawking@gmail.com

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F383m Ferreira, Paulo Vanderlei.
 Melhoria de plantas: princípios, bases genéticas e procedimentos /
 Paulo Vanderlei Ferreira. – Maceió : Editora Hawking, 2021. 864 p.: il.

Inclui bibliografias e glossários.
ISBN: 978-65-88220-07-8.

1. Agronomia. 2. Genética. 3. Melhoria de plantas. 4. Bases genéticas da seleção e da hibridação. 5. Estimativa de parâmetros genéticos. 6. Herança quantitativa e cruzamento dialético. 7. Métodos de melhoria. 8. Resistência às doenças e aos insetos. 9. Tópicos especiais. 10. Técnicas experimentais. I. Título.

CDU: 631.52

Índice para catálogo sistemático:

1. PALAVRA 610

PAULO VANDERLEI FERREIRA

MELHORAMENTO DE PLANTAS:
princípios, bases genéticas e
procedimentos

1ª edição

Maceió-AL
2021



Direção Editorial

Dra. Betijane Soares de Barros, Instituto Multidisciplinar de Maceió – IMAS (Brasil)

Conselho Editorial

Dra. Adriana de Lima Mendonça/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil),
Universidade Tiradentes - UNIT (Brasil)

Dra. Ana Marlusia Alves Bomfim/ Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Ana Paula Morais Carvalho Macedo /Universidade do Minho (Portugal)

Dra. Andrea Marques Vanderlei Fregadolli/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dr. Eduardo Cabral da Silva/Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Brasil)

Dr. Fábio Luiz Fregadolli//Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Maria de Lourdes Fonseca Vieira/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Jamyle Nunes de Souza Ferro/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dra. Laís da Costa Agra/Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ (Brasil)

Dra. Lucy Vieira da Silva Lima/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil)

Dr. Rafael Vital dos Santos/Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Brasil), Universidade
Tiradentes - UNIT (Brasil)

Aos meus queridos pais: Paulo (*in memoriam*)
e Teresinha (*in memoriam*);

Aos meus queridos irmãos: Luiz Carlos,
Maria de Fátima, Marcos Edson, José
Raimundo, Ricardo e Antônio Augusto;

Aos meus queridos filhos: José Paulo, Adriana
e Andréa;

Aos meus queridos netos: Paulo Ricardo e
Brenda, filhos de José Paulo; Rubens Paulo e
Raissa, filhos de Adriana; e Augusto Cesar,
Alice e Ayla, filhos de Andréa;

Ao meu querido bisneto Saulo, filho da Raissa,
neto da Adriana;

Aos meus queridos enteados, filhos da Rosa:
Sofia, João Pedro e João Vitor;

OFEREÇO

À Rosa, minha querida
companheira, amiga, mulher da
minha vida, como prova de carinho,
respeito e muito amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, o Deus de todos nós, que me concedeu este instrumento para contribuir com o ensino de Melhoramento de Plantas nos cursos de graduação e pós-graduação na área de Ciências Agrárias, especialmente Agronomia, bem como na pesquisa através do desenvolvimento de cultivares adaptadas e produtivas para a região.

Aos meus pais, Paulo Braga Maciel Ferreira (*in memoriam*) e Teresinha Vanderlei Maciel Ferreira (*in memoriam*), pelo exemplo de dignidade, respeito e amor ao próximo.

Ao Prof. José Klinger Soares Teixeira, o primeiro Diretor do CECA-UFAL, que apostou no meu desempenho acadêmico enquanto estudante do Curso de Agronomia e me conduziu a assumir com muito compromisso institucional a nobre função docente na UFAL.

Ao Prof. Dr. Cyro Paulino da Costa, pela valiosa orientação durante a minha pós-graduação na ESALQ-USP, amizade e, sobretudo, pelo seu exemplo de entusiasmo constante e dedicação ao trabalho.

A todos os meus alunos da graduação e da pós-graduação, a razão maior de minha vida na Universidade Federal de Alagoas, pelo incentivo constante e respeito durante toda minha trajetória como docente.

Enfim, aos amigos docentes e funcionários da Universidade Federal de Alagoas, pelo incentivo constante, respeito profissional e lealdade.

APRESENTAÇÃO

Há 42 anos, quando ingressei na Universidade Federal de Alagoas (UFAL) como docente, assumi a disciplina Melhoramento de Plantas do Curso de Agronomia e me deparei com a falta de literatura atualizada e em português. Tínhamos à disposição apenas o livro do R. W. Allard (Princípios do Melhoramento Genético das Plantas) e a apostila do Clibas Vieira (Curso de Melhoramento de Plantas), apesar da grande importância do Melhoramento de Plantas para o desenvolvimento da agricultura.

Vale ressaltar o pioneirismo do Prof. Dr. Clibas Vieira da Universidade Federal de Viçosa, que editou em 1964 a primeira e única compilação sobre o tema em apreço, apesar de nosso país contar na época com excelentes fitomelhoristas, os ícones do passado que contribuíram muito com o desenvolvimento da agricultura nacional com suas cultivares e responsáveis pela formação da segunda geração de fitomelhoristas do Brasil, tais como Marcílio de Souza Dias, Alcides Carvalho, Ernesto Paterniani, João Rubens Zinsly, Cyro Paulino da Costa, Hiroshi Ikuta, entre outros.

A falta de literatura em português sobre Melhoramento de Plantas estimulou a segunda geração de fitomelhoristas para produzir livros didáticos na referida área. Em 1995, foi editado o livro do Ronald José Barth Pinto (Introdução ao Melhoramento Genético de Plantas); em 1996, o livro do Pedro Ronzelli Júnior (Melhoramento Genético de Plantas); em 1997, o livro do Aloísio Borém (Melhoramento de Plantas); em 1999, o livro do D. Destro e R. Montalván (Melhoramento Genético de Plantas); em 2001, o livro do Luiz Carlos de Sousa Bueno, Antônio Nazareno Guimarães Mendes e Samuel Pereira de Carvalho (Melhoramento Genético de Plantas: Princípios e Procedimentos); em 2006, a coleção do Paulo Vanderlei Ferreira (Melhoramento de Plantas); e em 2010, o livro do Paulo Sérgio Lima e Silva (Melhoramento Convencional de Plantas).

Quando escrevi, em 2006, a coleção Melhoramento de Plantas foi porque resolvi, também, fazer parte deste grupo da segunda geração de fitomelhoristas, dando minha modesta contribuição à formação intelectual daqueles que se dedicam ao desenvolvimento de novas variedades.

Atualmente, já aposentado como Professor Titular do CECA-UFAL, mas atuando como Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Produção Vegetal do CECA-UFAL, e Sócio Proprietário e Fitomelhorista da Empresa PV Sementes Ltda - EPP, resolvi atualizar e ampliar a referida Coleção de Melhoramento de Plantas e transformá-la em

um único livro, tamanho A4, denominado de Melhoramento de Plantas: Princípios, Bases Genéticas e Procedimentos.

A presente obra poderá ser utilizada por alunos de graduação de Agronomia, Biologia e áreas afins de qualquer universidade, bem como alunos de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Fitotecnia, Fitopatologia e Entomologia, além de profissionais que desenvolvem atividades relacionadas ao melhoramento genético de plantas.

Paulo Vanderlei Ferreira

O Autor

SUMÁRIO

PARTE 1 PRINCÍPIOS E PERSPECTIVAS	016
Capítulo 1 Melhoramento Genético de Plantas: Natureza, Objetivos e Planejamento	017
1.1 Aspectos Históricos do Melhoramento Genético de Plantas	017
1.2 Natureza do Melhoramento Genético de Plantas	019
1.3 Áreas Científicas de Suporte ao Melhoramento de Plantas	020
1.3.1 Botânica	021
1.3.2 Fisiologia vegetal	021
1.3.3 Genética	021
1.3.4 Fitopatologia	022
1.3.5 Entomologia	022
1.3.6 Bioquímica	022
1.3.7 Estatística experimental	023
1.3.8 Biotecnologia	023
1.3.9 Métodos culturais	023
1.4 Características do Fitomelhorista	024
1.5 Desafios e Perspectivas dos Fitomelhoristas	025
1.6 Contribuições Exclusivas do Melhoramento Genético de Plantas	027
1.7 Objetivos do Melhoramento Genético de Plantas	033
1.7.1 Aumento da capacidade de produção das plantas	033
1.7.2 Desenvolvimento de plantas que forneçam produtos de qualidade	034
1.7.3 Obtenção de plantas que facilitem a colheita mecânica	035
1.7.4 Desenvolvimento de plantas para novas áreas agrícolas	036
1.7.5 Obtenção de plantas produtivas em áreas de condições desfavoráveis	036
1.7.6 Obtenção de plantas resistentes às doenças	037
1.7.7 Obtenção de plantas resistentes os insetos-praga	038
1.7.8 Desenvolvimento de modelos ideais de plantas	039
1.7.9 Obtenção de plantas transgênicas	039
1.7.10 Desenvolvimento de plantas poliploides	040
1.7.11 Outros	040
1.8 Planejamento de um Programa de Melhoramento Genético de Plantas	042
1.8.1 Definição dos objetivos	042
1.8.2 Realização de um levantamento do que já foi obtido em programas de melhoramento genético semelhante	043
1.8.3 Realização de um levantamento do material existente	043
1.8.4 Verificação do modo de reprodução da espécie a ser melhorada	043
1.8.5 Determinação da taxa de alogamia nas condições locais	043
1.8.6 Estudo da base genética	044
1.8.7 Estabelecimento do programa de melhoramento genético de plantas	044
Capítulo 2 Evolução das Espécies Cultivadas	045
2.1 Domesticação de Plantas	045
2.2 Seleções Natural e Artificial	047
2.3 Formas de Evolução das Espécies Cultivadas	051
2.3.1 Variação mendeliana	051
2.3.2 Hibridação interespecífica	053
2.3.3 Poliploidia	056
Capítulo 3 Centros de Origem das Espécies Cultivadas e Conservação de Recursos Genéticos	059

3.1 Surgimento da Agricultura e do Melhoramento de Plantas	059
3.2 Centros de Origem das Espécies Cultivadas	063
3.2.1 Centro chinês	065
3.2.2 Centro indiano	066
3.2.3 Centro asiático central	067
3.2.4 Centro do oriente próximo	067
3.2.5 Centro mediterrânico	067
3.2.6 Centro abissínio	068
3.2.7 Centro mexicano do sul e centro-americano	068
3.2.8 Centro sul-americano	068
3.3 Conservação de Recursos Genéticos	071
Capítulo 4 Introdução e Aclimação de Variedades de Espécies Cultivadas	081
4.1 Transporte de Plantas Feito pelo Homem	081
4.2 Introdução de Variedades de Espécie Cultivadas	084
4.3 Aclimação de Variedades de Espécies Cultivadas	094
Capítulo 5 Sistemas Reprodutivos das Espécies Cultivadas	096
5.1 Biologia Floral	096
5.2 Espécies Autógamas e Alógamas	101
5.3 Meios para o Controle da Polinização	106
5.3.1 Dispositivos que dificultam o cruzamento	107
5.3.2 Dispositivos que favorecem o cruzamento	108
5.3.3 Dispositivos que tornam obrigatório o cruzamento	109
5.4 Sistemas de Incompatibilidade	111
5.4.1 Sistema gametofítico de incompatibilidade	112
5.4.2 Sistema esporofítico de incompatibilidade	115
5.5 Esterilidade Masculina	118
5.5.1 Esterilidade masculina genética	119
5.5.2 Esterilidade masculina citoplasmática	120
5.5.3 Esterilidade masculina genético-citoplasmática	122
5.6 Determinação do Modo de Reprodução	123
5.7 Determinação da Taxa de Alogamia	123
5.8 Técnicas de Autofecundação e de Cruzamento	125
5.9 Reprodução Assexuada	130
Capítulo 6 Perspectivas do Melhoramento de Plantas	137
6.1 Melhoramento Genético de Plantas: Dos Primórdios aos Dias Atuais	137
6.2 Melhoramento Genético de Plantas no Século XX	138
6.3 Melhoramento Genético de Plantas no Século XXI	139
PARTE 2 BASES GENÉTICAS DO MELHORAMENTO DE PLANTAS	141
Capítulo 7 Princípios Básicos da Seleção	142
7.1 Diferenças Entre Seleção Artificial e Seleção Natural	142
7.2 Atributos da Seleção	143
7.3 Teoria da Linhagem Pura: Base Genética	143
7.4 Teoria da Seleção em Populações Alógamas	144
7.5 Respostas à Seleção	155
7.5.1 Ganho rápido no início, seguido de um período prolongado de pouco progresso	121
7.5.2 Resposta lenta, constante e que se mantém por muito tempo	160
7.5.3 Resposta lenta que atinge um platô	161
7.5.4 Resposta insignificante ou nula	123
7.5.5 Ganho rápido no início, seguido de um platô em que a seleção é ineficaz, com	

outro período de ganho rápido, o qual termina em novo platô	163
Capítulo 8 Causas e Decorrências Genéticas da Híbridação	164
8.1 Híbridação Artificial	164
8.2 Relação Entre Genótipo e Fenótipo	165
8.3 Interação Gênica	167
8.4 Genes Modificadores	168
8.5 Penetrância e Expressividade	169
8.6 Efeito de Umbral	171
8.7 Influência do mAmbiente na Expressão dos Genes	171
8.8 Interação Genótipos por Ambientes	173
8.9 Segregação e Recombinação dos Genes	178
8.10 Composição de Populações Derivadas de Híbridos	179
8.11 Ligação Gênica	182
Capítulo 9 Híbridação Interespecífica no Melhoramento de Plantas	184
9.1 Híbridação Interespecífica	184
9.2 Barreira à Híbridação Interespecífica	186
9.3 Melhoramento de Espécies Cultivadas Através da Híbridação Interespecífica	188
Capítulo 10 Endogamia e Heterose	194
10.1 Endogamia: Base Genética e Efeitos	194
10.2 Coeficiente de Endogamia	199
10.3 Heterose: Base Genética e Efeitos	201
10.3.1 Hipótese da dominância	204
10.3.2 Hipótese da sobredominância	205
10.3.3 Hipótese da epistasia	205
10.3.4 Hipótese da heterozigose propriamente dita	207
Capítulo 11 Herança Quantitativa	211
11.1 Distinção Entre Caracteres Qualitativos e Quantitativos	211
11.2 Hipótese dos Fatores Múltiplos	212
11.3 Interações Alélicas	216
11.3.1 Interação alélica aditiva	217
11.3.2 Interação alélica dominante	220
11.3.3 Interação alélica sobredominante	222
Capítulo 12 Processos de Estimação de Médias, Variâncias e Parâmetros Genéticos	226
12.1 Processos de Predição de Média de um Caráter em Diversos Tipos de População	226
12.1.1 Estimativa de produção de um híbrido duplo	228
12.1.2 Estimativa de produção de um híbrido triplo	229
12.1.3 Estimativa de produção da geração F2 de um híbrido de linhagem	229
12.1.4 Estimativa de produção de um composto a partir do cruzamento de dois híbridos de linhagens	232
12.1.5 Estimativa de produção de um composto a partir do cruzamento entre variedades	233
12.2 Processos de Estimar os Componentes de Variação e Prâmetros Genéticos	236
12.2.1 Estimativas de variâncias	236
12.2.2 Estimativas de parâmetros genéticos	241
12.2.2.1 Coeficiente de herdabilidade	241
12.2.2.2 Coeficiente de repetibilidade	246
12.2.2.3 Coeficiente de variação genética	248
12.2.2.4 Coeficiente de correlação intraclasse	248
12.2.2.5 Ganho genético	249

12.3 Processos de Estimar os Componentes de Variação e Parâmetros Genéticos, Considerando-se Vários Ambientes	256
12.3.1 Interação genótipos por ambientes	256
12.3.2 Atenuação do efeito da interação genótipos por ambientes	260
12.3.2.1 Identificação de variedades específicas para cada ambiente	260
12.3.2.2 Realização do zoneamento ecológico	260
12.3.2.3 Identificação de variedades com maior estabilidade fenotípica	261
12.3.3 Um exemplo	265
Capítulo 13 Cruzamentos Dialélicos	276
13.1 Metodologia de Cruzamentos Dialélicos	276
13.2 Tipos de Cruzamentos Dialélicos	279
13.3 Considerações Sobre Análise Dialélica	280
13.4 Método Proposto por Jinks e Hayman (1953)	280
13.5 Método Proposto por Griffing (1956)	284
13.6 Método Proposto por Gardner e Eberhart (1966)	291
13.7 Um Exemplo	297
Capítulo 14 Correlação Entre Caracteres e Respostas Correlacionadas na Seleção	315
14.1 Correlação Entre Caracteres	315
14.1.1 Correlação fenotípica	316
14.1.2 Correlação genética	316
14.1.3 Correlação ambiental	316
14.2 Estimativas dos Coeficientes de Correlação	317
14.3 Respostas Correlacionadas na Seleção	319
14.4 Um Exemplo	320
PARTE 3 MÉTODOS DE MELHORAMENTO DE PLANTAS	324
Capítulo 15 Considerações Gerais Sobre Métodos de Melhoramento de Plantas	325
15.1 Fases dos Métodos de Melhoramento de Plantas	325
15.1.1 Obtenção da variabilidade genética	325
15.1.2 Seleção	326
15.1.3 Estudo comparativo do material obtido	326
15.1.4 Multiplicação de sementes	327
15.2 Classificação dos Métodos de Melhoramento de Plantas	327
Capítulo 16 Métodos de Melhoramento Exclusivos de Espécies Autógamas	329
16.1 Método de Seleção de Plantas Individuais com Teste de Progênie	329
16.2 Método Genealógico	333
16.3 Método da População	339
16.4 Métodos Modificados	344
16.4.1 Método da descendência de uma única semente	344
16.4.2 Método genealógico em massa	347
Capítulo 17 Métodos de Melhoramento Exclusivos de Espécies Alógamas	349
17.1 Métodos de Seleção com Teste de Progênie	349
17.1.1 Método de seleção espiga por fileira	349
17.1.2 Método de seleção entre e dentro de progênies de meios irmãos	351
17.1.3 Método de seleção entre e dentro de progênies de irmãos germanos	355
17.1.4 Método de seleção entre e dentro de progênies S1	358
17.2 Método de Seleção Recorrente	361
17.2.1 Método de seleção recorrente simples	362
17.2.1.1 Método de seleção recorrente simples para caracteres que ocorrem antes do florescimento	363
17.2.1.2 Método de seleção recorrente simples para caracteres que ocorrem	364

após o florescimento	364
17.2.2 Método de seleção recorrente para capacidade geral de combinação	366
17.2.3 Método de seleção recorrente para capacidade específica de combinação	369
17.2.4 Método de seleção recorrente recíproca	372
17.3 Método de Variedades Sintéticas	376
Capítulo 18 Métodos de Melhoramento de Espécies Atógamas e Alógamas	381
18.1 Método de Seleção Massal	381
18.1.1 Método de seleção massal em espécies autógamas	381
18.1.2 Método de seleção massal em espécies alógamas	383
18.1.2.1 Método de seleção massal simples	384
18.1.2.2 Método de seleção massal estratificada	385
18.1.2.3 Método de seleção massal estratificada geneticamente	387
18.2 Método do Retrocruzamento	389
18.3 Método de Variedades Híbridas	398
Capítulo 19 Métodos de Melhoramento de Espécies Propagadas Assexuadamente	413
19.1 Método de Seleção Clonal	413
19.1.1 Método de seleção clonal individual	413
19.1.2 Método de seleção clonal massal	415
19.2 Método da Autofecundação	417
19.3 Método da Hibridação	419
19.4 Método do Policruzamento	421
PARTE 4 TÓPICOS ESPECIAIS DE MELHORAMENTO DE PLANTAS	425
Capítulo 20 Melhoramento de Plantas Visando à Resistência a Doenças	425
20.1 Doenças de Plantas: Tipos de Prejuízos e Controle Através do Uso de Variedades Resistentes	426
20.2 Natureza da Resistência de Plantas a Doenças	429
20.2.1 Escape	429
20.2.2 Resistência à entrada do patógeno	429
20.2.3 Resistência após a penetração do patógeno	430
20.2.4 Resistência induzida	431
20.3 Tipos de Resistência de Plantas aos Patógenos	431
20.3.1 Resistência vertical	431
20.3.1.1 Uso de multilinhas na resistência vertical	431
20.3.2 Resistência horizontal	432
20.3.2.1 Resistência horizontal desassociada à resistência vertical	432
20.3.2.2 Resistência horizontal associada à resistência vertical	433
20.4 Fontes de Resistência	433
20.5 Variabilidade dos Patógenos	435
20.5.1 Reprodução sexual	435
20.5.2 Heterocariose	435
20.5.3 Parassexualidade	436
20.5.4 Mutação	436
20.6 Efeito do Meio Ambiente na Reação Hospedeiro - Patógeno	436
20.7 Herança da Resistência do Hospedeiro aos Patógenos	439
20.8 Métodos Artificiais de Infecção, Critérios de Avaliação de Doenças e Seleção de Plantas Resistentes	441
20.9 Métodos de Melhoramento Visando à Resistência a Doenças	450
Capítulo 21 Melhoramento de Plantas Visando à Resistência aos Insetos-Praga	451
21.1 Insetos-Praga de Plantas: Tipos de Prejuízos e Controle Através do Uso de Variedades Resistentes	451

21.2 Natureza da Resistência de Plantas aos Insetos-Praga	454
21.2.1 Escape	454
21.2.2 Assincronia fenológica	454
21.2.3 Resistência induzida	455
21.2.4 Resistência	455
21.3 Tipos de Resistência de Plantas aos Insetos-Praga	456
21.3.1 Não preferência	456
21.3.2 Antibiose	457
21.3.3 Tolerância	457
21.4 Causas de Resistência de Plantas aos Insetos-Praga	458
21.4.1 Físicas	458
21.4.2 Químicas	458
21.4.3 Morfológicas	459
21.4.4 Fisiológicas	459
21.4.5 Comportamentais	460
21.5 Fontes de Resistência	460
21.6 Variabilidade dos Insetos-Praga	461
21.6.1 Reprodução sexual	461
21.6.2 Mutação	462
21.7 Efeito do Meio Ambiente na Reação Hospedeiro - Inseto-Praga	462
21.8 Herança da Resistência do Hospedeiro aos Insetos-Praga	462
21.9 Métodos Artificiais de Infestação, Critérios de Avaliação dos Danos Causados Pelos Insetos-Praga e Seleção de Plantas Resistentes	463
21.10 Métodos de Melhoramento Visando à Resistência aos Insetos-Praga	466
Capítulo 22 Melhoramento Genético de Plantas Através de Indução de Mutação	467
22.1 Classificação das Mutações	467
22.2 Mutações Gênicas	468
22.3 Tipos de Agentes Mutagênicos	470
22.3.1 Agentes mutagênicos físicos	470
22.3.1.1 Raios X	471
22.3.1.2 Raios gama	472
22.3.1.3 Partículas alfa	472
22.3.1.4 Partículas beta	472
22.3.1.5 Prótons	473
22.3.1.6 Nêutrons	473
22.3.1.7 Raios ultravioleta	473
22.3.2 Agentes mutagênicos químicos	474
22.3.2.1 Análogos de bases nitrogenadas e compostos relacionados	474
22.3.2.2 Antibióticos	474
22.3.2.3 Agentes alquilantes	474
22.3.2.4 Hidroxilamina	474
22.3.2.5 Ácido nitroso	474
22.3.2.6 Acridinas	475
22.3.3 Vantagens dos agentes mutagênicos químicos em relação aos agentes mutagênicos físicos	475
22.3.4 Desvantagens dos agentes mutagênicos químicos em relação aos agentes mutagênicos físicos	475
22.4 Órgãos da Planta Tratados com Agentes Mutagênicos	476
22.4.1 Órgãos da planta tratados com agentes mutagênicos físicos	476
22.4.2 Órgãos da planta tratados com agentes mutagênicos químicos	477

22.5 Fatores que Interferem na Ação de Agentes Mutagênicos	477
22.5.1 Dosagem do agente mutagênico	478
22.5.2 Tempo de exposição do agente mutagênico	478
22.5.3 Espécie vegetal e genótipo selecionado	478
22.5.4 Nível de oxigênio	479
22.5.5 Conteúdo de água	479
22.5.6 Temperatura	479
22.5.7 Condições de penetração	479
22.5.8 Condições após tratamento	480
22.6 Tipos de Efeitos Provocados por Agentes Mutagênicos	480
22.7 Manifestação da Mutação Induzida	481
22.8 Caracteres da Planta Melhorados por Mutação	482
22.9 Procedimentos de Indução de Mutação no Melhoramento Genético de Espécies Propagadas por Sementes	483
22.9.1 Objetivos do programa de melhoramento	484
22.9.2 Seleção da variedade a ser submetida aos tratamentos com agentes mutagênicos	484
22.9.3 Planejamento para a geração M ₁	484
22.9.4 Semeadura das sementes tratadas	486
22.9.4.1 Condições de campo	486
22.9.4.2 Época de semeadura	487
22.9.4.3 Condições das sementes tratadas	487
22.9.4.4 Densidade de semeadura	487
22.9.4.5 Controle de plantas invasoras	487
22.9.5 Isolamento da geração M ₁	487
22.9.6 Dados a serem anotados e condução da geração M ₁	488
22.9.7 Colheita da geração M ₁	488
22.9.7.1 Utilização de perfilho, ramificações ou progênies de plantas	489
22.9.7.2 Método da mistura de uma ou várias sementes	489
22.9.7.3 Método da colheita massal	489
22.9.8 Manejo da geração M ₂	489
22.9.8.1 Plantio das sementes das plantas M ₁	490
22.9.8.2 Plantio em fileira das sementes oriundas de cada espiga, ramificação, vagem ou fruto de cada planta M ₁	490
22.9.8.3 Plantio em fileira das sementes oriundas de espigas, ramificações, vagens ou frutos de cada planta M ₁	490
22.9.8.4 Plantio de uma única semente de cada espiga, ramificação, vagem ou fruto de cada planta M ₁	490
22.9.9 Tamanho necessário da geração M ₂	491
22.9.10 Manejo da geração M ₃	491
22.9.11 Técnicas de seleção	491
Capítulo 23 Poliploidia Induzida no Melhoramento de Plantas	493
23.1 Aspectos Gerais da Poliploidia	493
23.2 Efeitos da Poliploidia na Agricultura	494
23.3 Exemplos de Poliploides em Uso na Agricultura	496
23.4 Indução da Poliploidia no Melhoramento de Espécies Cultivadas	499
Capítulo 24 Melhoramento de Plantas Visando ao Desenvolvimento de Ideótipos	502
24.1 Filosofias do Melhoramento Genético de Plantas Visando o Aumento da Produtividade Agrícola	502
24.2 Procedimentos para o Desenvolvimento de Ideótipos	503

24.2.1	Definição do ambiente	504
24.2.2	Definição das características-modelo	504
24.2.3	Criação	504
24.2.4	Avaliação do ideótipo	504
24.3	Condições para o Desenvolvimento de Ideótipos	504
24.4	Relações Entre as Características dos Ideótipos e a Produtividade	505
24.5	Desenvolvimento de Ideótipos como Método Promissor	506
24.6	Exemplos de Ideótipos de Espécies Cultivadas	507
24.6.1	Ideótipo de arroz (<i>Oriza sativa</i> L.)	507
24.6.2	Ideótipo de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	508
24.6.3	Ideótipos de soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill)	510
24.6.4	Ideótipo de milho (<i>Zea mays</i> L.)	513
24.6.5	Ideótipo de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	515
24.6.6	Ideótipo de algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	516
24.6.7	Ideótipo de cevada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	516
	Capítulo 25 Melhoramento Genético de Plantas Para Cultivos Consorciados	519
25.1	Cultivo Consorciado: Vantagens e Desvantagens	519
25.2	Tipos de Sistemas de Cultivos Consorciados	520
25.2.1	Uma cultura principal consorciada com uma cultura secundária	520
25.2.2	Culturas com produtos semelhantes	521
25.2.3	Culturas com propósitos diferentes	521
25.2.4	Combinações com culturas “modificadoras”	521
25.3	CrITÉRIOS de Avaliação de Cultivos Consorciados	521
25.3.1	Produção	522
25.3.2	Uso eficiente da terra (UET)	523
25.3.3	Uso eficiente da terra/tempo (UET/T)	523
25.3.4	Retorno monetário	524
25.4	Procedimentos do Melhoramento Genético de Plantas para Cultivos Consorciados	525
25.4.1	Objetivos do programa de melhoramento genético de plantas para cultivos consorciados	525
25.4.2	Seleção da população (variedade) de cada espécie a ser usada no consórcio	526
25.4.3	Manejo das culturas	526
25.4.4	Método de melhoramento a ser usado em cada espécie	527
25.4.5	Planejamento dos ensaios de produção	527
25.4.6	Variáveis que devem ser observadas na seleção de plantas	528
	PARTE 5 TÉCNICAS ESPECIAIS USADAS NO MELHORAMENTO DE PLANTAS	529
	Capítulo 26 Técnicas Biotecnológicas Usadas no Melhoramento de Plantas	530
26.1	Uso da Biotecnologia no Melhoramento de Plantas	530
26.2	Cultura de Tecidos	531
26.3	Fusão de Protoplastos	536
26.4	Engenharia Genética	540
26.5	Marcadores Moleculares	543
26.6	Considerações Finais	548
	Capítulo 27 Técnicas Experimentais Aplicadas no Melhoramento de Plantas	550
27.1	Uso da Estatística Experimental no Melhoramento de Plantas	550
27.2	Conceitos Básicos	551
27.3	Princípios Básicos da Experimentação	554
27.3.1	O princípio da repetição	554
27.3.2	O princípio da casualização	556

27.3.3 O princípio do controle local	556
27.4 Tipos de Experimentos	557
27.4.1 Experimento preliminar	557
27.4.2 Experimento crítico	557
27.4.3 Experimento demonstrativo	557
27.5 Tipos de Variações	558
27.5.1 Variação premeditada	558
27.5.2 Variação externa	558
27.5.3 Variação acidental	559
27.6 Pontos Considerados na Redução do Efeito da Variação Acidental	560
27.6.1 Forma da parcela	561
27.6.2 Tamanho da parcela	563
27.6.3 Orientação das parcelas	567
27.6.4 Efeito bordadura entre as parcelas	569
27.6.5 Falhas de plantas nas parcelas	571
27.6.6 Número de repetições dos experimentos	574
27.6.7 Delineamentos experimentais	575
27.6.8 Forma de condução dos experimentos	576
27.7 Experimentos Usados no Melhoramento de Plantas	578
27.7.1 Experimento inteiramente casualizado	578
27.7.2 Experimento em blocos casualizados	580
27.7.3 Experimento em quadrado latino	583
27.7.4 Experimento fatorial	585
27.7.5 Experimento em parcelas subdivididas	588
27.7.6 Experimento reticulado quadrado	590
27.7.7 Experimento em blocos casualizados com tratamentos comuns	592
27.8 Instalação do Experimento	593
27.9 Execução do Experimento	594
27.10 Análise Estatística dos Dados Experimentais	594
27.11 Regressão na Análise de Variância	602
27.12 Análise Conjunta de Experimentos	608
27.13 Testes de Hipóteses	609
27.13.1 Teste F	613
27.13.2 Teste t	615
27.13.3 Teste LSD	618
27.13.4 Teste de Dunnett	619
27.13.5 Teste de Tukey	620
27.13.6 Teste de Duncan	621
27.13.7 Teste de Student-Newman-Keuls (SNK)	623
27.13.8 Teste de Scott e Knott (SK)	624
27.13.9 Teste de Scheffé	626
27.14 Interpretação dos Resultados	627
27.15 Exemplos de Experimentos Usados no Melhoramento de Plantas	628
27.15.1 Experimento inteiramente casualizado	628
27.15.2 Experimento em blocos casualizados	630
27.15.3 Experimento em quadrado latino	633
27.15.4 Experimento fatorial	634
27.15.5 Experimento em parcelas subdivididas	637
27.15.6 Experimento reticulado quadrado	640
27.15.7 Experimento em blocos casualizados com guns tratamentos comuns	642

27.15.8 Análise conjunta de experimentos	647
27.16 Considerações Finais	649
PARTE 6 ETAPA PÓS-MELHORAMENTO DE PLANTAS	651
Capítulo 28 Avaliação, Manutenção e Distribuição de Variedades Melhoradas	652
28.1 Procedimentos para Distribuição e Manutenção de Variedades Melhoradas	652
28.2 Avaliação e Recomendação de Variedades Melhoradas	653
28.3 Registro e Proteção de Variedades Melhoradas	654
28.4 Manutenção de Variedades Melhoradas	693
28.4.1 Escolha do terreno	693
28.4.2 Isolamento	693
28.4.3 Uso de máquinas agrícolas	694
28.4.4 Eliminação de plantas atípicas	695
28.4.5 Eliminação de plantas invasoras	695
28.4.6 Eliminação de plantas silvestres que se cruzam com as cultivadas	695
28.4.7 Polinização por insetos	695
28.5 Classes de Sementes	696
28.5.1 Semente genética	696
28.5.2 Semente básica	696
28.5.3 Semente certificada de primeira geração - C1	696
28.5.4 Semente certificada de segunda geração - C2	697
28.5.5 Semente não certificada de primeira geração - S1	697
28.5.6 Semente não certificada de segunda geração - S2	697
28.6 Distribuição de Variedades Melhoradas	698
PARTE 7 GLOSSÁRIO	700
Capítulo 29 Termos Técnico-Científicos Usados no Melhoramento de Plantas	701
29.1 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra A	701
29.2 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra B	719
29.3 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra C	725
29.4 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra D	741
29.5 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra E	753
29.6 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra F	762
29.7 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra G	766
29.8 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra H	771
29.9 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra I	776
29.10 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra L	781
29.11 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra M	783
29.12 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra N	792
29.13 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra O	794
29.14 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra P	797
29.15 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra Q	810
29.16 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra R	811
29.17 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra S	820
29.18 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra T	830
29.19 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra U	835
29.20 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra V	835
29.21 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra X	840
29.22 Termos Técnico-Científicos Iniciados com a Letra Z	841
REFERÊNCIAS	842