

Comparação entre mutagênicos químico e físico em populações de aveia

Comparison between chemical and physical mutagen in oat populations

Jefferson Luís Meirelles Coimbra¹ Fernando Irajá Félix de Carvalho² Antônio Costa de Oliveira²
José Antônio Gonzalez da Silva³ Claudir Lorencetti⁴

RESUMO

Comparou-se a campo a variabilidade genética em populações de aveia hexaplóide tratadas com agentes mutagênicos físico e químico, através do caráter ciclo vegetativo de plantas. Foram realizados experimentos em duas safras agrícolas em Pelotas, RS, em 1997/98 e 1998/99. As sementes foram irradiadas no Centro Regional de Oncologia da Faculdade de Medicina da UFPel, com uma taxa de dose de $0,25\text{Gy min}^{-1}$. As doses totais absorvidas para o mutagênico físico foram 100, 200 e 400Gy e, para o mutagênico químico 0,5, 1,5 e 3,0% por tratamento de 1200 sementes aproximadamente, em cada genótipo fixo de aveia avaliado. Foi obtida diferença na eficiência entre os agentes mutagênicos testados. O agente mutagênico físico foi sempre superior em relação ao agente mutagênico químico, independente da geração segregante avaliada, proporcionando assim um incremento maior no número de classes fenotípicas, tanto para redução quanto para o aumento do número de dias entre a emergência e o florescimento. Os genótipos mostraram sensibilidade diferenciada em relação à dose dos agentes mutagênicos avaliados, indicando que a eficiência dos tratamentos em alterar a variabilidade genética para precocidade e aumento do ciclo vegetativo foi variável. De modo geral, os dados indicaram decréscimo do caráter ciclo vegetativo com o acréscimo da dose dos agentes mutagênicos testados. O estudo das populações UPF-16 nas doses 100 e 200 gray submetidas ao tratamento com o agente mutagênico físico apontaram o maior grau de divergência genética e de dominância para o caráter ciclo vegetativo de plantas.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., ^{60}Co , EMS, ciclo vegetativo, variabilidade genética.

ABSTRACT

Hexaploid oat genetic variability was compared in populations treated with physical and chemical mutagens by making a field evaluation of vegetative cycle. Experiments were carried out in two agricultural years in Pelotas, RS (1997/98 and 1998/99). Seeds were irradiated at the UFPel Oncology Center, with a dose rate of 0.25Gy min^{-1} . The total absorbed doses for the physical mutagen were 100, 200 and 400Gy and, for the chemical mutagen 0.5, 1.5 and 3.0% per treatment of 1,200 seeds, in each evaluated genotype. A difference in efficiency between mutagens was detected. The physical mutagen was always superior to the chemical mutagen, regardless the generation evaluated, providing a higher increase in the number of phenotypic classes, either leading to a reduction or increase in the number of days between emergence and flowering. The genotypes showed a differential sensitivity to the doses of tested mutagens, indicating a range of treatment efficiency in altering the genetic variability either for early or late vegetative cycle. In general, the results pointed to a decrease in the character vegetative cycle when an increase in the mutagen dose was applied. The study of populations UPF 16 on the doses 100 and 200Gy subjected to treatment with the physical mutagen pointed to a higher degree of genetic divergence and dominance for the character vegetative cycle.

Key words: *Avena sativa* L., ^{60}Co , EMS, vegetative cycle, genetic variability.

¹Engenheiro Agrônomo, Doutorando do Curso de Fitomelhoramento, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Rua Marechal Deodoro, 713/305, Centro, 96020-220, Pelotas, RS. E-mail coimbrajefferson@pop.com.br. Autor para correspondência.

²Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor, UFPel.

³Engenheiro Agrônomo, Doutorando do curso de Fitomelhoramento, UFPel.

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitomelhoramento.

INTRODUÇÃO

O atual germoplasma da aveia utilizado no Sul do Brasil, oriundo principalmente dos Estados Unidos, é caracterizado pela reduzida variabilidade genética (CARVALHO & FEDERIZZI, 1989). Uma base genética estreita reduz, principalmente, a eficiência no processo de seleção e o ajuste de uma nova constituição genética a ambientes distintos. A utilização de agentes mutagênicos físicos e químicos pode ser de fundamental importância para criação e incorporação de novos genes de interesse agrônomo, podendo resultar em genótipos mais estáveis e mais adaptados às condições edafoclimáticas do Sul do Brasil. A taxa de mutação espontânea é muito baixa; a mutação induzida tem sido mais utilizada para elevar as frequências de mutações e variações que podem ser induzidas tanto por tratamento com mutagênicos químicos como substâncias alquilantes quanto físicos como radiações ionizantes (PREDIERI, 2001).

Várias são as diferenças herdáveis que surgem repentinamente nos organismos vivos. Essas diferenças são chamadas mutações, desempenhando importante papel na evolução de qualquer espécie vegetal, pois o seu aparecimento e sua detecção refletem na determinação de novos caracteres agrônomo ficando sujeitos à seleção natural e/ou artificial (GRANER, 1959). A ocorrência de mutação pode ser espontânea ou provocada experimentalmente. As mutações espontâneas são, porém, bastante raras e o seu reconhecimento é feito, em geral, ao acaso, principalmente através das gerações segregantes (GAUL, 1964). Ainda de acordo com este autor, essa taxa de mutação espontânea pode ser bastante baixa em relação a um determinado gene. Porém, considerando, simultaneamente, o conjunto de genes que controlam o caráter e o tamanho do genoma, a taxa de mutação pode atingir valores bastante relevantes. O uso direto de mutações é um processo valioso, especialmente quando o melhoramento de uma ou duas características facilmente identificáveis é desejado numa variedade bem adaptada. As mutações benéficas podem estar acompanhadas de efeitos colaterais desfavoráveis causados por ligações próximas e tais características ou efeitos pleiotrópicos que não podem ser corrigidos. Esta desvantagem pode ser minimizada com a indução de mutação num grande número de indivíduos independentes para o tipo desejável e a seleção daqueles com menores níveis de caracteres indesejáveis (PRZYBYLA, 1994).

A sensibilidade de plantas diplóides e poliplóides tratadas com agente mutagênico e o índice de mutação decresce com o aumento do nível de ploidia

das plantas (CHANDHANAMUTTA & FREY 1974). Este resultado suporta a hipótese de que a duplicação de genes nos poliplóides reduz a frequência de mutação. As alterações na seqüência de bases do ácido desoxirribonucléico (DNA) ocorrem espontaneamente e podem ser intensificadas por agentes mutagênicos físicos e químicos, como, por exemplo, a radiação gama (Co^{60}) e EMS (NÓBREGA 1998). Sendo assim, esta técnica possibilita o surgimento de novas combinações genéticas através de alterações alélicas e/ou modificações nos cromossomos (SAHASRABUDHE et al., 1991).

Destarte, o trabalho teve por objetivo avaliar, comparativamente a eficiência dos agentes mutagênicos físico versus químico em criar variabilidade genética para o caráter ciclo vegetativo de plantas em quatro genótipos fixos de grande potencial de rendimento de grãos e de alta qualidade de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em telado e a campo, durante os anos agrícolas de 1997 e 1998, na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) e na Fazenda Experimental da Palma (FEP) pertencentes à Universidade Federal de Pelotas (UFPel), localizada no município de Capão do Leão, RS.

Sementes genéticas de quatro genótipos fixos de aveia hexaplóide, CTC-3, UFRGS-10, UFRGS-14 e UPF-16 foram tratadas com os agentes mutagênicos físico (raios gama- ^{60}Co) e químico (etilmetanossulfonato-EMS). As sementes foram irradiadas no Centro Regional de Oncologia da Faculdade de Medicina da UFPel, com uma taxa de dose de $0,25 G_y \text{ min}^{-1}$. As doses totais absorvidas para o mutagênico físico foram 100, 200 e $400 G_y$, e, para o mutagênico químico 0,5, 1,5 e 3,0% por tratamento de 1200 sementes aproximadamente, em cada genótipo fixo de aveia avaliado. Posteriormente, todos os genótipos foram submetidos à dose padrão constituído pela ausência de aplicação do agente mutagênico nas sementes, a qual serviu de controle para sensibilidade dos genótipos aos mutagênicos e as suas respectivas doses estudadas. As sementes permaneceram 10h30min antes da aplicação do tratamento em água destilada. Este tempo de pré-embecimento foi determinado num ensaio preliminar, submetendo-se todos os genótipos ao embecimento durante 24 horas e, pesando-se as sementes de hora em hora até a estabilização do peso, com o intuito de padronizar o conteúdo de água nas sementes, até que fosse atingido o ponto de saturação (COIMBRA

et al., 1999). Posteriormente, permaneceram por duas horas em contato com o agente mutagênico. Logo após a aplicação do mutagênico, permaneceram por uma hora em água corrente e uma hora em água parada.

A geração M_2 foi composta por dez sementes M_1 de cada tratamento selecionado ao acaso, constituindo dez populações distintas, sendo utilizadas apenas as panículas que apresentaram maior número de sementes. Dessas, dez sementes de cada panícula foram cultivadas em baldes no telado, no verão de 1997/98, com o intuito de avançar para a geração M_3 .

No inverno de 1998, foram semeadas no campo todas as sementes de todas as populações. O delineamento empregado foi inteiramente casualizado, e cada planta individualmente foi considerada uma repetição. O comprimento das linhas foi de 5,0m, com um espaçamento entre linhas de 0,2m, com aproximadamente 25 sementes por linha, totalizando uma densidade em torno de 250kg ha⁻¹.

A geração M_3 foi semeada no inverno de 1998, com sementes provenientes das panículas M_2 colhidas em telado, no verão anterior. As observações fenotípicas foram realizadas individualmente para cada planta em todos os tratamentos e gerações. O ciclo vegetativo foi obtido pela contagem do número de dias após a semeadura até a emissão completa da primeira panícula.

Em todas as gerações, foram obtidos os parâmetros *skewness* (s), curtose (k), média (μ) e variância (s^2), para todas as populações avaliadas. Nas gerações M_2 e M_3 , foi possível, ainda, fazer uma descrição qualitativa da interação; nestas circunstâncias, a análise prosseguiu para o estudo da variação atribuível ao fator quantitativo (dose) separadamente para cada um dos níveis do fator qualitativo específico (genótipo). Para comparação das médias e das variâncias, foram utilizados os testes de t e F, respectivamente.

Todas as expressões empregadas foram descritas por STEEL & TORRIE (1980). O uso da estatística t assume a hipótese que a $\mu_1 = \mu_2$, onde μ_1 e μ_2 é a média das amostras 1 e 2, respectivamente; n_1 e n_2 : número de observações das amostras 1 e 2; respectivamente; s_1^2 e s_2^2 : variâncias nas amostras 1 e 2, respectivamente.

Para avaliar estes parâmetros, foram utilizados os procedimentos PROC GLM, REG e TTEST do pacote estatístico SAS (SCHLOTZAUER & LITTELL, 1987). O PROC REG foi utilizado para estimar e avaliar o modelo de regressão linear que melhor se ajusta aos dados, bem como a distribuição

de frequências, médias e variâncias que foram obtidas a partir do mesmo pacote estatístico.

RESULTADOS

Os dados incluídos na tabela 1 revelam que tanto o agente mutagênico físico (raios gama – ⁶⁰Co) quanto o agente mutagênico químico (EMS) foram eficientes na alteração da magnitude dos parâmetros avaliados, principalmente para as estimativas dos parâmetros de *skewness* (s) e curtose (k), comparativamente. Os agentes mutagênicos físico e químico, comparativamente, não induziram modificações significativas na média pelo teste de t para a dose mais elevada (dose 3), independente da constituição genética avaliada. Para as populações CTC-3 nas menores doses (1 e 2) na geração M_2 foi detectada diferença significativa pelo teste de t, para o mutagênico físico. Por outro lado, para o genótipo UFRGS-14, em todas as doses avaliadas, foram observadas diferenças significativas pelo teste de F entre as variâncias das doses desse tratamento. De modo geral, quando empregadas doses maiores dos agentes mutagênicos, ocorreram modificações na estimativa do parâmetro variância, para todos os genótipos estudados, exceto para o genótipo UPF-16. O agente mutagênico químico apontou valores de variância sempre superior ao mutagênico físico, comparativamente, na dose mais alta.

As estimativas de curtose (k) fornecem uma noção do grau de divergência genética das populações submetidas aos agentes mutagênicos. Estimativas superiores à unidade indicam uma menor concentração dos dados em torno da média; conseqüentemente, maior divergência genética e vice-versa. Ainda nesta mesma tabela, pode ser verificado que a população UPF-16, quando submetida ao tratamento com raios gama, oriundo de ⁶⁰Co, revelou valores superiores para as estimativas de curtose em todas as doses avaliadas. Ainda para esta mesma população, pode ser observado que os valores estimados para o parâmetro *skewness* foram positivos em todas as doses avaliadas, exceto para a dose mais alta (s=-3,84), independentemente da geração estudada. Analisando conjuntamente os valores de variância e curtose preditos para as populações avaliadas, nota-se que, na maioria das vezes, os valores mais elevados de variância não necessariamente coincidem com os valores maiores de curtose. Por exemplo, a população UFRGS-14 apresentou maior variância, enquanto a população UPF-16 revelou o maior grau de curtose. Por outro lado, as estimativas de *skewness* (s) foram menores nas doses extremas (1 e 3) da população mutante CTC-3 tratada

Tabela 1 - Média (μ), variância (σ^2), skewness (s) e curtose (k) do número de plantas avaliadas (n) para o caráter ciclo vegetativo de planta (dias) em duas gerações segregantes M₂ e M₃ oriundo de tratamentos com diferentes doses do mutagênico físico raios gama (⁶⁰Co) e do mutagênico químico Etilmetanossulfonato (EMS) em quatro genótipos de aveia hexaplóide avaliados. Pelotas, RS, 2003.

Populações	Doses	Raios Gama – ⁶⁰ Co ¹					EMS ²				
		n	μ	σ^2	s	k	n	μ	σ^2	s	k
Geração M ₂											
CTC3	1	130	106*	6,52	2,80	14,03	207	105	3,24*	-1,18	2,23
UFRGS 10	1	95	107	3,38	0,86	3,24	198	107*	2,78*	-0,64	0,70
UFRGS 14	1	281	103*	11,85*	1,72	16,06	176	108*	3,46*	-0,50	0,95
UPF 16	1	265	105	7,73*	3,09	34,29	236	103*	4,91*	0,97	2,19
CTC3	2	154	104*	5,22*	-1,28	2,55	204	105	3,09*	-0,07	4,13
UFRGS 10	2	189	107*	2,34	-1,10	0,46	256	108*	2,40*	0,01	1,24
UFRGS 14	2	326	105	5,14*	-0,99	1,08	255	107*	3,46*	-0,75	0,57
UPF 16	2	309	103	9,92	1,59	18,44	212	108	8,62	0,07	0,30
CTC3	3	130	106	6,52*	-2,66	7,46	270	109*	18,50*	2,31	6,85
UFRGS 10	3	131	109	6,67*	0,62	4,29	186	108	4,47	-0,31	-1,06
UFRGS 14	3	82	106	4,72*	-0,44	-0,70	261	106*	9,94*	1,41	1,72
UPF 16	3	122	104	4,77	-3,84	26,21	215	103*	6,01*	0,31	0,78
Geração M ₃											
CTC3	1	276	105*	7,22*	-0,82	-0,05	78	109*	6,76	-0,29	-1,08
UFRGS 10	1	103	109	22,27*	1,50	0,99	129	111*	2,28*	-1,26	0,98
UFRGS 14	1	283	105*	5,26	-0,59	-0,45	130	108*	6,53	0,11	-1,25
UPF 16	1	118	107*	9,40	0,03	-0,73	179	105*	4,78	0,48	-0,25
CTC3	2	259	106*	21,46*	-0,61	2,51	165	109*	5,77*	-0,88	0,72
UFRGS 10	2	259	107	19,41*	-2,51	18,38	211	106*	9,14*	-0,03	0,36
UFRGS 14	2	190	107	9,93	0,06	-0,70	83	107	11,11*	0,37	-0,79
UPF 16	2	62	109*	4,47*	-0,13	0,66	439	104*	7,46	0,76	0,33
CTC3	3	206	105*	23,70*	0,15	1,40	185	109*	7,12	-0,09	-0,60
UFRGS 10	3	252	107*	3,06*	0,94	1,13	183	106*	6,70	0,33	0,76
UFRGS 14	3	277	105	17,18*	-0,28	-0,73	246	102*	21,59*	0,43	0,43
UPF 16	3	307	101	41,81*	-0,63	0,40	56	101*	19,67*	0,41	-1,20

* e ** significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade pelo teste de t para médias, respectivamente.

† e †† significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade pelo teste de F para variâncias em relação padrão.

¹ raios gama dose 1 = 100 Gy, dose 2 = 200 Gy e dose 3 = 400 Gy.

² EMS dose 1 = 0,5% v/v, dose 2 = 1,5% v/v e dose 3 = 3,0% v/v.

com o mutagênico físico. O efeito comparativo dos agentes mutagênicos, nas diferentes doses, na geração M₃ está inserido na parte inferior da tabela 1. A maior alteração no caráter ciclo vegetativo de planta surgiu nas populações tratadas com a dose mais elevada, independentemente do agente mutagênico avaliado, a qual apontou diferença significativa entre as variâncias de todas as populações estudadas. Para a estimativa da variância, não foi verificada nenhuma modificação significativa para a população UFRGS-14 nas doses 1 e 2, entre os mutagênicos avaliados e comparados quanto à eficiência em alterar a magnitude da variabilidade genética. De modo geral, os valores estimados dos parâmetros de skewness e de curtose foram menores do que na geração M₂, independente do agente mutagênico avaliado.

A análise de variância para os teste de significância dos componentes linear e quadrático da variância atribuível à dose dos agentes mutagênicos, avaliados para cada genótipo, nas gerações M₂ (lado esquerdo) e M₃ (lado direito) foi significativo (P<0,01), indicando a necessidade de ajustar curvas distintas para as diferentes doses de cada agente mutagênico testado. Os resultados da análise de variância da regressão para a variável dependente ciclo vegetativo de plantas (dias) são eminentemente do tipo quadrática para o agente mutagênico físico e químico, independentemente da constituição genética e da geração segregante avaliada, excetuando a população CTC-3. Esse fato demonstra que o caráter ciclo vegetativo aumenta (quando a função tem um ponto de máxima) ou diminui (quando a função tem um ponto

de mínima) até certo ponto. Do mesmo modo, o agente mutagênico químico (EMS) apontou significância para o componente quadrático para todas as populações avaliadas, exceto para as populações CTC-3 e UPF-16 na geração M_3 , em que o componente linear foi significativo, sugerindo que, dentro do intervalo estudado, o caráter ciclo vegetativo de plantas diminui linearmente com o aumento da dose do agente mutagênico químico na geração M_3 .

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitem apontar que, em ambos os mutagênicos, tanto químico quanto o físico, empregado para os quatro genótipos fixos de aveia hexaplóide avaliados, é possível a ampliação da variância genética nas populações avaliadas. Resultados semelhantes foram encontrados por vários autores que induziram mutações em variedades cultivadas de aveia (*Avena sativa* L.) (KRULL & FREY, 1960) e arroz (*Oryza sativa* L.) (GUIMARÃES & ANDO, 1980). Estes resultados indicam que podem ocorrer modificação no caráter ciclo vegetativo de planta sem alterar substancialmente outras características agrônômicas (TULMANN NETO & LATADO, 1997).

Existem dois tipos de mutações, espontânea ou induzida, que ocorrem ao nível de fenótipo, denominadas de macromutação e micromutação (CHANDHANAMUTTA & FREY 1974). A macromutação causa uma mudança no fenótipo suficientemente grande e pode ser detectada avaliando-se plantas individuais. Por outro lado, a micromutação pode ser detectada somente pela observação de um grupo de plantas. Adicionalmente a mutação pode ser ao nível de cromossomo (rearranjos de alguns cromossomos ou perda ou ganho no número de cromossomos) ou gênica (substituição de bases, inserção e deleção). Em revisão sobre a utilização e efeitos dos mutagênicos no melhoramento de plantas, GAUL (1964) considerou que a alteração dos caracteres avaliados na média das progênies de plantas tratadas com mutagênicos indicava a ocorrência de modificações num pequeno número de genes, porém de grande efeito sobre o genótipo; em contrapartida, quando a variância da população tratada era superior à da população não tratada, o autor atribuía este incremento a modificações num grande número de genes, porém de pequeno efeito sobre o genótipo, sendo estes efeitos denominados de macro e micromutações, respectivamente. As distribuições de frequências também têm sido utilizadas para caracterizar a presença de variabilidade e apontar a

amplitude de variação ocorrida com a utilização de produtos mutagênicos (GAUL, 1964). De modo geral, os resultados obtidos neste trabalho revelaram que ambos os métodos empregados podem contribuir de modo significativo para obtenção de incrementos na variabilidade. Portanto, este resultado confirma a capacidade de os agentes mutagênicos em provocar mudanças nas frequências genotípicas. Entretanto, é de fundamental importância a avaliação nas gerações seguintes ao tratamento mutagênico (M_2 e M_3), objetivando a exclusão de efeitos deletérios (BOROJEVIC, 1966).

A população CTC-3 na geração M_2 (Tabela 1) submetida às doses extremas (1 e 3), apontou, independentemente do agente mutagênico testado uma alteração efetiva da magnitude da variabilidade para o caráter ciclo vegetativo de plantas sendo que, na doses extremas a estimativa do parâmetro *skewness* (s) foi positiva e negativa, respectivamente. Este fato mostra a eficiência destes agentes mutagênicos em alterar a variabilidade genética deste caráter tanto para o aumento como para a diminuição do caráter ciclo vegetativo de plantas pois a estimativa deste parâmetro (s) fornece uma avaliação da dominância do caráter. Quanto à curtose, as populações submetidas ao agente mutagênico físico foram sempre mais divergentes geneticamente, comparativamente ao mutagênico químico como, por exemplo, para a população UPF-16, nas três doses testadas na geração M_2 provenientes de raios gama que apontou o maior grau de divergência, independentemente da geração e da constituição genética avaliadas. As distribuições F são simétricas ($s=0$) quando não há dominância do caráter (ALLARD, 1960). Segundo este mesmo autor, a curva devido à dominância, é marcante quando a herdabilidade é alta (acima de 90%) ficando, porém quase imperceptível com valores de herdabilidade abaixo de 25%. Pelas considerações expostas, é sempre pertinente neste tipo de trabalho o pesquisador avaliar e interpretar a direção da variabilidade genética através da associação das estimativas dos parâmetros de *skewness* e da curtose. Por outro lado, para a população UFRGS-10 na dose intermediária submetida ao agente mutagênico químico (EMS) na geração M_2 (Tabela 1), a estimativa de *skewness* foi muito próxima de zero (0,01), implicando a ausência de dominância para este caráter, significando assim que as caudas da curva são praticamente simétricas, fato que caracteriza uma interação alélica do tipo aditiva para esta população. Desta forma, uma tarefa fundamental em muitas análises estatísticas é caracterizar a direção e a magnitude variabilidade de uma série de dados. Sendo assim, uma análise mais profunda dos dados inclui

estimativas de assimetria e curtose, sempre associadas à média populacional e à variância. Deste modo, os parâmetros que obtemos de dados experimentais são fenotípicos; uma mensuração fenotípica não é um valor simples de ser obtido, pelo contrário, é composto de diferentes componentes ou efeitos (CRUZ & VENCOVSKY, 1989).

De modo contrário, analisando a população UFRGS-10 submetida à dose intermediária do agente mutagênico raios gama (^{60}Co) na geração M_2 , em que a estimativa de *skewness* foi de sinal negativo (Tabela 1), deslocando a curva de distribuição para esquerda favorecendo a seleção de genótipos mais tardios, ainda pode ser verificado que a dominância isodirecional não ocorreu para esta população (Figura 1). Tal fato provavelmente tenha ocorrido em virtude do grande número de genes que estão segregando nesta população. Este resultado permite afirmar que o agente mutagênico raios gama foi mais eficiente na alteração da magnitude da variabilidade genética, comparativamente ao agente mutagênico químico (EMS), independentemente da geração avaliada, o que pode ser confirmado analisando-se a figura 1, em relação ao agente mutagênico químico.

Na geração M_3 (Figura 2), de modo geral, 10 populações num total de 12, submetidas ao mutagênico físico foram mais eficientes no incremento da variabilidade genética, comparativamente ao mutagênico químico. Os valores estimados principalmente para os dois parâmetros genético-estatístico avaliados (*s* e *k*), apontaram uma redução em relação à geração M_2 . O espectro de mutação pode ser facilmente detectado por qualquer dos dois parâmetros estudados neste trabalho, porém a sua semelhança em termos de magnitude e direção, comparativamente entre os mutagênicos somente pode, principalmente ser detectado com precisão e segurança pela interpretação simultânea destes dois parâmetros, principalmente. O fato de as estimativas de *s* e *k* terem sofrido uma redução em valores absolutos, na maioria dos casos, pode ser atribuída principalmente pelo maior número de observações realizado na geração M_3 em relação à geração M_2 . Aumentando o número de observações, o valor da variância, causada pelo ambiente, que aparece na variância fenotípica, reduz a variância fenotípica, representando ganho de precisão para o caráter avaliado (FALCONER & MACKAY, 1996).

A análise de variância para os testes de significância dos componentes linear e quadrático da variância atribuível ao fator de tratamento quantitativo (dose) dos agentes mutagênicos físico e químico, separadamente para cada fator de tratamento

qualitativo (genótipo) e para cada geração avaliada (M_2 e M_3) deu origem à figura 3. A variância significativa atribuível à dose dos agentes mutagênicos é eminentemente do tipo quadrática, exceto para as populações CTC-3 e UPF-16 na geração M_3 (Figura 3). O componente quadrático significativo demonstra que, para as doses mais baixas dos agentes mutagênicos, ocorreram acréscimos lineares e, à medida que a dose dos produtos cresce, a taxa de acréscimo vai se tornando menor tendendo a estabilizar nas doses mais altas. A redução das médias com incremento da dose utilizada para o caráter ciclo vegetativo na geração M_2 para as populações avaliadas e submetidas ao mutagênico raios gama (^{60}Co) é corroborada na geração M_3 , sugerindo que o incremento nas doses promove o surgimento de novos alelos (genótipos mutantes) tanto para aumento quanto para a redução do caráter ciclo vegetativo, produzindo um acúmulo de genótipos nas classes que conferem um ciclo vegetativo mais tardio. Tal fato corrobora a presença de genes de maior efeito sobre o caráter, quando as modificações desses alelos causam alterações nas médias (GAUL, 1964).

O comportamento dos genótipos submetidos a doses crescentes dos agentes mutagênicos testados é coerente com aquele obtido por PANDINI et al. (1997) em triticale e COIMBRA et al. (1999) em aveia. O efeito linear do mutagênico químico na geração M_3 foi significativo ($P < 0,05$) e, eminentemente do tipo linear, apontando que dentro do intervalo estudado (0,5 a 3,0 %) para o caráter ciclo vegetativo de plantas diminuem linearmente com o aumento da dose do agente mutagênico para os genótipos CTC-3 e UPF-16. Isso pode ser confirmado pelos coeficientes de regressão linear (b_i) que evidenciam uma significância estatística pelo teste de *t* ($P < 0,01$) para estes dois genótipos estudados na geração M_3 (Figura 3), indicando que há um incremento negativo no caráter ciclo vegetativo de 0,91 e 1,06 dias para cada 1% de acréscimo na dose do agente mutagênico avaliado em cada genótipo, respectivamente. Os dados encontrados na literatura corroboram os resultados aqui discutidos no que se refere ao decréscimo nos valores do caráter ciclo vegetativo de planta, em consequência dos diversos danos fisiológicos causados por agentes mutagênicos (COIMBRA et al., 1999).

CONCLUSÕES

A utilização dos mutagênicos físico e químico possibilita a criação e a ampliação de variabilidade genética para o caráter ciclo vegetativo

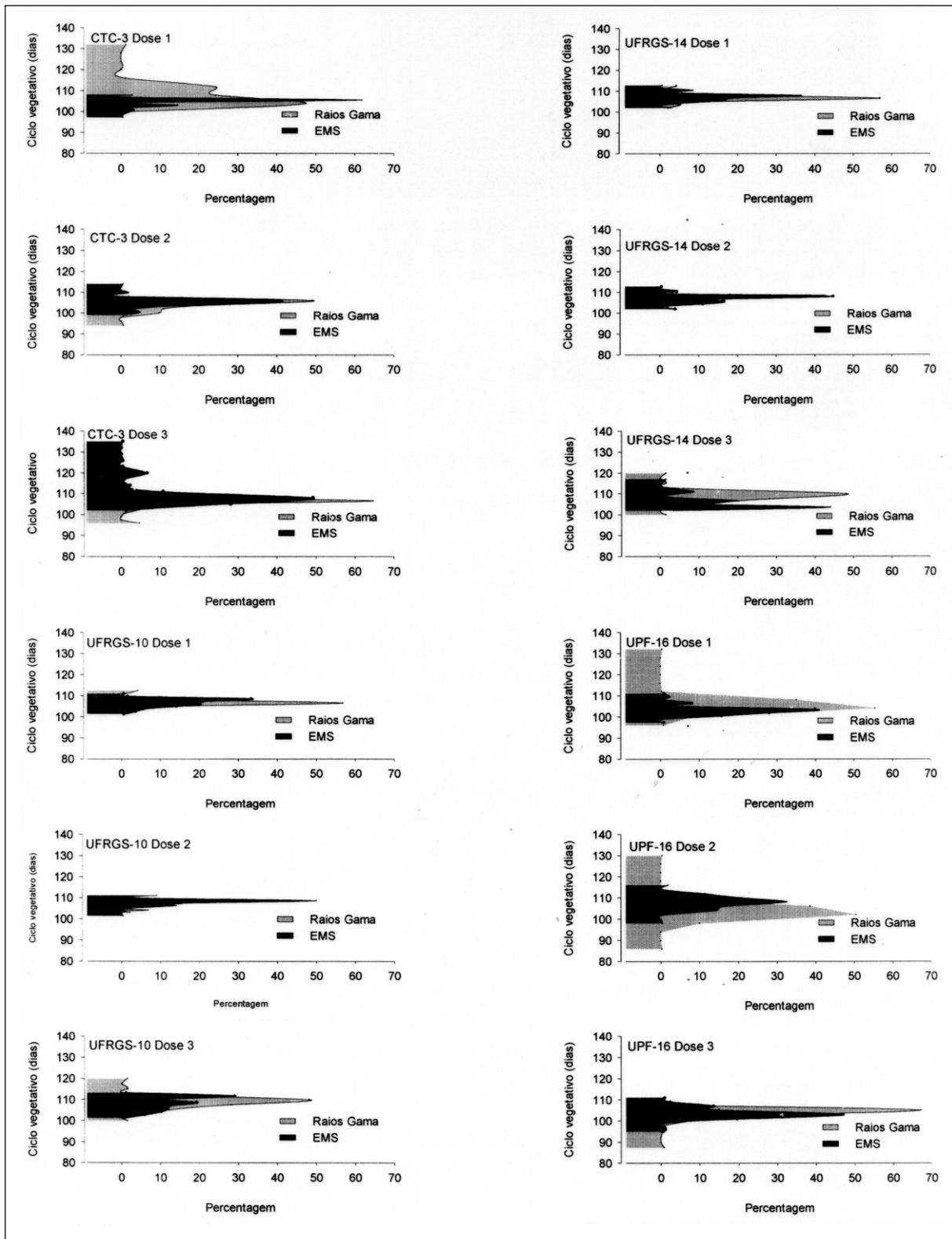


Figura 1 - Percentagem do número total de indivíduos avaliados para o caráter ciclo vegetativo de plantas em dias para os genótipos CTC-3, UFRGS-10, UFRGS-14 e UPF-16, na geração segregante M_2 submetida aos agentes mutagênicos físico (^{60}Co -Raios gama) e químico (EMS) em três doses distintas. Pelotas, RS, 2003.

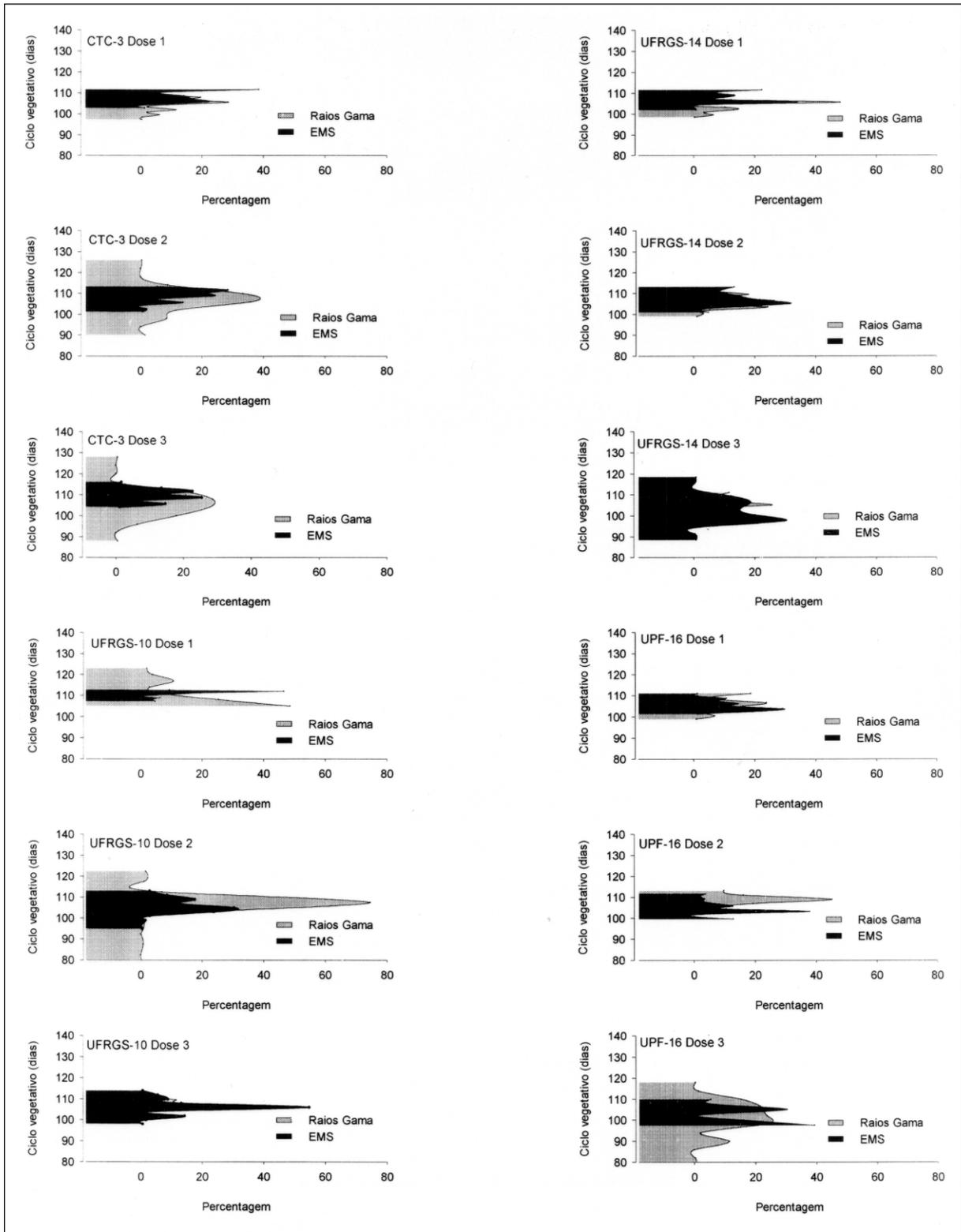


Figura 2 - Percentagem do número total de indivíduos avaliados para o caráter ciclo vegetativo de plantas em dias para os genótipos CTC-3, UFRGS-10, UFRGS-14 e UPF-16, na geração segregante M_3 submetida aos agentes mutagênicos físico (^{60}Co -Raios gama) e químico (EMS) em três doses distintas. Pelotas, RS, 2003.

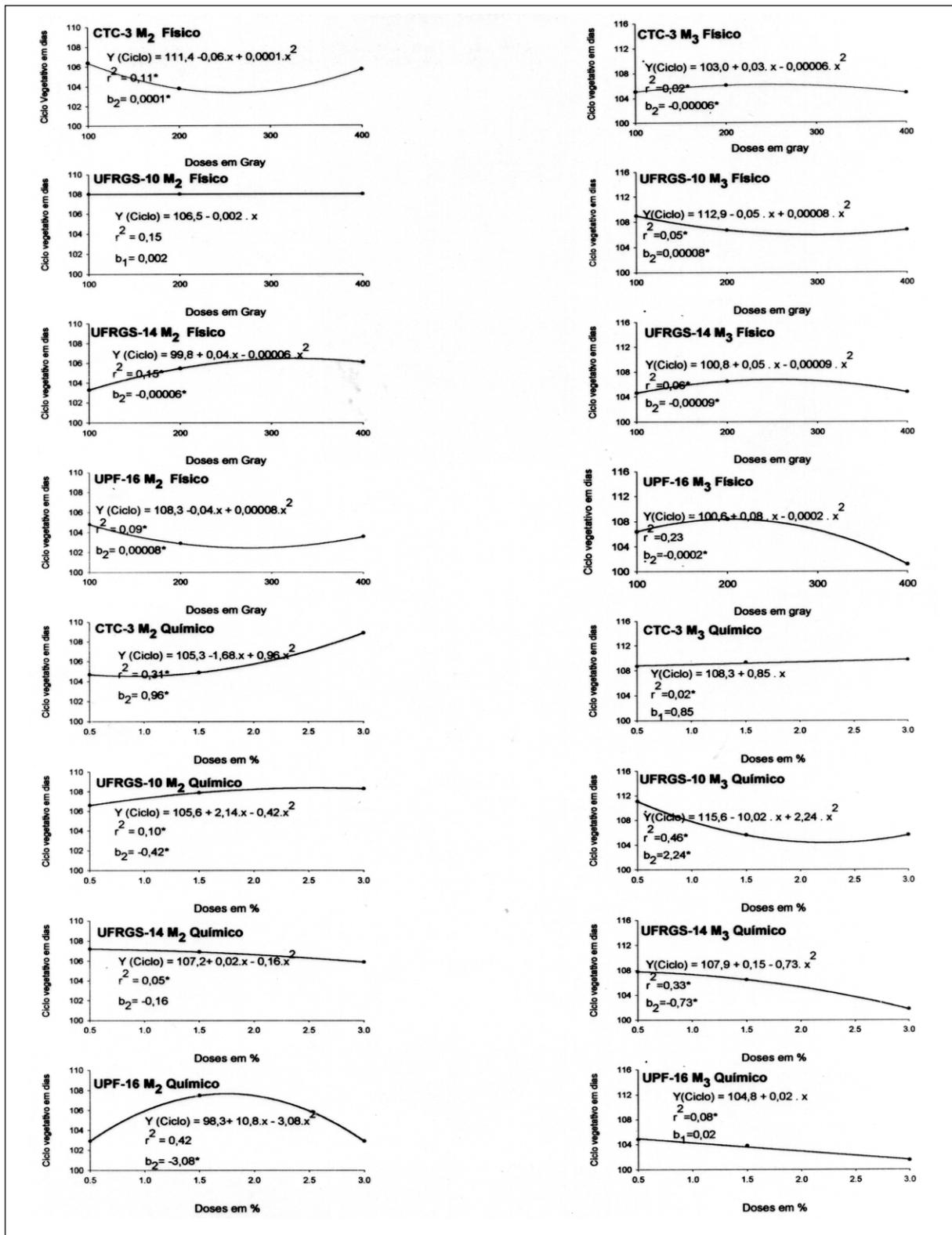


Figura 3 - Regressões ajustadas para o caráter ciclo vegetativo de plantas em dias dos genótipos fixos de aveia hexaplóide para as gerações M₂ (lado esquerdo) e M₃ (lado direito) submetida aos mutagênicos químico (EMS) e físico (raios gama) em diferentes doses. Pelotas, RS, 2003.

em aveia, permitindo a identificação de genótipos superiores para ajuste a ambientes distintos. O mutagênico físico possui maior eficiência na modificação do caráter, independente da constituição genética submetida ao tratamento mutagênico e da geração, proporcionando assim um incremento maior no número de classes fenotípicas tanto para redução quanto para o aumento do número de dias entre a emergência e o florescimento na mesma dose avaliada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R.W. **Principles of plant breeding**. 3.ed. Nova York : J. Wiley, 1960. 485p.
- BOROJEVIC, K. Studies on radiation-induced mutations in quantitative characters of wheat (*Triticum vulgare*). In: MUTATIONS IN PLANT BREEDING. 1970, Buenos Aires. **Proceedings...** Vienna: IAEA, 1966. p.15-38.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C. Evolução da cultura de aveia no sul do Brasil. **Trigo e soja**, Porto Alegre, v.18, n.102, p.16-19, 1989.
- CHANDHANAMUTTA, P.; FREY, K.J. Spontaneous and induced mutation rates in di-, tetra-, and hexaploid oats (*Avena* sp.). **Radiation Botany**, Great Britain, v.15, p.279-289, 1974.
- COIMBRA, J.L.M. et al. Sensibilidade de genótipos de aveia (*Avena sativa* L.) na primeira geração após tratamento de sementes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.43-53, 1999.
- CRUZ, C.D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.1, p.425-438, 1989.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. England : Longman, 1996. 463p.
- GAUL, H. Mutations in plant breeding. **Radiation Botany**, Great Britain, v.4, p.155-232, 1964.
- GRANER, E.A. **Elementos de genética**. São Paulo : Melhoramento, 1959. 233p.
- GUIMARÃES, E.P.; ANDO, A. Efeitos da aplicação dos mutagênicos azida sódica e radiação gama em sementes de arroz. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.32, p.619-622, 1980.
- KRULL, C.F.; FREY, K.J. Genetic variability in oats following hybridization and irradiation. **Crop Science**, Madison, v.1, p.141-146, 1960.
- PANDINI, F. et al. Avaliação da variabilidade genética em triticale para ciclo e estatura de planta obtida a partir de mutações induzidas e cruzamentos artificiais. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.3, p.55-61, 1997.
- PREDIERI, S. Mutation induction and tissue culture in improving fruits. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Netherlands, v.64, p.185-210, 2001.
- PRZYBYLA, A. Mutagenesis em fitomejoramento de plantas de propagação vegetativa. **Revista Chapingo**, México, v.1, p.145-150, 1994.
- NÓBREGA, F.G. O perigo das mutações no RNA. **Ciência Hoje**, Ribeirão Preto, v.24, n.142, p.22-23, 1998.
- SAHASRABUDHE, S.R. et al. Specificity of base substitutions induced by the acridine mutagen ICR – 191: mispairing by guanine N₇ adducts as a mutagenic mechanism. **Genetics**, Baltimore, v.129, p.981-989, 1991.
- SCHLOTZAUER, S.D.; LITTELL, R.C. **Sas system for elementary statistical analysis**. Cary : Sas Institute, 1987. 399p.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometric approach**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.
- TULMANN NETO, A.; LATADO, R.R. Indução de mutação in vivo, no melhoramento de crisântemo (*Dendrathera Grandiflora* Tzvelev) cv. Repin rosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, p.645-752, 1997.