

EFEITOS DE RAIOS X NA INDUÇÃO DE MUTAÇÕES EM COFFEA ARABICA ⁽¹⁾

ALCIDES CARVALHO, LUIZ CARLOS FAZUOLI e HERCULANO PENNA MEDINA FILHO,
Seção de Genética, Instituto Agrônômico.

RESUMO

Sementes autopolinizadas do cultivar Bourbon Vermelho (*Coffea arabica* L.) gerações S₄ e S₅ e de linhas puras obtidas a partir de haplóides, foram expostas a irradiações de raios X, correspondentes a dosagens de 5.000, 10.000, 12.500 e 23.000 R. Verificou-se na geração M₇, de uma das plantas obtidas no tratamento com 12.500 R a ocorrência de uma mutação recessiva do tipo angustifolia. Cafeeiros com fenótipo normal, resultantes de sementes irradiadas com 5.000 e 23.000 R foram plantados no campo, em experimentos, cuja produção foi controlada por 14 anos. Notou-se, entre eles, diferenças acentuadas na produção de café cereja. Progênes desses cafeeiros com maior e menor produção, plantadas em outros experimentos e colhidas durante sete anos consecutivos, não revelaram correlação positiva entre a produção das plantas matrizes e suas progênes. O mesmo fato foi observado em um terceiro experimento, cujas produções individuais foram seguidas por cinco anos consecutivos. Os dados indicam que não devem ter ocorrido mutações favoráveis que contribuíssem para a melhoria de produção. Como o número de plantas analisadas foi relativamente pequeno, o fato de terem sido observadas mutações sugere a possibilidade de o processo contribuir para acréscimos na variabilidade genética em *C. arabica*.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de sementes por radiações ionizantes vem sendo amplamente empregado em espécies vegetais autógamas para a obtenção de mutações que poderão ser utilizadas em programas de melhoramento.

(1) Recebido para publicação a 3 de agosto de 1983.

Os trabalhos, principalmente com cereais, vêm apresentando êxito, quer pelo desenvolvimento de linhagens mais produtivas, com melhores características agronômicas, quer pela resistência a determinados patógenos. Revisões sobre esse assunto são periodicamente realizadas (9, 19, 20, 22, 23, 24).

As investigações referentes a **Coffea arabica** indicam que a variabilidade genética nas populações existentes no Brasil é reduzida (3, 4, 11). Dessa forma, o emprego de mutagênicos seria desejável como uma tentativa de obter mutações que, além de enriquecerem o banco de germoplasma, pudessem também contribuir para acréscimos na produção.

Poucas informações existem sobre os efeitos de agentes mutagênicos na indução de mutações em **C. arabica**. MOH (15) e MOH & ORBEGOZO (16) indicaram que a resposta do cultivar Arábica dessa espécie a radiações ionizantes é um fenômeno peculiar, pois, irradiando-se as sementes, induz-se, na geração M_1 , alta frequência de variantes morfológicas, particularmente do tipo angustifolia. Essas são de natureza permanente, e as mudanças induzidas geralmente afetam as características da planta inteira, formando quimeras apenas em ocasiões muito raras.

CEVALLOS (6) estudou mutantes angustifolia obtidos por radiações gama, na geração M_1 , em seis linhagens de café, dos cultivares Bourbon Vermelho e Arábica de **C. arabica**. Verificou que a frequência de plantas do tipo angustifolia foi maior nas linhagens do Arábica do que nas de Bourbon Vermelho e postulou que a indução desse mutante em M_1 se relaciona com aberrações cromossômicas. A estreita correlação encontrada entre a esterilidade do pólen e mutações angustifolia apóia essa teoria.

MONGE (17), analisando a frequência de grãos moca, uma única semente por fruto em vez de duas, em cafeeiros provenientes de sementes que haviam sido tratadas com nêutrons ou raios X, verificou que a quantidade de sementes moca aumentou proporcionalmente com a dose de radiação usada. A resposta para as plantas irradiadas com nêutrons foi linear, enquanto para os tratamentos com raios X foi exponencial. Sugeriu o autor que a elevada frequência de sementes moca obtida nas plantas irradiadas se deve a aberrações cromossômicas, as quais causam inviabilidade de gametas e, conseqüentemente, uma elevada produção de frutos com apenas uma semente.

CARVALHO (2) e CARVALHO et alii (5), submetendo sementes do cultivar Bourbon Vermelho (**C. arabica**) à ação de raios X, verificaram que, com dosagens de até 12.500 R, algumas sementes germinaram, resultando, porém, em plantas com desenvolvimento mais lento do que as testemunhas não tratadas. No presente trabalho são analisados os efeitos sobre a produção e a ocorrência de mutações em progênies M_1 , M_2 e M_3 de cafeeiros obtidos nesse tratamento, bem como em progênies de plantas obtidas em outros tratamentos, com as dosagens de 5.000, 10.000, 12.500 e 23.000 R.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As sementes tratadas provieram de flores autofecundadas artificialmente de cafeeiros da geração S_4 e S_5 do cultivar Bourbon Vermelho de *C. arabica*, ou de linhas puras desse cultivar obtidas pela duplicação de cromossomos de formas haplóides. O tratamento das sementes foi realizado no Departamento de Física da Universidade de São Paulo⁽²⁾. Sementes secas, sem pergaminho, foram colocadas em caixas de Petri e expostas, no betatron, a radiações de 5.000, 10.000, 12.500 e 23.000 R sendo, em seguida, colocadas em outras caixas de Petri, com papel umedecido com água a fim de promover a germinação. As mudas M_1 obtidas foram transplantadas para canteiros protegidos com ripado ou em experimentos no campo, para avaliação da produção. Como controle, foram usadas sementes de 18 cafeeiros correspondentes às gerações S_2 , S_3 e S_6 de Bourbon Vermelho, que não sofreram tratamentos com raios X. As mudas obtidas foram analisadas em viveiro. Progênes M_2 e M_3 dos cafeeiros oriundos de sementes tratadas foram analisadas em viveiro para observação de mutações e, também, em experimentos de campo, no Centro Experimental de Campinas, para observação da produção. Em um dos experimentos (EP 30), foram analisadas progênes M_1 de doze cafeeiros originados do tratamento com 5.000, 10.000 e 23.000 R. De um total de 176 plantas, escolheram-se 53 para plantio. Devido ao número variável de plantas por progênie, utilizou-se um delineamento com parcelas inteiramente casualizadas, uma planta por parcela e um cafeeiro por cova. Neste experimento, usou-se como controle a progênie do cafeeiro C357-21 DP-20 derivado de uma planta haplóide de Bourbon Vermelho cujo número de cromossomos fora duplicado. Em outro experimento (EP 52), 15 progênes provenientes de plantas matrizes do EP 30 foram analisadas, em blocos ao acaso, dez repetições, parcelas de uma cova e quatro cafeeiros por cova. De um total de 1.845 plantas, em média 130 por progênie, escolheram-se 40 de cada progênie para plantio. Neste experimento foi usada como testemunha uma progênie de *C. arabica* cv Mundo Novo (CP 379-19), além de uma de Bourbon Vermelho 1-10-4-4-11-25-2. A produção de café maduro foi seguida no período de 1963 a 1969, sendo feitas também observações sobre a altura, diâmetro da copa e aspecto geral das plantas, avaliado subjetivamente, no qual 1 ponto refere-se às piores e 10, às melhores. Avaliaram-se também as plantas quanto ao defeito de frutos sem sementes. No experimento EP 114, foram analisadas 30 progênes derivadas de plantas selecionadas nos ensaios EP 30 e EP 52, em blocos ao acaso, três repetições, parcelas de seis covas e uma planta por cova, num total de 18 plantas por progênie. Para escolha dessas plantas, examinaram-se 3.520 cafeeiros, em média de 130 plantas por progênie. Como testemunha foi usada a progênie Mundo Novo CP379-19, além das progênes de

(2) Os autores agradecem a colaboração ao Prof. Damy de Souza Santos, que realizou o tratamento.

Bourbon Vermelho 1-10-4-4-11-29-2, 2-3-9-2 e LC357--21 DP-20. A produção refere-se ao período 1973/78. Algumas progênies aí selecionadas estão ainda em observação em outros experimentos em Campinas.

3. RESULTADOS

Os prefixos dos cafeeiros cujas sementes foram tratadas, dosagens empregadas, número de mudas M_1 obtidas e transplantadas, acham-se no quadro 1.

QUADRO 1. Cafeeiros cujas sementes foram tratadas com raios X em 1952 e 1954, dosagens utilizadas, número de mudas obtidas e transplantadas, com respectivos prefixos

Cafeeiros Anos e Dosagens	M u d a s		Prefixos das plantas
	Escolhidas Transplantadas		
	n°	n°	
1952			
5.000 R			
1-10-4-4-9	2	2	-21 e -22
12.500 R			
1-10-4-4-9	19	19	-23 a -41
RP 13 Dp	1	1	-32
357 Dp	3	3	-64 a -66
1954			
5.000 R			
2-3-9-12-8	12	7	-1 a -7
P 52ex Dp	4	4	-1 a -4
10.000 R			
1-10-12-18-7	3	3	-1 a -3
1-10-12-18-20	8	8	-1 a -8
2-3-9-12-8	7	6	-1 a -7
2-3-9-12-17	2	2	-1 e -2
RP 13 Dp	7	7	-28 a -34
RP 13 Dp-21	1	1	-1
357-21 Dp	10	8	-81 a -88
357-21 Dp-42	7	6	-1 a -6
357-21 Dp-43	1	0	
23.000 R			
2-3-9-12-8	5	1	-1
2-3-9-12-17	16	2	-3 e -4
P 52ex	6	5	-4 a -8
RP 13 ex	16	9	-40 a -49
RP 13 Dp-21	1	1	-2
Total	131	95	95

Algumas das mudas M_1 obtidas (5) foram transplantadas em viveiro para suas respectivas progênies serem estudadas com mais detalhes, além daquelas que foram plantadas no experimento (EP 30), para aná-

lise da produção. Deve-se reconhecer que o número de cafeeiros plantados para esse estudo do efeito da radiação sobre a produção de mutações que possam afetar a produtividade foi relativamente pequeno. Isso se deve ao fato de o número de sementes autopolinizadas inicialmente tratadas ter sido pequeno, a germinação precária e o número de mudas aproveitáveis também pequeno. Apesar disso, resolveu-se prosseguir o estudo das gerações subseqüentes a fim de verificar a possibilidade de ocorrência de alguma mutação que viesse beneficiar a produtividade.

3.1 Análise de gerações M_1 , M_2 e M_3

Os cafeeiros M_1 em viveiro foram autofecundados em várias épocas e, as respectivas progênies M_2 , analisadas. Notou-se que nessa geração, independentemente do tratamento, as plantas em geral apresentaram fenótipo normal. Todavia, foi encontrada uma planta do tipo bulata com 66 cromossomos, além de plantas anormais em algumas progênies, como anã, semelhante a angustifólia (provavelmente aneuplóide) e plantas típicas angustifólia, como indicado nos quadros 2 e 3 (12). Essas variações, em conjunto, foram classificadas como plantas anormais.

QUADRO 2. Progênies de cafeeiros M_1 que não segregam plantas angustifólia, oriundos de sementes tratadas com raios X e características de suas progênies M_2

Dosagem de raios X	Progênies de cafeeiros estudados	Plantas M_2 examinadas	Plantas M_2 dos fenótipos indicados		
			Normal	Bulata	Anormais
R	n°	n°	n°	n°	n°
5.000	5	791	783	1	7
10.000	18	2.052	2.041	—	11
12.500	17	2.735	2.673	4	58
23.000	3	405	402	—	3

QUADRO 3. Progênies de cafeeiros M_1 oriundos de sementes tratadas com raios X que segregam para plantas angustifólia

Dosagens de raios X (R) e progênies	Plantas dos tipos		χ^2 (3:1)
	Normal	Angustifólia	
	n°	n°	
5.000 2-3-9-13-8-7	48	15	0,005
10.000 357-21 Dp 42-6 RP 13 Dp 21-1	172 10	24 3	16,633 0,026
12.500 1-10-4-4-9-32 1-10-4-4-9-33	143 277	45 30	0,060 37,160

Verificou-se que os cafeeiros de prefixo 1-10-4-4-9-32, 2-3-9-12-8-7 e RP 13 Dp-21-1 são possivelmente heterozigotos para um fator genético angustifólia, segregando na proporção fenotípica de 3:1 (χ^2 ajustado de 0,06; 0,01 e 0,03 respectivamente). Os cafeeiros 357-21 Dp-42-6 e 1-10-4-4-9-33 segregam anormalmente para essa característica (Quadro 3). Esse último caso poderia ser simplesmente uma segregação anormal de um fator genético ou tratar-se de aneuplóides do tipo monossômico. O fenótipo angustifólia ocorre com frequência entre os monossômicos. A transmissão dessa aneuploidia para a progênie é, no entanto, irregular e normalmente abaixo do teórico esperado, devido à menor viabilidade de gametas e/ou embriões aneuplóides (14). Entretanto, as 23 plantas angustifólia M_2 derivadas da progênie 1-10-4-4-9-33, por sua vez, deram apenas plantas M_3 de fenótipo angustifólia, num total de 2.231 indivíduos, como mostram os dados do quadro 4. Isso indica que eram homozigotas para fator genético angustifólia, excluindo, portanto, a possibilidade de tratar-se de aneuploidia.

As gerações M_3 de várias outras dessas plantas M_2 são também apresentadas no quadro 4. Verifica-se que 36 plantas fenotipicamente normais deram progênies constituídas apenas de plantas normais, enquanto 13 outras, também de fenótipo normal, revelaram ser heterozigotas e, embora atipicamente, segregam para plantas normais e do tipo angustifólia. Na progênie de um cafeeiro classificado como angustifólia anormal, observaram-se também plantas normais e angustifólia. Três cafeeiros derivados da planta matriz M_2 angustifólia 1-10-4-4-9-32 deram apenas plantas angustifólia em suas progênies, como indicado no quadro 4.

Sementes autofecundadas de 18 cafeeiros correspondentes a gerações S_2 e S_6 de Bourbon Vermelho, que não foram tratadas com raios X, deram um total de 1.399 descendentes, todos com folhas do tipo normal, isto é, não segregaram para plantas angustifólia.

3.2 Cafeeiros em experimentos de produção

As produções no experimento EP 30, em quilogramas de café cereja, foram anotadas para todas as plantas no período 1958-71. Os dados de produção, bem como a variação constatada, acham-se no quadro 5. Nota-se que as produções foram reduzidas e bastante variáveis, embora essa variação possa ser em parte devida ao ambiente. As melhores produções médias foram obtidas pelas progênies dos cafeeiros 357-21 Dp 42, 357-21 Dp e P 52 Dp, embora suas médias tenham sido menores do que a da testemunha. Apenas algumas plantas tiveram um desenvolvimento ótimo. A maioria, no entanto, apresentou desenvolvimento de bom a regular.

Os dados de produções médias das progênies do experimento EP 52, em quilogramas de café maduro, bem como os limites da amplitude de

QUADRO 4. Classificação das progêneses M_3 de cafeeiros Bourbon Vermelho oriundos de sementes tratadas com raios X

Progênie M_2	Progêneses M_3 examinadas	Fenótipo M_2	Total de plantas	Plantas dos tipos		χ^2 (3:1)
				Normal	Angustifólia	
	n°		n°	n°		
1-10-4-4-9-22	2	Normal	91	91	0	—
1-10-4-4-9-27	1	Normal	10	10	0	—
1-10-4-4-9-28	1	Normal	64	64	0	—
1-10-4-4-9-29	7	Normal	847	847	0	—
1-10-4-4-9-29	1	Angustifólia anormal	82	45	37	16,650
1-10-4-4-9-31	2	Normal	49	49	0	—
1-10-4-4-9-32	3	Normal	154	154	0	—
1-10-4-4-9-32	7	Normal	299	236	63	2,257
1-10-4-4-9-32	2	Normal	86	49	37	13,953
1-10-4-4-9-32	3	Angustifólia	103	0	103	—
1-10-4-4-9-33	3	Normal	151	151	0	—
1-10-4-4-9-33	4	Normal	234	191	44	4,608
1-10-4-4-9-33	23	Angustifólia	2,231	0	2,231	—
1-10-4-4-9-37	5	Normal	233	233	0	—
1-10-4-4-9-39	5	Normal	176	176	0	—
1-10-4-4-9-20	2	Normal	23	23	0	—
357-21 Dp 65	5	Normal	259	259	0	—
Total	76					

QUADRO 5. Produção total em café cereja no período 1958/1971 e limites de variação de progênie de café Bourbon Vermelho oriundas de sementes tratadas com várias doses de raios X, do experimento EP 30 de Campinas

Progênie	Dosagem de raios X	Plantas observadas		Plantas com aspectos vegetativos indicados						Produção 1958 a 1971	
		R	n°	Ótimo			Ruim			Média	Amplitude de variação
				Bom	Regular	Ruim	Variação (1)	kg	kg		
1-10-12-18-20	10.000	6	—	5	—	1	—	—	—	27,4	11,1 — 41,4
1-10-12-18-6	10.000	3	—	1	1	1	—	—	—	28,1	22,1 — 30,0
2-3-9-12-8	5.000	6	—	3	2	1	—	—	—	20,7	1,9 — 40,8
2-3-9-12-8	10.000	6	1	4	—	1	—	—	—	29,8	16,2 — 44,3
2-3-9-12-17	10.000	2	—	1	1	—	—	—	—	20,9	13,8 — 28,0
2-3-9-12-17	23.000	2	—	—	2	—	—	—	—	25,9	21,2 — 30,6
RP 13 Dp 21	23.000	1	—	—	1	—	—	—	—	28,2	— — —
RP 13 Dp	10.000	2	—	1	1	—	—	—	—	19,5	10,5 — 28,4
RP 13 Dp	23.000	8	1	3	4	—	—	—	—	29,5	5,7 — 49,7
357-21 Dp	10.000	8	1	3	4	—	—	—	—	32,9	27,7 — 42,5
357-21 Dp-42	10.000	6	3	3	—	—	—	—	—	34,3	10,5 — 47,9
P 52 Dp	23.000	3	1	1	—	—	—	1	—	32,7	16,9 — 44,6
357-21 Dp-20 (Testemunha)	—	11	—	—	—	—	—	—	—	42,8	19,0 — 53,8

(1) Possivelmente aneuplóide. CV: 36,4%.

variação, acham-se no quadro 6. Nota-se que essas progênies M_2 , que são derivadas de plantas M_1 selecionadas do experimento EP 30, são, em geral, pouco produtivas em comparação com as da testemunha Mundo Novo CP 379-19, porém semelhantes à do padrão Bourbon Vermelho, sem tratamento, 1-10-4-4-11-29-2.

QUADRO 6. Produção média por planta, em quilogramas de frutos maduros, de várias progênies M_2 derivadas de plantas matrizes M_1 de Bourbon Vermelho no período 1963/69 e de progênies de Bourbon Vermelho e Mundo Novo do experimento EP 52 de Campinas

Dosagem de radiação (R) e progênies	Produção média	Amplitude de variação	Aspecto vegetativo (1)	Característica			
				Altura de copa	Frutos chochos	Plantas	
						a	b
	kg	kg		m	%	n°	n°
5.000 R							
2-3-9-12-8-5	18,9	13,8-23,0	4,2	2,37	3,8	0	10
2-3-9-12-8-7	17,4	8,8-25,6	3,8	2,30	3,6	0	10
2-3-9-12-8-6	16,5	7,8-22,9	4,3	2,40	6,9	0	10
10.000 R							
2-3-9-12-8-13	22,1	12,7-30,4	5,2	2,52	20,4	5	5
2-3-9-12-8-12	21,8	13,0-27,6	5,6	2,50	4,4	0	10
2-3-9-12-8-14	19,6	15,2-26,6	5,0	2,41	5,2	0	10
2-3-9-12-8-10	23,4	11,2-27,4	5,0	2,44	4,2	0	10
2-3-9-12-8-11	23,1	10,6-30,3	4,8	2,55	3,9	0	10
357-21 Dp-42-5	23,3	17,0-30,4	4,8	2,39	2,9	0	10
357-21 Dp-42-2	21,8	11,3-29,3	5,8	2,47	3,7	0	10
357-21 Dp-42-1	20,9	15,9-25,8	4,9	2,45	4,6	0	10
357-21 Dp-42-4	19,8	9,8-28,6	5,6	2,46	10,3	1	9
357-21 Dp-42-6	20,5	14,4-25,8	4,5	2,54	6,4	0	10
357-21 Dp-42-3	21,6	14,9-25,9	5,2	2,42	11,6	2	8
Sem tratamento							
CP 379-19	35,1	27,8-41,8	7,2	2,83	5,3	0	10
1-10-4-4-11-29-2	18,2	12,6-21,8	4,1	2,36	6,5	0	10

(1) Pontos dados subjetivamente: 1: péssimo aspecto; 10: ótimo; a: com alta quantidade de frutos sem sementes; b: com baixa quantidade de frutos sem sementes. DMS (Tukey 5% = 6,4kg). CV = 19,3%.

Quanto ao aspecto vegetativo, avaliado através de pontos dados subjetivamente, verifica-se que as progênies derivadas do cafeeiro 2-3-9-12-8 (5.000 R) apresentam-se de pior aspecto e semelhantes à testemunha 1-10-4-4-11-29-2. A altura média dessas plantas também se revelou igual à da testemunha. No que se refere a lojas do fruto sem sementes, apenas uma planta, 2-3-9-12-8-13 apresentou 20% de lojas com esse defeito, sendo o mesmo também verificado em cinco plantas de sua progênie. Esse defeito ocorreu em uma planta da progênie 357-21 Dp-42-4 e em duas plantas da progênie 357-21 Dp-42-3. Nas progênies das testemunhas, não foi verificada essa anormalidade.

Os dados de seis anos de produções consecutivas das progênies M_2 derivadas das plantas M_1 selecionadas no ensaio EP 30 e progênie M_3 de plantas matrizes M_2 do EP 52 e que constituem o ensaio EP 114, acham-se no quadro 7. Nota-se que as progênies M_2 e M_3 continuam com produ-

QUADRO 7. Produção média por planta no período 1973-78, em quilogramas de frutos maduros, de progênies M_2 e M_3 de Bourbon Vermelho do experimento EP 114, selecionadas nos experimentos EP 30 e EP 52 de Campinas e, também, de outras progênies de Bourbon Vermelho e características vegetativas

Dosagem de radiação (^R) e progênies	Produção média	Amplitude de variação	Aspecto vegetativo	Copa	
				Altura	Diâmetro
	kg	kg	pontos	cm	cm
EP 30 5.000 R					
2-3-9-12-8-5	14,8	10,9-21,4	4,8	203	191
2-3-9-12-8-6	11,5	1,4-21,4	4,2	194	188
EP 30 10.000 R					
357-21 Dp 42-1	13,1	2,3-25,6	3,4	186	186
357-21 Dp 42-3	13,1	6,8-26,5	3,9	185	179
357-21 Dp 42-2	14,1	6,7-25,7	4,0	196	185
357-21 Dp 42-4	11,8	6,2-20,4	3,6	195	184
357-21 Dp 42-5	11,8	1,4-19,9	3,3	196	183
357-21 Dp 42-6	16,7	5,9-34,2	4,0	200	190
2-3-9-12-8-10	12,9	8,2-18,0	4,7	199	190
2-3-9-12-8-13	12,1	6,3-22,5	4,7	194	192
2-3-9-12-8-11	14,1	2,2-22-8	4,6	206	187
2-3-9-12-8-12	12,5	8,7-23,4	4,2	199	188
2-3-9-12-8-14	11,2	4,1-21,6	3,9	191	186
EP 30 sem tratamento					
LC 357-21 Dp-20	14,0	2,5-25,7	3,4	191	190
EP 52 5.000 R					
2-3-9-12-8-5	18,5	10,7-28,1	5,2	211	196
2-3-9-12-8-6	15,3	7,4-29,7	5,1	221	188
EP 52 10.000 R					
357-21 Dp 42-1	12,5	4,2-18,5	3,6	184	185
357-21 Dp 42-2	13,7	8,1-22,0	3,6	194	193
357-21 Dp 42-3	14,4	4,6-24,9	3,9	202	188
357-21 Dp 42-4	11,2	4,3-17,1	3,0	172	192
357-21 Dp 42-5	12,8	6,3-24,1	3,4	191	185
357-21 Dp 42-6	16,5	4,0-29,2	4,4	208	199
2-3-9-12-8-10	14,5	7,0-20,8	5,1	208	189
2-3-9-12-8-11	13,9	6,2-18-3	4,3	195	181
2-3-9-12-8-12	11,6	7,3-26,2	3,8	191	183
2-3-9-12-8-13	13,1	3,8-21,9	4,9	216	199
2-3-9-12-8-14	11,8	6,7-17,2	3,8	197	190
EP 52 sem tratamento					
1-10-4-4-11-29-2	13,2	4,9-20,3	4,1	196	187
CP 379-19	22,7	15,4-31,9	6,9	245	198
L 20 sem tratamento					
2-3-9-2	14,5	10,3-20,6	4,3	196	198

D.M.S (Tukey 5% = 7,4kg). CV = 16,7%.

ções bem reduzidas, não se notando nenhum progresso em relação à testemunha. No tocante ao aspecto vegetativo, os descendentes do cafeeiro 357-21 Dp-42 são menos vigorosos do que o controle Mundo Novo. O mesmo parece ocorrer com relação à altura média e diâmetro da copa nos diversos tratamentos.

No quadro 8 acham-se indicadas as produções de frutos maduros das plantas matrizes M_1 (EP 30) e a produção média da progênie M_2 (EP 52) e produções das progênies M_2 e M_3 do EP 114 de Campinas. Não se verificou correlação positiva entre as produções das plantas M_1 comparadas com as das progênies M_2 e M_3 .

QUADRO 8. Comparação entre as produções em quilogramas de frutos maduros de plantas matrizes M_1 do Ensaio de Progênies EP 30 de Campinas e a das progênies M_2 do EP 52 e das progênies M_2 e M_3 do experimento EP 114 de Campinas

Dosagem de radiação (R) e planta matriz (1)	Produção total	Produção total média Progênies M_2 (2)	Produção total média (3) Progênies	
			M_2	M_3
	kg	kg	kg	kg
5.000 R				
2-3-9-12-8-5	40,8	18,9	14,8	18,5
2-3-9-12-8-6	20,5	16,5	11,5	15,3
2-3-9-12-8-7	20,8	17,4	—	—
10.000 R				
2-3-9-12-8-10	28,7	23,4	12,9	14,5
2-3-9-12-8-11	16,2	23,1	14,1	13,9
2-3-9-12-8-12	30,4	21,9	12,5	11,6
2-3-9-12-8-13	30,1	22,1	12,1	13,1
2-3-9-12-8-14	29,1	19,6	11,2	11,8
10.000 R				
357-21 Dp-42-1	10,5	20,8	13,1	12,5
357-21 Dp-42-2	47,9	21,8	14,1	13,7
357-21 Dp-42-3	31,3	21,6	13,1	14,4
357-21 Dp-42-4	42,0	19,8	11,8	11,2
357-21 Dp-42-5	31,5	23,3	11,8	12,8
357-21 Dp-42-6	42,7	20,5	16,7	16,5

(1) Plantada no EP 30 — Produção total 1958-71.

(2) Plantada no EP 52 — Produção média 1963-69.

(3) Plantada no EP 114 — Produção total média 1973-78. Progênies M_2 derivadas do EP 30 e M_3 derivadas do EP 52.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Desde os trabalhos pioneiros de MULLER (18) e STADLER (25, 26) sobre o emprego de radiações ionizantes na produção de mutações, e dos trabalhos de GUSTAFSSON (9) sobre a sua utilização na indução de mutações em plantas cultivadas, numerosas são as pesquisas realizadas, as quais vêm indicando o valor desse método na produção de mutações de

interesse no melhoramento genético das espécies econômicas (19, 24, 27). Além de contribuir para ampliar a variabilidade genética, as mutações podem afetar favoravelmente características de interesse econômico (19), embora, em algumas plantas, os resultados não tenham sido significativos (10). Cultivares de amendoim que se destacaram pela maior produtividade foram obtidos (8, 21), bem como plantas ornamentais mais atraentes (13). Os extensos trabalhos de GREGORY (8) confirmam a hipótese de que mutações de pequenos efeitos, principalmente sobre a produção, aumentam em frequência em função exponencial do seu reduzido efeito. Exemplos são dados por esses autores de macromutações obtidas em amendoim e induzidas por radiações.

O tratamento do cafeeiro com radiações ionizantes poderia mostrar-se vantajoso, caso novas mutações pudessem ser utilizadas nas análises genéticas ou no plano geral de melhoramento. O material de Bourbon Vermelho estudado não apresentou variações diferentes daquelas já conhecidas (12), possivelmente devido ao fato de poucas plantas terem sido observadas em M_1 e nas populações M_2 . Ocorreram vários tipos de plantas com folhas estreitas, genericamente denominadas de angustifolia e que devem corresponder a aneuplóides, conforme indicado por MENDES (14). Não se verificaram plantas com quimeras, tal como foi observado por MOH & ORBEGOZO (16). A ausência de quimeras talvez se deva ao pequeno número de células no meristema apical (6) ou ao estado pouco diferenciado do embrião da semente de café, pois, de acordo com DEDECCA (7), o cafeeiro parece normal quanto às camadas histogênicas do caule. Se a haste do cafeeiro se desenvolvesse a partir de uma única célula do corpo, como supõem CARVALHO (2) e MOH (15), seria mais fácil a produção de mutações. Isso, no entanto, não tem sido observado.

Os dados obtidos mostram que o número de plantas anormais nos cafeeiros resultantes de sementes tratadas aumentou com a dosagem até o limite de 12.500 R, diminuindo na dosagem de 23.000 R. Algumas das plantas angustifolia obtidas, que parecem constituir mutações diferentes, não são dos tipos aneuplóides, como verificado por MOH & ORBEGOZO (16), CEVALLOS (6) e MONGE (17). Uma das plantas angustifolia observadas parece não ser aneuplóide, pois as progênies S_1 e S_2 são constituídas apenas de plantas angustifolia. Apesar de a ocorrência de um nulissômico ser compatível com esses resultados, neste caso, entretanto, ela parece improvável. A mutação deve ter ocorrido na planta 1-10-4-4-9 (12.500 R). Já se conhecem vários fatores genéticos independentes e que resultam em fenótipos angustifolia, com folhas longas e estreitas e pequena produtividade. Os alelos angustifolia, que ocorrem na condição homozigota nos descendentes dos cafeeiros de prefixos 1-10-4-4-9-32 e 1-10-4-4-9-33, são possivelmente diferentes dos outros fatores angustifolia conhecidos (2), o que está sendo testado através de novas hibridações. O cafeeiro 1-10-4-4-9-29 angustifolia anormal deve constituir um aneuplóide, em vista da segregação anormal que apresenta na descendência formada de plantas normais e angustifolia.

Os três experimentos de produção realizados não revelaram, nas diversas gerações, nenhum fator afetando favoravelmente a produção, e não se detectou correlação positiva e significativa entre as produções das melhores plantas matrizes M_1 e a de suas respectivas progênes.

Segundo SMITH (24), duas são as possibilidades para o melhoramento por meio de indução de mutações: uso das mutações para melhorar caracteres morfológicos e fisiológicos relacionados com a produção ou ampliação de variabilidade genética para subsequente realização de seleção. Os dados do presente trabalho mostram que, em relação ao controle, as progênes derivadas de sementes tratadas apresentaram maior variabilidade genética, uma vez que mutações morfológicas conhecidas foram observadas. Provavelmente devido ao reduzido número de plantas estudadas no campo, não se verificou a ocorrência de micromutações que afetassem favoravelmente a produção. Em futuros trabalhos visando à utilização de radiações para fins de melhoramento, sugere-se o tratamento e o estudo de grande número de plantas tanto em viveiro como no local definitivo, como mencionado por AASTVEIT (1).

SUMMARY

EFFECTS OF X-RADIATION ON THE INDUCTION OF MUTATIONS IN *COFFEA ARABICA*

Selfed seeds of cv. Bourbon Vermelho (*Coffea arabica*) from generations S_4 and S_5 and also of pure lines obtained from doubled haploids were exposed to X-rays in doses from 5,000 to 23,000 R. A recessive mutation of *angustifolia* type was found in a progeny of generation M_2 derived from the treatment with 12,500 R. Phenotypically normal plants from seeds irradiated with 5,000 and 23,000 R were transplanted to the field and the yields were recorded for fourteen years. Large differences were observed in total yield of individual plants. During seven years, progenies of high and low yielding plants were studied and the data revealed no correlation between the yield of the parental plants and their progenies. In another experiment, the yields were followed for five years, and again, no correlation was found. These experiments indicated that no favorable mutation affecting yield occurred. Since the number of plants analysed was relatively small, the fact that some known morphological mutations were observed, suggest that radiation could be used for increasing genetic variability of *C. arabica*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AASTVEIT, K. Plant characters to be improved by mutation breeding. Yielding ability. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Manual on Mutation Breeding. 2ed. Viena, IAEA, 1977. p.169-170.
2. CARVALHO, A. Advances in coffee production technology: recent advances in our knowledge of coffee trees. Genetics. Coffee & Tea Industries and the Flavor Field, New York, 81(11):30-36, 1958.
3. ————. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie *C. arabica*. Boletim da Superintendência dos Serviços do Café, São Paulo, 20(226):1138-1145, 1945; 21(227):6-10, (228):69-73, (229):127-130, (230):174-184, 1946.

4. CARVALHO, A. Genética de *Coffea*. XXIV. Mutantes de *Coffea arabica* procedentes da Etiópia. *Bragantia*, Campinas, 18:353-371, 1959.
5. ———; ANTUNES FILHO, H.; NOGUEIRA, R.K. Genética de *Coffea*. XX. Resultados preliminares do tratamento de sementes de café com raios-X. *Bragantia*, Campinas, 13:XVII-XX, 1954. (Nota, 7)
6. CEVALLOS, J.V. Estudios sobre el mutante angustifolia de café inducido por radiaciones gamma en la generación R_1 . In: INTERAMERICAN SYMPOSIUM ON THE PEACIFUL APPLICATION OF NUCLEAR ENERGY, 4., Mexico City, 1962. v.2, p.201-209.
7. DEDECCA, D.M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. *Bragantia*, Campinas, 16:315-366, 1957.
8. GREGORY, W.C. A radiation breeding experiment with peanuts. *Radiation Botany*, 8:81-147, 1968. (Review paper)
9. GUSTAFSSON, A. Mutations in agricultural plants. *Hereditas*, 33:1-100, 1947.
10. HARTEN, A.M. van. Mutation breeding techniques and behaviour of irradiated shoot apices of potato. Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1978. 132p. Thesis (Doctoral)
11. KRUG, C.A. Melhoramento do cafeeiro. Doze anos (1933-1944) de pesquisas básicas e aplicadas realizadas na Seção de Genética, Café e Citologia do Instituto Agrônomo. *Revista da Superintendência dos Serviços do Café*, São Paulo, 20(222):863-872, (223):979-992, (224):1038-1046, 1945.
12. ———. Observações citológicas em *Coffea*. III. Campinas, Instituto Agrônomo, 1937. 17p. (Boletim técnico, 27)
13. LOOSE, R. Mutation breeding of the hybrids of *Rhododendron simsii* Planch. (*Azalea indica* L.). *Mutation Breeding Newsletter*, 3:15, 1974. (Resumo)
14. MENDES, A.J.T. Observações citológicas em *Coffea*. XIX. Monossômios. *Bragantia*, Campinas, 14:137-140, 1955.
15. MOH, C.C. Does a coffee plant develop from one initial cell in the shoot apex of an embryo? *Radiation Botany*, 1:97-99, 1961.
16. ——— & ORBEGOZO, G. The induction of angustifolia mutants in coffee in the R_1 generation by ionizing radiations. *Genetics*, 45:1000, 1960. (Abstract)
17. MONGE, F.S. Frecuencia de café caracolillo en plantas provenientes de semillas irradiadas. *Turrialba*, 12(4):209-212, 1962.
18. MULLER, H.J. Artificial transmutation of the gene. *Science*, 64:84-86, 1927.
19. MUTATION BREEDING NEWSLETTER, Vienna, FAO/IAEA, nº 12, 1978.
20. NILAN, R.A.; KLEINHOP, A.; KONZAK, C.F. The role of induced mutation in supplementing natural genetic variability. *Annals of the New York Academy of Science*, 287:367-384, 1977.
21. PATIL, S.H. Release of X-ray induced groundnut variety TG-1. *Mutation Breeding Newsletter*, 3:11, 1974. (Resumo)
22. RUTGER, J.N. & PETERSON, M.L. Improved short stature rice. *California Agriculture*, 30(6):4-6, 1976.

23. RUTGER, J.N.; PETERSON, M.L.; HU, C.H.; LEHMAN, W.F. Induction of useful short stature and early maturing mutants in two japonica rice cultivars. *Crop Science*, **16**:631-635, 1976.
24. SMITH, H.H. Radiation in the production of useful mutations. *The Botanical Review*, **24**:1-24, 1958.
25. STADLER, L.J. Chromosome number and the mutation rate in *Avena* and *Triticum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **15**:876-881, 1929.
26. ————. Mutations in barley induced by X-rays and radium. *Science*, **68**:186-187, 1928.
27. VISSER, T.; VERHAEGH, J.J.; DE VRIES, D.P. Pre-selection of compact mutants induced by X-ray treatment in apple and pear. *Euphytica*, **20**:195-207, 1971.