



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DISSERTAÇÃO

VARIABILIDADE GENÉTICA INDUZIDA POR RADIAÇÃO GAMA (Cobalto-60) EM BERINJELA (*Solanum melongena* L.) E CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONOMICA DOS MUTANTES.

Rubens Rangel Rolim

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



VARIABILIDADE GENÉTICA INDUZIDA POR RADIAÇÃO GAMA (Cobalto-60) EM BERINJELA (*Solanum melongena* L.) E CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONOMICA DOS MUTANTES.

Rubens Rangel Rolim

**Mailson Monteiro do Rêgo
-Orientador-**

**Elizanilda Ramalho do Rêgo
-Co-orientadora-**

Dissertação submetida como requisito para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Areia, PB
Fevereiro de 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R748v Rolim, Rubens Rangel.

VARIABILIDADE GENÉTICA INDUZIDA POR RADIAÇÃO GAMA
(Cobalto-60) EM BERINJELA (*Solanum melongena* L.) E
CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONOMICA DOS MUTANTES. / Rubens
Rangel Rolim. - Areia, PB, 2019.
63 f.

Orientação: Mailson Monteiro do Rêgo.
Coorientação: Elizanilda Ramalho do Rêgo.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. indução de mutação. 2. radiação ionizante. 3.
Solanum melongena L. 4. variabilidade. I. Mailson
Monteiro do Rêgo. II. Elizanilda Ramalho do Rêgo. III.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

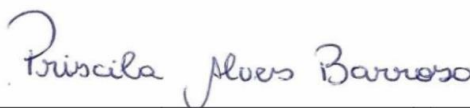
**TÍTULO: VARIABILIDADE GENÉTICA INDUZIDA POR RADIAÇÃO GAMA
(Cobalto-60) EM BERINJELA (*Solanum melongena* L.) E
CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONOMICA DOS MUTANTES.**

AUTOR: RUBENS RANGEL ROLIM

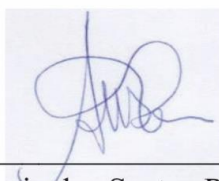
Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em
AGRONOMIA (Agricultura Tropical) pela comissão Examinadora:



Prof. Dr. Mailson Monteiro do Rêgo - CCA/UFPB
Orientador



Prof. Dra. Priscila Alves Barroso - UFPBI



Dra. Angela Maria dos Santos Pessoa - CCA/UFPB

Data de realização: 20/02/2018



Presidente da Comissão Examinadora
Dr. Mailson Monteiro do Rêgo
Orientador

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela graça alcançada, discernimento e todas as bênção concedidas para que os obstáculos fossem superados e os objetivos alcançados. Agradeço a ti o pai pela vida de cada um dos envolvidos nesta etapa da minha vida,

À minha família pelo apoio incondicional de sempre, assim como ao longo desta jornada, principalmente ao meu pai José Renato Rangel, minha mãe Maria Ieda Gomes Rangel e à meus irmãos Renato Franklin Rangel e Igor Gomes Rangel

Ao professor Dr. Mailson Monteiro do Rêgo, pela orientação e ensinamentos passados durante esse período e acima de tudo pela amizade. A professora Dra. Elizanilda Ramalho do Rêgo, pelos ensinamentos e orientações.

À banca examinadora composta pela professora Dra. Priscila Alves Barroso e pela Dra. Angela Maria dos Santos Pessoa que se propuseram a participar e contribuir com a avaliação deste trabalho de dissertação.

À todos os amigos, especialmente aos companheiros do Laboratório de Biotecnologia Vegetal Cristine, Kaline, Michelle, Lindamara, Glaucia, Ayron, Junior, Fábio, Kadson, Laís, Elisandra, Bruna, Joalison, Marcelo, Carla, Beto, Monique, Felipe, Isaias, Nardiele, Priscila, Rinklei, Neto, Leticia, Daniele, Jaci, Helder, Vanessa e aos demais colegas.

Aos professores do PPGA-CCA-UFPB e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia e à Universidade Federal da Paraíba.

A CAPES pela concessão da bolsa para desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

Serei Eternamente grato a todos.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO GERAL | 13 |
| REFERÊNCIAS | 15 |
| ARTIGO I - Indução de variabilidade genética em berinjela usando radiação gama ⁶⁰Co..... | 18 |
| Resumo | 18 |
| Abstract..... | 19 |
| 1. Introdução..... | 20 |
| 2. Material e Métodos..... | 22 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 24 |
| 4. Conclusão | 41 |
| 5. Referências | 42 |
| ARTIGO II - Variabilidade genética de mutantes de berinjela irradiada com ⁶⁰Co acessada por análise multivariada..... | 47 |
| Resumo | 47 |
| Abstract..... | 48 |
| 1. Introdução | 49 |
| 2. Material e Métodos | 51 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 53 |
| 4. Conclusão..... | 62 |
| 5. Referências | 63 |

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1.** Características qualitativas avaliadas em *Solanum melongena* L. CCA/UFPB. Areia, 2017.....23
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância: quadrados médios (QM), variância ambiental (σ^2_E), variância genotípica (σ^2_G), herdabilidade [h^2 (%)], relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) e coeficiente de variação (CV%) para 16 variáveis quantitativas de, planta, flor e fruto de berinjela (*Solanum melongena*). CCA/UFPB. Areia, 2017..... **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 3.** Médias de características quantitativas de 51 plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.), submetidas a diferentes doses de radiação gamma (^{60}Co) CCA/UFPB. Areia, 2017.....31
- Tabela 4.** Demonstração de possíveis ocorrências de eventos mutacionais para características morfológicas quantitativas de (*Solanum melongena* L.) irradiadas com ^{60}Co . CCA/UFPB. Areia, 2017.....34

ARTIGO II

- Tabela 1.** Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA) para 16 variáveis quantitativas de planta, flor e fruto de berinjela (*Solanum melongena*). CCA/UFPB. Areia, 2017.....53
- Tabela 2.** Contribuição relativa dos caracteres qualitativos para divergência genética entre 60 acessos de berinjela irradiadas, com base no método de (Singh, 1981). CCA/UFPB. Areia, 201754
- Tabela 3.** Agrupamento de 60 acessos irradiados com base em dados quantitativos de berinjela BGH 2404, conforme método de otimização de Tocher baseado na dissimilaridade expressa pela distância de Mahalanobis. CCA/UFPB. Areia, 2017.....55
- Tabela 4.** Estimativas das variâncias (autovalores) associadas às variáveis canônicas relativos a 18 caracteres avaliados em *Solanum melongena* L. CCA/UFPB. Areia, 2017.59

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1.** Altura das plantas e hábitos de crescimento de diferentes acessos de berinjela (*Solanum melongena* L.) submetidas a diferentes doses de radiação com ^{60}Co . Ereto (A), intermediário (B) e prostrado (C).....35
- Figura 2.** Hábito de crescimento de plantas de berinjelas irradiadas com ^{60}Co 36
- Figura 3.** Pubescência das folhas de berinjelas irradiadas com ^{60}Co36
- Figura 4.** Pubescência do caule de plantas de berinjelas irradiadas com ^{60}Co 36
- Figura 5.** Pubescência do caule de plantas de *Solanum melongena* L. submetidas a dose de radiação de 400 Gy, pubescência intermediária (A) e pouca pubescência T0 (B).....37
- Figura 6.** Cor do estilete das flores de berinjelas irradiadas com ^{60}Co37
- Figura 7.** Cor da corola das flores de berinjelas irradiadas com ^{60}Co 38
- Figura 8.** Cor do estilete e cor da corola de flores de *Solanum melongena* L. estilete roxo e corola roxo claro P 31 - 200 Gy (A) e estilete branco e corola roxo mais claro P12 – 25 Gy (B) corola roxo escuro P18 – 50 Gy (C).....38
- Figura 9.** Razão dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co39
- Figura 10.** Forma dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co 39
- Figura 11.** Forma do ápice dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co39
- Figura 12.** Cor dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co40
- Figura 13.** Razão e forma do fruto de (*Solanum melongena*) L. T0 - Mais largo que longo e parte superior $\frac{3}{4}$ da base (A), 400 Gy – ligeiramente mais longo que largo e parte superior $\frac{1}{2}$ da base e 50 Gy (B) – duas vezes longo e parte superior $\frac{1}{4}$ da base (C).....40

ARTIGO II

- Figura 1.** Forma do ápice do fruto de (*Solanum melongena*) L. T0 - depressivo (A) e 400 Gy – arredondado (B).....41
- Figura 2.** Cor do fruto de *Solanum melongena* L. T0 – roxo escuro (A) 400 Gy – roxo (B) e a cor marrom (C) presente em todas as doses de radiação.....41

RESUMO GERAL

O sucesso de um programa de melhoramento baseado em hibridação, depende da variabilidade genética disponível. Uma forma de gerar variabilidade e de aumentar a diversidade genética é por meio da mutação, induzida de forma artificial com a utilização de agentes mutagênicos. Entre os agentes mutagênicos as radiações ionizantes vêm sendo bastante utilizadas, entre elas a radiação gama que pode provocar diversas modificações aparentes, tais como morte, inibição ou estimulação. Diante o exposto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar radiosensibilidade de sementes de berinjela à radiação gama com ^{60}Co , estimando a variabilidade genética por meio da caracterização morfoagronômica com base em análises uni e multivariadas. Sementes do genótipo de *Solanum melongena* L. (BGH 2404), foram submetidas à radiação gama de Cobalto-60 (^{60}Co), nas doses de 0 Gy, 25 Gy, 50 Gy, 100 Gy, 200 Gy, 400 Gy, 800 Gy. Após a radiação, as sementes foram semeadas em bandejas de poliestireno. Foram avaliados 18 caracteres quantitativos e 18 caracteres qualitativos, referentes à porte, inflorescência e fruto, com base na lista de descritores de berinjela sugerido pelo Instituto Internacional de Recursos Genéticos de Plantas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, consistindo de sete tratamentos (doses de radiação) e 10 repetições. Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância pelo teste F em nível de 5% de significância e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os dados foram ainda submetidos à análise de variância multivariada pelo teste F em nível de 5% de significância, adotou-se a medida de dissimilaridade baseada na distancia generalizada de Mahalanobis, sendo os dados agrupados pelos métodos Tocher e UPGMA. Também foi realizado a contribuição relativa dos caracteres utilizando o critério proposto por Singh e por fim foi realizado análise de divergência genética por meio das variáveis canônicas. A radiação gama com ^{60}Co foi responsável por alterações morfológicas na maioria das características quantitativas e qualitativas analisadas, indicando a possibilidade da ocorrência de mutações nos indivíduos avaliados. Diante dos resultados obtidos, indica-se a dose de radiação de 25 Gy, para obtenção de variabilidade genética em berinjela. Os efeitos da radiação gama sobre sementes de *Solanun melongena* L., não segue um padrão de variação de acordo com as doses utilizadas. A variabilidade observada nos agrupamentos é um indicativo da diversidade existente entre os genótipos, sendo promissora para a seleção de indivíduos mutantes com potencial para dar continuidade a investigação da ocorrência de mutações induzidas pela radiação gama.

Palavras- chave: indução de mutação, radiação ionizante, *Solanun melongena* L., variabilidade,

ABSTRACT

The success of a breeding program based on hybridization depends on the genetic variability available to exploit it through selection. One way of generating variability and increasing genetic diversity is by mutation, artificially using mutagenic agents. Among the mutagenic agents, ionizing radiation has been widely used, however, according to the dose of gamma radiation that the organism is exposed to, it can cause several apparent modifications, such as death, inhibition or stimulation. The objective of this study was to evaluate radiosensitivity of eggplant seeds to gamma radiation with ^{60}Co , estimating the genetic variability by means of morphoagronomic characterization for traits uni and multivariate. Eggplant genotype seeds (BGH 2404) were subjected to gamma radiation of Cobalt-60 (^{60}Co) at doses of 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gy. After the radiation, the seeds were seeded in polystyrene trays. Sixteen quantitative characters and 18 qualitative characters were evaluated, regarding size, inflorescence and fruit, based on the list of eggplant descriptors suggested by the International Institute of Plant Genetic Resources. The experimental design was completely randomized, consisting of seven treatments (radiation doses) and 10 replicates. The quantitative data were submitted to analysis of variance by the F test at the 5% level of significance and the means were compared by the Dunnett test at 5% significance. The data were also submitted to multivariate analysis of variance by the F test at the 5% level of significance, and the dissimilarity measure based on the generalized Mahalanobis distance was adopted, and the data were grouped by the Tocher and UPGMA methods. We also performed the relative contribution of the characters using the criterion proposed by Singh and finally we performed analysis of genetic divergence through canonical variables. According to the results, it was concluded that the gamma radiation with ^{60}Co was responsible for morphological alterations in most of the quantitative and qualitative characteristics analyzed, indicating the possibility of the occurrence of mutations in the evaluated individuals. Considering the obtained results, the radiation dose of 25 Gy is indicated to obtain genetic variability in eggplant. Exposure of the seeds to gamma dose radiation of 800 Gy caused deleterious effects detrimental to their germination. The effects of gamma radiation on *Solanun melongena* L. seeds does not follow a variation pattern according to the doses used. The variability observed in the clusters is indicative of the diversity among the genotypes and is therefore promising for the selection of mutant individuals with the potential to continue the investigation of the occurrence of mutations induced by gamma radiation.

Keywords: *Solanun melongena* L., variability, ionizing radiation, induction of mutation.

INTRODUÇÃO GERAL

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma planta da família Solanaceae, originária da Índia e introduzida no Brasil no século XVI. Atualmente o continente Asiático é o maior produtor, com destaque para a China e Índia, correspondendo a 83% da produção mundial (FAO, 2016). De acordo com IBGE (2007), os dados do Censo Agropecuário indicam que 90% de sua produção concentra-se na região Sudeste, sendo cultivada em maior escala no estado de São Paulo que representa 61% de toda produção nacional.

A cultura possui grande importância econômica e se encontra em fase de expansão no Brasil e em muitos países do mundo, principalmente pelas propriedades medicinais e nutricionais atribuídas aos seus frutos (MONTEMOR et al., 2009; SOUZA et al., 2009). A berinjela é fonte de vitaminas (A, B e C) e minerais, especialmente magnésio, potássio e enxofre, além de haver relatos de seu uso no tratamento de asma, diabetes, cólera, bronquite e controle de colesterol e pressão arterial (RIBEIRO, 2007).

Reproduz-se preferencialmente por autofecundação, sendo o percentual de polinização cruzada variável de acordo com a cultivar e com fatores ambientais, com média estimada em 6% a 7%, podendo, no entanto, chegar próximo a 50% (RIBEIRO, 2003).

Desde 1998, encontram-se no mercado brasileiro, 5 cultivares e 15 híbridos de berinjela (RIBEIRO et al., 1998), estas cultivares diferem entre si em produtividade, formato, coloração, brilho de frutos e resistência a doenças. Os híbridos são mais utilizados, devido principalmente ao alto vigor, maior produtividade, uniformidade das plantas e frutos e maior adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (REIS et al., 2007).

Devido a importância econômica e social da cultura ela tem sido bastante explorada em programas de melhoramento. Um método bastante utilizado em alguns programas é a indução de mutações, esta é realizada por mutagênicos físicos e químicos, nas mais diversas culturas (ARUNA et al., 2010), como alho, tomate, pimenta, melão, (GONZALEZ et al., 2002), porém poucos estudos são relatados com berinjela.

A indução artificial de mutações por meio de radiação ionizante começou no início do século XX (1928). A radiação gama pode causar mudanças na estrutura das plantas, permitindo o isolamento e seleção de mutantes com características desejáveis. O efeito final da radiação pode ser modificado por vários fatores relacionados tanto as

características da planta: como espécies, cultivares, estágio de crescimento, arquitetura de tecido e organização do genoma, como por fatores relacionados a características da radiação, podendo citar a qualidade, dose e duração da exposição (KIM et al., 2009).

Os danos cromossômicos causados por radiação em sementes tendem a inibir sua germinação e influenciar o crescimento das plântulas (JAN et al., 2012). Doses baixas de radiação podem estimular o crescimento, alterando a rede de sinalização hormonal, reforçando a capacidade antioxidante das células ou estimulando a divisão celular (ZAKA, 2004). Células de plantas expostas a baixa radiação pode aumentar em volume com paralelo aumento do DNA e quantidades de proteína, possivelmente devido à síntese ou ativação de hormônios de crescimento, ao contrário do que acontece com o uso de doses de radiação mais altas que podem causar danos no DNA das plantas, expressão de genes e parada do ciclo celular durante a divisão das células somáticas (PREUSS & BRITT, 2003).

A radiação gama pode dar origem a radicais livres que podem reagir com diferentes átomos e moléculas dentro da célula (KOVACS & KERESZTES, 2002). Os radicais livres, por sua vez, podem danificar ou modificar vários componentes das células vegetais, afetando a morfologia, anatomia, bioquímica e fisiologia das plantas de acordo com a intensidade da radiação. Parâmetros fotossintéticos, síntese proteica, peroxidação lipídica, atividade enzimática, acumulação de fenol e a atividade meristemática podem ser afetados em plantas geradas a partir de sementes submetidas a radiação gama (KIM et al., 2005).

Nos últimos 50 anos o uso de radiação induzida teve um papel importante no desenvolvimento de espécies de plantas ao redor do mundo. De acordo com os dados de Agência Internacional de Energia Atômica, existem no mundo 3424 espécies mutantes (ULUKAPI et al., 2003), destas, 313 espécies mutantes são produzidas na Índia, 12 destes são espécies vegetais, incluindo apenas uma variedade de berinjela (CHOPRA, 2005). Totalizando, apenas 3% dos vegetais do mundo são oriundos de mutação (MBA, 2013). Como exemplo tem-se, 4 variedades de banana resistentes, variedades de morango com maior tempo de prateleira, variedades de frutas precoces e de menor porte (JAIN et al., 2010). Estudos ainda estão sendo realizados para muitas áreas, como maior eficiência na absorção de água e síntese de nutrientes, redução das perdas pós-colheita e minimizar o uso de pesticidas.

Contudo, fica evidente que criar variabilidade genética por meio da indução de mutação utilizando a radiação gama, é uma alternativa viável para implementação de programas de melhoramento genético de plantas.

Diante o exposto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar radiosensibilidade de sementes de berinjela (*Solanum melongena* L.) à radiação gama com ^{60}Co , estimando a variabilidade genética por meio da caracterização morfoagronômica de plantas oriundas de sementes submetidas a diferentes doses de radiação, possibilitando a determinação de doses mais apropriadas para indução de mutação na cultura.

REFERÊNCIAS

ADAMU, A. K.; ALIYU, H. Morphological effects of sodium azide on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Science World Journal, v. 2, n. 4, 2007.

AGROPECUÁRIO, CENSO. dados preliminares. disponível em:< [http://www. ibge. gov. br/estadosat/perfil. php? sig la= mg#](http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg#)>. Acessado em 02/01/2018, v. 20, 2007.

ARUNA, J.; PRAKASH, M.; KUMAR, B. Sunil. Studies on effect of physical and chemical mutagens on seedling charecters in Brinjal (*Solanum melongena* L.). International Journal of Current Research, v. 3, p. 038-041, 2010.

CHOPRA, V. L. Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. current science-bangalore-, v. 89, n. 2, p. 353, 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo da berinjela (*Solanum melongena* L.). [Rio de Janeiro]: Embrapa Hortaliças, dez. 1998. 26 p. (Instruções Técnicas, n. 15).

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <http://www.faostat.fao.org>,2016.

GONZÁLEZ, Luis Manuel et al. Rendimiento agrícola y calidad interna de los frutos en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) procedentes de semillas irradiadas con rayos X. Alimentaria, n. 339, p. 113-116, 2002.

JAN, Sumira; PARWEEN, Talat; SIDDIQI, T. O. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, v. 20, n. 1, p. 17-39, 2012.

KIM, Jin-Hong, et al. Characterization of metabolic disturbances closely linked to the delayed senescence of *Arabidopsis* leaves after γ irradiation. *Environmental and experimental botany*, 67.2: 363-371, 2009.

KIM, Jin-Hong, et al. Effects of *Planta* gamma-irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of Plant Biology*, 2005, 48.1: 47-56.

KOVACS, E.; KERESZTES, A. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*, v. 33, n. 2, p. 199-210, 2002.

MBA, Chikelu. Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*, v. 3, n. 1, p. 200-231, 2013.

MONTEMOR, Kleber A.; SOUZA, Darcler T. Malerbo. Biodiversidade de polinizadores e biologia floral em cultura de berinjela (*Solanum melongena*). 2009.

PREUSS, S. B.; BRITT, A. B. A DNA-damage-induced cell cycle checkpoint in *Arabidopsis*. *Genetics*, 2003, 164.1: 323-334.

REIS, A. et al. Berinjela (*Solanum melongena*). Embrapa Hortaliças Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Beringela/Beringela_Solanum_melongena_L/index.html>. Acesso em, v. 14, 2007.

RIBEIRO, C. S. C. Berinjela (*Solanum melongena* L.). Embrapa Hortaliças, Sistemas de Produção, v. 3, 2007.

RIBEIRO, CS da C.; BRUNE, S.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Cultivo da berinjela (*Solanum melongena* L.). Embrapa Hortaliças-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E), 1998.

RIBEIRO, Lucia Regina; SALVADORI, Daisy Maria Fávero; MARQUES, Edmundo Kanan. Mutagênese ambiental. Canoas: ed. ULBRA, 2003.

ULUKAPI, K.; ÖZDEMIR, Buse; ONUS, A. Naci. Determination of proper gamma radiation dose in mutation breeding in eggplant (*Solanum melongena* L.). In: Proceedings of the 4th International Conference on Agricultural Science, Biotechnology, Food and Animal Science (ABIFA'15). p. 22-24.

ZAKA, R.; CHENAL, C.; MISSET, M. T. Effects of low doses of short-term gamma irradiation on growth and development through two generations of *Pisum sativum*. Science of the total environment, 320.2: 121-129, 2004.

ARTIGO I

Indução de variabilidade genética em berinjela usando radiação gama ^{60}Co

RESUMO

No século XVI, os portugueses trouxeram a Berinjela para o Brasil a partir daí o mercado tem expandido sua produção, atualmente dominada por híbridos. O sucesso de um programa de melhoramento baseado em hibridação depende da variabilidade genética disponível para explorá-la por meio da seleção. Uma forma interessante de gerar variabilidade, é a utilização de agentes mutagênicos. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo, induzir variabilidade genética em berinjela usando radiação gama ^{60}Co e realizar a caracterização morfoagronômica dos mutantes obtidos. Sementes do genótipo de berinjela (BGH 2404), foram submetidas a radiação gama de Cobalto-60 (^{60}Co), nas doses de 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gray. Após a radiação, as sementes foram semeadas em bandejas de poliestireno de 200 células utilizando-se substrato comercial PlantMax. Foram avaliados 16 caracteres quantitativos e 18 caracteres qualitativos, referentes à porte, inflorescência e fruto, com base na lista de descritores de berinjela sugerido pelo Instituto Internacional de Recursos Genéticos de Plantas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, consistindo de sete tratamentos (doses de radiação) e 10 repetições. Os dados qualitativos foi realizado porcentagem de coincidência. Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância pelo teste F em nível de 5% de significância e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância. De acordo com os resultados obtidos conclui-se que a radiação gama com ^{60}Co foi responsável por alterações morfológicas na maioria das características quantitativas e qualitativas analisadas, indicando a possibilidade da ocorrência de mutações nos indivíduos avaliados. Exceto, a exposição das sementes à radiação gama na dose de 800 Gy, causou efeitos deletérios, fazendo com que as sementes não germinassem. Diante dos resultados obtidos, indica-se a dose de radiação de 25 Gy, para obtenção de variabilidade genética em berinjela. Os efeitos da radiação gama sobre sementes de *Solanun melongena* L., não segue um padrão de variação de acordo com as doses utilizadas.

Palavras- chave: diversidade genética, radiação ionizante, *solanum*.

ARTICLE I

Induction of genetic variability in eggplant using ^{60}Co gamma radiation

ABSTRACT

In the sixteenth century, the Portuguese brought the Berinjela to Brazil from there the market has expanded its production, currently dominated by hybrids. The success of a breeding program based on hybridization depends on the genetic variability available to exploit it through selection. An interesting way to generate variability is the use of mutagenic agents. In this context, the present work aims to induce genetic variability in eggplant using ^{60}Co gamma radiation and perform the morphoagronomic characterization of the mutants obtained. Eggplant genotype seeds (BGH 2404) were subjected to gamma radiation of Cobalt-60 (^{60}Co) at doses of 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gray. After irradiation, the seeds were seeded in 200 cell polystyrene trays using commercial PlantMax substrate. Sixteen quantitative characters and 18 qualitative characters were evaluated, regarding size, inflorescence and fruit, based on the list of eggplant descriptors suggested by the International Institute of Plant Genetic Resources. The experimental design was completely randomized, consisting of seven treatments (radiation doses) and 10 replicates. The qualitative data was performed coincidence percentage. The quantitative data were submitted to analysis of variance by the F test at the 5% level of significance and the means were compared by the Dunnett test at 5% significance. According to the results, it was concluded that the gamma radiation with ^{60}Co was responsible for morphological changes in most of the quantitative and qualitative characteristics analyzed, indicating the possibility of occurrence of mutations in the evaluated individuals. Except, the exposure of seeds to gamma radiation at a dose of 800 Gy caused deleterious effects, so that the seeds did not germinate. Considering the obtained results, the radiation dose of 25 Gy is indicated to obtain genetic variability in eggplant. The effects of gamma radiation on *Solanum melongena* L. seeds does not follow a pattern of variation according to the doses used.

Keywords: genetic diversity, ionizing radiation, solanum.

1. INTRODUÇÃO

A Berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma solanácea, arbustiva, anual, atualmente cultivada por todo o globo, originária das zonas tropicais da China e Índia, foi introduzida pelos árabes na Europa, incluindo Portugal, durante a Idade Média (ARAMENDIZ et al., 2007). No século XVI, os portugueses, por sua vez, a trouxeram para o Brasil.

O fruto da berinjela contém nutrientes, como fenóis, proteínas, carboidratos, substâncias minerais, além de vitamina B e C, e ácido desidroascórbico (SAN JOSÉ et al., 2013; AYAZ et al., 2015), todos benéficos para saúde humana. Dietas a base de berinjela devido ao seu alto teor de fibras e baixo teor de carboidratos solúveis, são recomendadas por programas internacionais de controle de diabetes tipo 2 e obesidade (KWON et al., 2008), sendo um fruto considerado de grande importância econômica e nutricional, para a população (RUBATZKY & YAMAGUCHI, 1997).

O mercado brasileiro tem expandido sua produção com a utilização de híbridos, que para a maioria das características de interesse apresentam-se, de maneira geral, mais estáveis e mais produtivos, tolerantes às doenças e pragas, e com melhor qualidade dos frutos, além de maior agregação de valor à semente (GIORDANO et al., 2003).

O sucesso de um programa de melhoramento baseado em hibridação depende da informação sobre a diversidade genética disponível, e da manutenção da mesma. O conhecimento acerca da diversidade proporciona uma compreensão da variabilidade disponível para seleção e como explorá-la, caso exaurida, como a aplicação de técnicas com o intuito de criar variabilidade, por meio da utilização de agentes mutagênicos como forma de induzir mutações (DHUMAL & BOLBHAT, 2012).

A mutação é o fenômeno genético que possibilita o surgimento de novos fenótipos que não estão disponíveis na natureza ou foram perdidas durante o processo evolutivo da espécie. Com a ocorrência de mutação, os cromossomos são quebrados e/ou os genes são alterados (NOVAK & BRUNNER, 1992; ULUKAPI et al., 2015).

O primeiro a propor o termo mutação, foi Hugo De Vries (1901), através de estudos e observações em (*Oenothera lamarckiana*), uma planta campestre de pétalas amarelas da família das Enoteraceae demonstrando a ocorrência de mudanças hereditárias que refletiam em alterações morfológicas, as quais ele denominou de mutações. Posteriormente, surgiu a ideia de se tentar obter mutantes artificiais (ANDRADE, 1973)

MBA et al. (2012a) sugeriram que, além de estratégias de Melhoramento que envolvam a incorporação acrescida de materiais genéticos não adaptados, incluindo variedades autóctones e parentes selvagens, na melhoria da cultura, também podem ser induzidas mutações em materiais paternos como meios para gerar novos alelos de genes que controlam os traços desejados para as variedades das culturas de interesse.

Os nucleotídeos do ácido desoxirribonucleico (DNA) formam a unidade básica de hereditariedade, o gene. As mudanças sutis nas seqüências de DNA são as mais úteis para a melhorar a cultura, as alterações mais grosseiras a nível cromossômico e celular podem causar níveis de inaptidão e até letalidade do genótipo. Uma maneira de classificar mutações no nível da seqüência de DNA é categorizar a mutação com base na forma como a modificação afeta a capacidade do gene de sintetizar a proteína a qual é responsável. Em geral, as mutações importantes para o melhoramento das culturas, geralmente, envolvem uma única base e podem ou não afetar a síntese protéica (MBA, 2013).

Segundo ULUKAPI, NASIRCILAR e AYSE (2015), os mutagênicos físicos apresentam algumas vantagens em relação aos químicos, não sendo necessário a lavagem do material para remoção dos resíduos deixados no caso dos mutagênicos químicos, após o tratamento do material. Além disso, os mutagênicos químicos são produtos muito perigosos e trabalhosos, já que o material deve ser descartado com muito cuidado e os laboratórios devem estar sujeitos a desintoxicação em cada detalhe.

As radiações ionizantes constituem os mutagênicos físicos mais utilizados (MBA et al., 2012a). Estes são partes do espectro eletromagnético (EM) que, devido aos seus níveis de energia relativamente altos, são capazes de desalojar os elétrons das órbitas nucleares dos átomos sobre os quais eles influenciam. Os átomos impactados, portanto, se tornam íons, daí o termo, radiação ionizante. Os componentes ionizantes do EM incluem radiação cósmica, gama (γ) e raios-X. A luz ultravioleta (UV), embora não ionizante, é capaz de algum nível de penetrabilidade tecidual e também é utilizada na indução de mutações (MBA et al., 2012a; MBA et al., 2012b)

CHOPRA, (2005) afirma que a sensibilidade das plantas a irradiação, varia de acordo com espécies, cultivares e as condições fisiológicas da planta. Para várias espécies agrícolas há protocolos bem estabelecidos de indução de mutação. Todos visam proporcionar a dose ideal da radiação ou agente mutagênico para maximizar a obtenção de novos mutantes e a taxa de sobrevivência de indivíduos após efeitos deletérios do tratamento. PREDIERI, (2001) cita que esse ponto é chamado DL50, ou seja, dose letal de 50%, em que 50% dos indivíduos morreram após o tratamento. De acordo com o autor,

essa determinação deve ser o ponto de partida, para que a partir daí se possa definir as doses a serem testadas.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo, induzir variabilidade genética em berinjela usando radiação gama ^{60}Co e realizar a caracterização morfoagronômica dos mutantes obtidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de um acesso de berinjela (*Solanum melongena* L.) do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH 2404). As sementes foram adicionadas em potes de PVC, com capacidade de 80 cm³, os mesmos foram identificados de acordo com o genótipo e a dose de radiação ionizante que deveriam ser submetidos. Em seguida, foram transportadas em caixas de isopor para o Laboratório de Energia Nuclear Aplicada do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foram submetidas a diferentes doses de radiação ionizante com Cobalto-60 (^{60}Co), (0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gy (Gray)), em um irradiador GAMMACELL 220 EXCEL (taxa de dosagem de 3497 kGy/h).

As sementes irradiadas foram semeadas em bandeja de poliestireno de 128 células, utilizando substrato comercial PlantMax[®], duas sementes por célula, com posterior desbaste. Após a semeadura as bandejas foram levadas a casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA-UFPB), Areia – PB.

Quando as plântulas apresentaram quatro folhas definitivas foi realizado o transplante para vasos de plástico de 1,8 litros, contendo o mesmo substrato. Foram realizados tratos culturais de acordo com as necessidades da cultura.

Foram avaliados 18 caracteres quantitativos e 15 caracteres qualitativos, referentes à porte, inflorescência e fruto. A caracterização morfoagronômica foi realizada com base na lista de descritores de berinjela sugerido pelo Conselho Internacional de Recursos Genéticos de Plantas - IBPGR (1990), as dimensões foram obtidas com o auxílio de uma régua e um paquímetro digital (Paquímetro digital Leetools[®]), já para os dados referentes a peso, foi utilizada uma balança (Bel engineering[®]).

A caracterização do porte das plantas foi realizada quando o primeiro fruto do primeiro ciclo de frutificação apresentou-se maduro. As características quantitativas avaliadas foram: comprimento da folha; largura da folha; comprimento de pecíolo.

Os caracteres relacionados as flores foram coletados quando as plantas apresentaram 50% das flores do primeiro ciclo de floração, totalmente abertas. Foi utilizado os descritores quantitativos: comprimento da corola; comprimento do estilete; comprimento da antera; número de antera; número de estilete.

Os dados de caracterização dos frutos, foram coletados no momento de maturação de 50% dos frutos referentes ao primeiro ciclo de frutificação. Os descritores quantitativos foram: comprimento do fruto; maior diâmetro; menor diâmetro; peso do fruto; espessura do pericarpo; comprimento da placenta; número de sementes; comprimento das sementes.

As características qualitativas relacionadas a porte, flores e frutos, encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Características qualitativas avaliadas em *Solanum melongena* L. CCA/UFPB. Areia, 2017.

| Parte da planta | Característica | Classe |
|------------------------|------------------------------|---|
| Porte | Hábito de crescimento | Ereto, intermediário e prostrado. |
| | Pubescência da folha | Muito pouco, pouco, intermediário e muito. |
| | Pubescência do caule | Muito pouco, pouco, intermediário e muito. |
| | Cor da folha | Verde claro, verde e verde escuro. |
| Flor | Cor do estilete | Branco, roxo claro, roxo e roxo escuro. |
| | Cor da antera | Branco, amarelo, marrom. |
| | Cor da corola | Roxo mais claro, roxo claro, roxo, roxo escuro. |
| Fruto | Razão | Mais largo que longo, ligeiramente mais longo que largo, duas vezes longo, três vezes longo, muito longo. |
| | Forma do fruto | Parte superior 1/4 da base, Parte superior 1/2 da base, Parte superior 3/4 da base. |
| | Forma do ápice do fruto | Arredondado, depressivo. |
| | Cor do fruto | Verde, branco, marrom, lilás acinzentado, roxo, roxo escuro, preto. |
| | Distribuição da cor do fruto | Uniforme, manchado, listrado. |
| | Cor da semente | Branco, amarelo claro, amarelo acinzentado, marrom, marrom escuro, preto. |
| | Densidade do endocarpo | Muito solto, solto, densidade media, denso, muito denso. |
| | Cor do pedicelo | Verde claro, verde, verde escuro. |

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sete tratamentos e 10 repetições. Os dados qualitativos foi realizado porcentagem de coincidência, com resultados apresentados em gráficos. Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância pelo teste F em nível de 5% e 1% de significância e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Foram calculados parâmetros genéticos com base na análise genética de médias, variâncias e herdabilidade. As análises

estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional Genes (CRUZ, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para caracteres individuais e os parâmetros genéticos de variâncias genotípica (σ^2_G) e ambiental (σ^2_E), herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação experimental em porcentagem (CV%) e a relação entre coeficiente de variação genético e coeficiente de variação ambiental (CVg/CVe) para as características de porte, flores e frutos de plantas de *Solanum melongena* L., encontram-se na Tabela 2, exceto para altura de planta e diâmetro da copa, cuja a unidade experimental composta por um indivíduo, impossibilitando repetições.

Ao analisar os dados, verifica-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos para 11 dos 16 caracteres analisados, dentre eles, comprimento da folha, largura da folha, comprimento do pecíolo, comprimento da corola, comprimento do estilete, comprimento da antera, número de antera, menor diâmetro do fruto, espessura do pericarpo, número de sementes, e comprimento das sementes. Sugere-se influência da radiação gama de ^{60}Co na variabilidade genética destas características, que pode ser atribuído a possíveis eventos mutacionais causados pela radiação. XI-OU et al. (2017), analisando caracteres morfológicos semelhantes na geração M2 de berinjela irradiadas, observou variabilidade, atribuída pelo autor à mutações genicas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância: quadrados médios (QM), variância ambiental (σ^2_E), variância genotípica (σ^2_G), herdabilidade [h^2 (%)], relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) e coeficiente de variação (CV%) para 16 variáveis quantitativas de, planta, flor e fruto de berinjela (*Solanum melongena* L.). CCA/UFPB. Areia, 2017.

| FV | Quadrados médios | | | | | |
|--------------------|------------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| | CFO(cm) | LF(cm) | CPE(cm) | CC(cm) | CE(cm) | CA (cm) |
| Tratamentos | 27,03** | 20,54** | 15,90** | 0,97* | 0,18* | 0,02** |
| σ^2_E | 1,854 | 1,656 | 2,326 | 0,212 | 0,039 | 0,002 |
| σ^2_G | 7,156 | 5,191 | 2,974 | 0,112 | 0,022 | 0,007 |
| h^2 (%) | 79,42 | 75,80 | 56,11 | 34,65 | 36,40 | 71,52 |
| CVg/CVe | 1,13 | 1,02 | 0,65 | 0,42 | 0,43 | 0,91 |
| CV (%) | 8,56 | 10,66 | 18,11 | 18,74 | 37,70 | 12,26 |

| FV | Quadrados médios | | | | |
|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|
| | NA(un) | NE(un) | CFR(cm) | MADF(cm) | MEDF(cm) |
| Tratamentos | 1,63** | 1,88 ^{NS} | 9,76 ^{NS} | 3,22 ^{NS} | 1,85* |
| σ^2_E | 0,252 | 0,620 | 2,417 | 0,734 | 0,397 |
| σ^2_G | 0,293 | 0,007 | 0,839 | 0,339 | 0,220 |
| h^2 (%) | 53,71 | 1,26 | 25,76 | 31,60 | 35,64 |
| CVg/CVe | 0,62 | 0,06 | 0,34 | 0,39 | 0,42 |
| CV (%) | 13,69 | 33,25 | 35,70 | 29,37 | 31,96 |

| FV | Quadrados médios | | | | |
|--------------------|-----------------------|---------|--------------------|---------|--------|
| | PF(cm) | EPE(cm) | CPL(cm) | NºS(un) | CS(cm) |
| Tratamentos | 4652,27 ^{NS} | 0,18* | 5,90 ^{NS} | 1,94** | 0,03* |
| σ^2_E | 1420,979 | 0,037 | 1,400 | 0,374 | 0,006 |
| σ^2_G | 129,779 | 0,024 | 0,565 | 0,273 | 0,003 |
| h^2 (%) | 8,36 | 39,57 | 28,77 | 42,23 | 38,21 |
| CVg/CVe | 0,17 | 0,46 | 0,36 | 0,49 | 0,45 |
| CV (%) | 54,60 | 70,74 | 33,92 | 15,17 | 46,79 |

CFO (cm) - comprimento da folha; LF (cm) - largura da folha; CPE (cm) - comprimento do pecíolo; CC (cm) - comprimento da corola; CE (cm) - comprimento do estilete; CA (cm) - comprimento da antera; NA (cm) - número de antera; NE (un) - número de estilete; CFR (cm) - comprimento do fruto; MADF (cm) - maior diâmetro do fruto; MEDF (cm) - menor diâmetro do fruto; PF (kg) - peso do fruto; - EPE (cm) - espessura do pericarpo; CPL (cm) comprimento da placenta; NºS (un) - número de sementes; CS (cm) - comprimento das sementes.

ns, * e ** = Não significativo, significativo a 5% de probabilidade e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A ausência de significância para os caracteres número de estilete, comprimento do fruto, maior diâmetro do fruto, peso do fruto e comprimento da placenta, pode indicar não haver influência mutagênica da radiação gama na expressão desses caracteres ou até mesmo a não ocorrência de mutação para esses caracteres dada a aleatoriedade do evento mutacional. Porém, esse evento não está descartado pois KOORNNEEF, (2002) ressalta

que as mutações se comportam como recessivas, o que implica que o fenótipo mutante não é observado na planta em que as mutações ocorreram (M1).

Por se tratar da avaliação da geração M1, as alterações morfológicas observadas, não necessariamente estão atribuídas a mutações gênicas, podendo estar relacionadas a alterações fisiológicas. Sendo necessário sua caracterização em gerações seguintes com controle de polinização, para a certificação da ocorrência de mutação genica (KOORNNEEF, 2002).

Outra hipótese do que poderia ter ocorrido é o fato de que quando vegetais são expostos a radiação, pode ocorrer a radioestimulação, descrita por LUCKEY, (1980). Segundo esse autor, esse fenômeno faz parte de uma área de estudo denominada "Hormesis", definida como sendo a estimulação positiva de um sistema biológico, por quantidades subdanosas de qualquer agente físico, químico ou biológico. Com doses baixas, as alterações produzidas não chegariam a danificar o organismo. Assim, algumas funções passariam a ter maior importância, como os mecanismos de reparo e defesa, como é o caso da ativação dos sistemas enzimáticos, alterações no conteúdo de hormônio e produção de toxinas em pequenas quantidades.

O fenômeno da radioestimulação foi citado por (AREF, 2016) que ao expor sementes de *Datura innoxia* L., as doses de (0, 5, 10, 20, 40, 60 e 80 Gy) de ^{60}Co , observou que baixas doses de radiação, partindo da testemunha até a dose de 20 (Gy), foram responsáveis por maiores taxas de germinação e ativação de mecanismo de reparação, levando a um melhor nível de imunidade do sistema biológico envolvido, um fenômeno que ele se referiu como causalidade de respostas biológicas positivas a baixas doses de radiação. Este efeito também foi observado em muitas espécies, mais recentemente, em *Pterocarpus santalinu*, sendo que a radioestimulação não necessariamente está associada as doses testadas. Os efeitos da radiação atuam de diferentes formas dependendo principalmente da espécie submetida e das características avaliadas, portanto, a dose considerada baixa para uma determinada espécie pode não ser para outras, desse modo, as características morfológicas serão atingidas de diferentes formas e intensidades (AREF, 2016).

berinjela, inibindo sua germinação. Geralmente esse ponto é chamado DL50, ou seja, dose letal de 50%, em que 50% ou mais dos indivíduos não germinam ou morrem logo após a germinação. ULUKAPI, NASIRCILAR e AYSE (2015), também constataram diminuição da germinação de sementes de berinjela com o aumento da dose de radiação gama com ^{60}Co . CAVALCANTE, (2015), também observou que a radiação

gama ^{60}Co na dose de 800 Gy, foi extremamente danosa as sementes de pimenteiras biquinho (*Capsicum chinense* Jacq.), impedindo completamente sua germinação, quando cultivadas *in vitro* ou *ex vitro*. A inibição da germinação de sementes cebola por altas doses de radiação, foi atribuída à inibição da divisão mitótica nas zonas meristemáticas das sementes (AMJAD, 2002). Esses resultados corroboram os observados neste trabalho.

A letalidade, assim como outros efeitos causados por altas doses de radiação são indesejáveis dentro de um programa de melhoramento por mutação, pois resultam em múltiplas “transformações” e outros efeitos drásticos, reduzindo os potenciais de rendimento dos mutantes. Por isso a importância de encontrar as doses de maior eficiência mutagênica para cada cultura sendo possível a utilização de doses que reproduzam as maiores taxas de mutação com menos danos ligados ao efeito deletério dos mutagênicos (NIKAM et al., 2015).

Os coeficientes de variação experimental (CV%) oscilaram entre de 8,56% a 70,74%, resultados semelhantes foram obtidos por PESSOA et al. (2016) e SILVA et al. (2011), ambos também encontraram ampla variação nos valores de CV para essas características, trabalhando com pimenteira ornamental. Os autores indicam que os valores de CV variam de acordo com a característica, com o acesso, a espécie avaliada, o número de repetições, o delineamento experimental, entre outros aspectos importantes, já que esses fatores podem ocasionar diferenças na dispersão entre os conjuntos de dados.

Apesar da ideia de classificação do CV por Pimentel-Gomes ser amplamente utilizada, GARCIA, (1989) e SCAPIM et al. (1995) argumentam que esta classificação é muito abrangente e não leva em consideração as particularidades da cultura estudada e, principalmente, não faz distinção entre a natureza da característica avaliada. Desta forma para avaliar a precisão por meio dos CVs, é necessário realizar adaptações na metodologia de classificação.

Os resultados das variâncias genotípicas (σ^2_G) (Tabela 2) reflete as diferenças genéticas entre os indivíduos, podendo ser decomposta em variância genética aditiva (σ^2_a), variância genética devido aos efeitos de dominância (σ^2_d) e variância genética epistática (σ^2_i), devidos aos efeitos de interações entre genes (CRUZ, 2012).

Valores de herdabilidade acima de 70% foram observados para as características comprimento da folha (79,42%), largura da folha (75,80%) e comprimento da antera (71,52%) (Tabela 2). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por PESSOA et al. (2016), para as mesmas características em *Capsicum annuum* L. Considerando a

herdabilidade como a proporção da variabilidade total que está relacionada ao genótipo, estes resultados sugerem que a variabilidade encontrada em maior proporção é devido à variação genética, o que neste caso, pode auxiliar na identificação de alterações mutagênicas causadas pela exposição à radiação e, mediante a seleção desse material genético é possível avanços significativos para estes caracteres. Altos valores de herdabilidade para os caracteres acima mencionados sugeriram maior segurança na seleção com base na avaliação fenotípica dos indivíduos (ROYCHOWDHURY et al., 2011).

Os demais caracteres apresentaram valores de herdabilidade inferiores a 70% o que indica uma grande influência dos fatores ambientais para estes caracteres.

Os índices da relação entre coeficiente de variação genética e coeficiente de variação ambiental (CV_g/CV_e), assim como os dados de herdabilidade (h^2), constituem medidas de influência do ambiente sobre a expressão dos fenótipos. A relação (CV_g/CV_e), para as características comprimento da folha e largura da folha foram de 1,13 e 1,02, respectivamente. Esses dados juntamente com valores altos de herdabilidade (h^2) e da variância genética (σ^2_G) (Tabela 2), indicam para estas características, uma maior contribuição da variação genética existente na variação total apresentada pelos materiais. CRUZ e CARNEIRO (2003), reportam que a razão CV_g/CV_e pode ser empregada como um índice de indicativo do grau de facilidade de seleção das progênies para cada caráter, quando essa razão atinge valores próximos ou maiores que 1.

Para as demais características avaliadas a relação CV_g/CV_e alternaram entre 0,06 e 0,65, os valores observados são abaixo da unidade, indicando alta influência ambiental nestas, situação pouco favorável a seleção (CRUZ & REGAZZI, 2012), indicando que a seleção deverá ser realizada com a utilização de metodologias genéticos-estatísticos apropriadas.

Analisando os dados na Tabela 3, Através dos resultados obtidos pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade verifica-se que houve grande influência das doses de radiação na expressão de algumas características em relação a dose 0. Maior diversidade foi observada para as características, altura de planta, e diâmetro da copa.

Para altura da planta (Figura 1), dos 51 indivíduos submetidos as diferentes doses, 62% apresentaram porte maior, 20% porte menor e apenas 18% das plantas (P7, P12, P21, P24, P30, P43, P49 e P50), não diferiram da testemunha.

Para largura da planta, 74% apresentaram largura maior, 14% largura menor e apenas 12% das plantas (P3, P43, P47, P48, P49 e P50), não diferiram da testemunha

(Figura 1). ARISHA et al, (2015) cita a característica altura de planta como uma das mais influenciadas pela mutação na geração M1, que nessa geração apenas as mutações de caráter dominante podem ser identificadas por meio de traços fenotípicos, não sendo possível identificar mutações em caráter recessivo. Na geração M2 é que a mutação irá segregar para criar homocigotos para alelos recessivos ou dominantes (PAGE & GROSSNIKLAUS, 2002).

A planta P3 (25 Gy) apresentou diferenças significativas com valores inferiores quando comparados a testemunha, para as características comprimento da folha, largura da folha e número de sementes. O mesmo comportamento foi verificado para a planta P5 (25 Gy), que além das características comprimento e largura da folha e número de sementes, também apresentou diferença significativa para comprimento do pecíolo. Essas alterações possivelmente são derivadas de mutações nestas plantas.

Já a planta P4 (25 Gy), diferiu na característica comprimento do estilete e a planta P7 (25 Gy), no comprimento da antera, ambas apresentaram valores superiores aos da testemunha. Também houve diferença significativa com valores superiores a testemunha nas plantas P18 (50Gy) e P46 (400 Gy), quanto ao comprimento da antera.

A planta P14 (50 Gy) apresentou diferença significativa com valor superior a testemunha para a característica número de antera e com valor inferior a testemunha para a característica número de sementes. Comportamento semelhante foi encontrado na planta P31 (200 Gy) em relação ao número de anteras, apresentando o maior valor para essa característica. A planta P37 apresentou mudanças em relação a característica comprimento da semente.

Portanto, pode-se constatar que a eficiência mutagênica diminuiu com o aumento das doses da radiação gama promovida pelo ^{60}Co , para boa parte das características avaliadas, pois as plantas tratadas com as menores doses P3 (25 Gy), P5 (25 Gy), P4 (25 Gy), P7 (25 Gy), P18 (50 Gy) e P15 (50 Gy), foram as que diferiram para um maior número de características morfológicas (Tabela 3). Esses resultados possivelmente estão relacionados ao fato da menor radiação gama ter causado menos danos, permitindo que os genótipos se desenvolvessem e apresentassem fenótipos com as mutações induzidas. Estes resultados assemelham-se com os encontrados por SIKDER et al, (2013) trabalhando com tomateiro oriundo de sementes irradiadas com ^{60}Co .

Observa-se, portanto, que o efeito de radiação gama para determinadas características, não segue um padrão de variação regular de acordo com as doses utilizadas, por exemplo, para as características altura de planta e largura de planta, os

valores encontrados foram superiores em algumas doses e inferiores em outras, assim como dentro da mesma dose de radiação para mesma característica. Esse comportamento aleatório também é observada quando avaliamos os efeitos da radiação gama sobre diferentes características, algumas são influenciadas no sentido de estímulo positivo enquanto que outras o efeito é inibitório, dentro da mesma dose ou em doses diferentes. AREF et al, (2016), também reportou resultados semelhantes quando trabalhando com (*Datura innoxia* L.), onde doses menores de radiação causaram um aumento em algumas características fisiológicas e diminuição em outras.

Tabela 3. Médias de características quantitativas de 51 plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.), submetidas a diferentes doses de de radiação gamma (⁶⁰Co). CCA/UFPB. Areia, 2017.

| Planta | AP | LP | CFO | LF | CPE | CE | CA | NA | NS | CS |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 01 (25Gy) | 74,00 * | 58,00 * | 30,00 ^{ns} | 22,16 ^{ns} | 20,00 ^{ns} | 0,59 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,32 ^{ns} |
| 02 (25Gy) | 77,00 * | 62,50 * | 30,33 ^{ns} | 15,66 ^{ns} | 19,16 ^{ns} | 0,78 ^{ns} | 0,54 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,28 ^{ns} |
| 03 (25Gy) | 24,50 * | 51,50 ^{ns} | 23,83 * | 14,00 * | 13,16 ^{ns} | 1,14 ^{ns} | 0,83 ^{ns} | 6,66 ^{ns} | 6,33 * | 0,17 ^{ns} |
| 04 (25Gy) | 68,00 * | 57,00 * | 29,33 ^{ns} | 21,50 ^{ns} | 15,33 ^{ns} | 1,35 * | 0,81 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,28 ^{ns} |
| 05 (25Gy) | 67,00 * | 45,00 * | 20,66 * | 14,00 * | 9,50 * | 0,69 ^{ns} | 0,67 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 6,33 * | 0,29 ^{ns} |
| 06 (25Gy) | 56,00 * | 61,50 * | 28,50 ^{ns} | 21,83 ^{ns} | 11,33 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,83 ^{ns} | 6,66 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,24 ^{ns} |
| 07 (25Gy) | 65,00 ^{ns} | 55,50 * | 29,16 ^{ns} | 25,00 ^{ns} | 13,16 ^{ns} | 0,88 ^{ns} | 0,92 * | 6,33 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,62 ^{ns} |
| 08 (25Gy) | 73,00 * | 35,50 * | 27,16 ^{ns} | 20,33 ^{ns} | 11,50 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,76 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,33 ^{ns} |
| 09 (25Gy) | 69,00 * | 56,50 * | 26,00 ^{ns} | 22,00 ^{ns} | 14,66 ^{ns} | 0,74 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| 10 (25Gy) | 68,00 * | 47,50 * | 30,00 ^{ns} | 21,00 ^{ns} | 17,33 ^{ns} | 1,08 ^{ns} | 0,86 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 8,33 ^{ns} | 0,20 ^{ns} |
| 11 (50Gy) | 72,00 * | 67,00 * | 30,16 ^{ns} | 22,50 ^{ns} | 15,50 ^{ns} | 1,18 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 8,33 ^{ns} | 0,23 ^{ns} |
| 12 (50Gy) | 65,00 ^{ns} | 59,00 * | 28,00 ^{ns} | 21,33 ^{ns} | 18,66 ^{ns} | 0,45 ^{ns} | 0,72 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| 13 (50Gy) | 80,50 * | 55,00 * | 28,50 ^{ns} | 20,66 ^{ns} | 17,50 ^{ns} | 0,91 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 6,33 * | 0,18 ^{ns} |
| 14 (50Gy) | 69,50 * | 61,50 * | 29,16 ^{ns} | 22,50 ^{ns} | 17,83 ^{ns} | 1,27 ^{ns} | 0,77 ^{ns} | 8,66 * | 6,33 * | 0,32 ^{ns} |
| 15 (50Gy) | 77,00 * | 57,00 * | 28,50 ^{ns} | 21,33 ^{ns} | 12,00 ^{ns} | 0,76 ^{ns} | 0,80 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 6,33 * | 0,22 ^{ns} |
| 16 (50Gy) | 84,00 * | 59,00 * | 27,50 ^{ns} | 20,16 ^{ns} | 17,66 ^{ns} | 0,89 ^{ns} | 0,88 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,28 ^{ns} |
| 17 (50Gy) | 72,00 * | 60,00 * | 29,50 ^{ns} | 21,16 ^{ns} | 16,50 ^{ns} | 0,66 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 6,33 * | 0,36 ^{ns} |

AP (cm) – altura da planta; LP (cm) – largura da planta; CFO(cm) – comprimento da folha; LF (cm) – largura da folha; CPE (cm) – comprimento de pecíolo; CE (cm) – comprimento do estilete; CA (cm) – comprimento da antera; NA (un) – número de antera; NS (un) – número de semente; CS (cm) - comprimento da semente.

* Significativo, médias diferem estatisticamente da testemunha e ^{ns} não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Continuação da tabela 3.

| Planta | AP | LP | CFO | LF | CP | CE | CA | NA | NS | CS |
|---------------|---------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 18 (50Gy) | 60,00 * | 65,00 * | 29,33 ^{ns} | 21,33 ^{ns} | 16,30 ^{ns} | 1,28 ^{ns} | 0,90 * | 7,33 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,31 ^{ns} |
| 19 (50Gy) | 39,00 * | 65,00 * | 29,16 ^{ns} | 19,50 ^{ns} | 12,50 ^{ns} | 1,07 ^{ns} | 0,58 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 8,33 ^{ns} | 0,35 ^{ns} |
| 20 (50Gy) | 61,00 * | 67,50 * | 24,50 ^{ns} | 17,66 ^{ns} | 15,33 ^{ns} | 1,03 ^{ns} | 0,77 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,46 ^{ns} |
| 21 (100Gy) | 66,00 ^{ns} | 57,00 * | 28,66 ^{ns} | 20,16 ^{ns} | 12,16 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,75 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,19 ^{ns} |
| 22 (100Gy) | 74,00 * | 74,50 * | 30,33 ^{ns} | 23,33 ^{ns} | 19,16 ^{ns} | 0,89 ^{ns} | 0,66 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 9,00 ^{ns} | 0,34 ^{ns} |
| 23 (100Gy) | 82,00 * | 68,00 * | 28,00 ^{ns} | 18,66 ^{ns} | 13,83 ^{ns} | 1,02 ^{ns} | 0,69 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,43 ^{ns} |
| 24 (100Gy) | 62,00 ^{ns} | 53,00 * | 28,66 ^{ns} | 22,66 ^{ns} | 13,00 ^{ns} | 1,18 ^{ns} | 0,79 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 6,33 * | 0,30 ^{ns} |
| 25 (100Gy) | 80,50 * | 63,50 * | 31,33 ^{ns} | 22,66 ^{ns} | 15,33 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 5,33 * | 0,54 ^{ns} |
| 26 (100Gy) | 74,00 * | 62,00 * | 29,16 ^{ns} | 21,83 ^{ns} | 15,50 ^{ns} | 0,78 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 6,66 * | 0,30 ^{ns} |
| 27(100Gy) | 81,00 * | 61,00 * | 29,83 ^{ns} | 21,16 ^{ns} | 14,50 ^{ns} | 1,32 ^{ns} | 0,80 ^{ns} | 6,66 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,27 ^{ns} |
| 28(100Gy) | 71,00 * | 47,00 * | 26,16 ^{ns} | 24,16 ^{ns} | 11,16 ^{ns} | 0,83 ^{ns} | 0,55 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 5,66 * | 0,26 ^{ns} |
| 29(100Gy) | 62,00 ^{ns} | 62,00 * | 29,16 ^{ns} | 21,33 ^{ns} | 15,16 ^{ns} | 1,20 ^{ns} | 0,85 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 7,33 ^{ns} | 0,12 ^{ns} |
| 30 (100Gy) | 66,00 ^{ns} | 60,00 * | 33,33 ^{ns} | 25,66 ^{ns} | 12,83 ^{ns} | 0,97 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 8,00 ^{ns} | 0,17 ^{ns} |
| 31 (200Gy) | 79,00 * | 37,50 * | 29,16 ^{ns} | 21,00 ^{ns} | 15,33 ^{ns} | 1,20 ^{ns} | 0,76 ^{ns} | 10,00 * | 9,00 ^{ns} | 0,26 ^{ns} |
| 32 (200Gy) | 77,00 * | 60,00 * | 28,00 ^{ns} | 22,33 ^{ns} | 13,83 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,25 ^{ns} |
| 33 (200Gy) | 59,00 * | 57,50 * | 25,16 ^{ns} | 20,66 ^{ns} | 11,33 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,72 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 5,00 * | 0,26 ^{ns} |
| 34(200Gy) | 89,00 * | 65,00 * | 29,16 ^{ns} | 22,83 ^{ns} | 18,00 ^{ns} | 0,67 ^{ns} | 0,72 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,20 ^{ns} |

AP (cm) – altura da planta; LP (cm) – largura da planta; CFO(cm) – comprimento da folha; LF (cm) – largura da folha; CP (cm) – comprimento de pecíolo; CE (cm) – comprimento do estilete; CA (cm) – comprimento da antera; NA (un) – número de antera; NS (un) – número de semente; CS (cm) - comprimento da semente.

* Significativo, médias diferem estatisticamente da testemunha e ^{ns} não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Continuação da tabela 3.

| Planta | AP | LP | CFO | LF | CP | CE | CA | NA | NS | CS |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 35(200Gy) | 71,00 * | 62,00 * | 28,16 ^{ns} | 23,33 ^{ns} | 12,50 ^{ns} | 0,80 ^{ns} | 0,74 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| 36(200Gy) | 75,00 * | 57,50 * | 28,50 ^{ns} | 20,83 ^{ns} | 14,34 ^{ns} | 1,03 ^{ns} | 0,74 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 7,33 ^{ns} | 0,26 ^{ns} |
| 37 (200Gy) | 41,00 * | 59,00 * | 24,33 ^{ns} | 18,66 ^{ns} | 11,16 ^{ns} | 0,55 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,66 * |
| 38(200Gy) | 69,00 * | 61,50 * | 28,50 ^{ns} | 22,66 ^{ns} | 15,16 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 0,79 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,22 ^{ns} |
| 39(200Gy) | 75,00 * | 63,00 * | 29,00 ^{ns} | 23,83 ^{ns} | 14,33 ^{ns} | 0,71 ^{ns} | 0,68 ^{ns} | 6,66 ^{ns} | 5,66 * | 0,36 ^{ns} |
| 40(200Gy) | 68,00 * | 66,00 * | 28,16 ^{ns} | 24,00 ^{ns} | 13,83 ^{ns} | 1,07 ^{ns} | 0,70 ^{ns} | 6,33 ^{ns} | 6,33 * | 0,23 ^{ns} |
| 41(400Gy) | 58,00 * | 59,50 * | 22,50 * | 16,83 ^{ns} | 14,00 ^{ns} | 1,14 ^{ns} | 0,76 ^{ns} | 6,663 ^{ns} | 5,66 * | 0,30 ^{ns} |
| 42(400Gy) | 32,00 * | 25,00 * | 14,83 * | 11,83 * | 11,46 ^{ns} | 1,16 ^{ns} | 0,68 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| 43(400Gy) | 62,00 ^{ns} | 50,50 ^{ns} | 27,50 ^{ns} | 21,16 ^{ns} | 13,59 ^{ns} | 1,31 ^{ns} | 0,83 ^{ns} | 6,66 ^{ns} | 5,66 * | 0,28 ^{ns} |
| 44 (400Gy) | 70,00 * | 53,00 * | 24,66 ^{ns} | 19,16 ^{ns} | 12,02 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,88 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| 45 (400Gy) | 72,00 * | 40,00 * | 25,16 ^{ns} | 19,66 ^{ns} | 16,49 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,50 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 8,33 ^{ns} | 0,21 ^{ns} |
| 46 (400Gy) | 59,00 * | 59,50 * | 27,83 ^{ns} | 23,50 ^{ns} | 12,30 ^{ns} | 0,47 ^{ns} | 0,90 * | 6,33 ^{ns} | 7,66 ^{ns} | 0,31 ^{ns} |
| 47 (400Gy) | 68,00 * | 51,75 ^{ns} | 25,00 ^{ns} | 19,75 ^{ns} | 13,15 ^{ns} | 1,05 ^{ns} | 0,81 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 8,33 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| 48 (400Gy) | 69,00 * | 52,63 ^{ns} | 26,20 ^{ns} | 21,57 ^{ns} | 15,61 ^{ns} | 0,89 ^{ns} | 0,79 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 7,33 ^{ns} | 0,39 ^{ns} |
| 49 (400Gy) | 65,00 ^{ns} | 51,84 ^{ns} | 25,61 ^{ns} | 19,83 ^{ns} | 14,33 ^{ns} | 1,02 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 7,00 ^{ns} | 0,28 ^{ns} |
| 50 (400Gy) | 62,00 ^{ns} | 52,65 ^{ns} | 28,59 ^{ns} | 20,47 ^{ns} | 13,83 ^{ns} | 1,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} | 5,66 ^{ns} | 6,66 ^{ns} | 0,38 ^{ns} |
| 51 (T0) | 64,00 ^{ns} | 50,00 ^{ns} | 30,00 ^{ns} | 22,00 ^{ns} | 16,00 ^{ns} | 0,48 ^{ns} | 0,67 ^{ns} | 6,00 ^{ns} | 9,00 ^{ns} | 0,29 ^{ns} |

AP (cm) – altura da planta; LP (cm) – largura da planta; CFO(cm) – comprimento da folha; LF (cm) – largura da folha; CP (cm) – comprimento de pecíolo; CE (cm) – comprimento do estilete; CA (cm) – comprimento da antera; NA (un) – número de antera; NS (un) – número de semente; CS (cm) - comprimento da semente.

* Significativo, médias diferem estatisticamente da testemunha e ^{ns} não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Demonstração de possíveis ocorrências de eventos mutacionais para características morfológicas quantitativas de (*Solanum melongena* L.) irradiadas com ⁶⁰Co. CCA/UFPB. Areia, 2017.

| Dose/Caracter | AP | LP | CFO | LF | CP | CE | CA | NA | NS | TS |
|---------------|-----------------------------|------------------------------------|------------|------------|--------|--------|---------|---------|-----------------------|---------|
| | P1 - P50 | P1 - P50 (b) | | | | | | | | |
| 25 Gy | (b) exceto P7 (a) | exceto P3 (a) | P3; P5 (b) | P3; P5 (b) | P5 (b) | P4 (b) | P7 (b) | | P3; P5 (b) | |
| | P1 - P50 | | | | | | | | P13; P14: | |
| 50 Gy | (b) exceto P12 (a) | | | | | | P18 (b) | P14 (a) | P15 e P17 (b) | |
| | P1 - P50 (b) | | | | | | | | P24; P25; | |
| 100 Gy | exceto P21; P24; P30 (a) | | | | | | | | P26 e P28 (b) | |
| | | | | | | | | | P33; P39 e P40 (b) | P37 (b) |
| 200 Gy | | | | | | | | P31 (b) | | |
| | P1 - P50 | P1 - P50 (b) | | | | | | | | |
| | (b) exceto | exceto | P41; P42 | | | | | | P41 e P43 | |
| 400 Gy | P43; P49 e P50 (a) | P43; P47; P48; P49 e P50 (a) | (b) | P42 (b) | | | P46 (b) | | (b) | |

AP (cm) – altura da planta; LP (cm) – largura da planta; CFO(cm) – comprimento da folha; LF (cm) – largura da folha; CP (cm) – comprimento de pecíolo; CE (cm) – comprimento do estilete; CA (cm) – comprimento da antera; NA (un) – número de antera; NS (un) – número de semente; CS (cm) - comprimento da semente; TS.

a – não difere estatisticamente da testemunha pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

b – difere estatisticamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

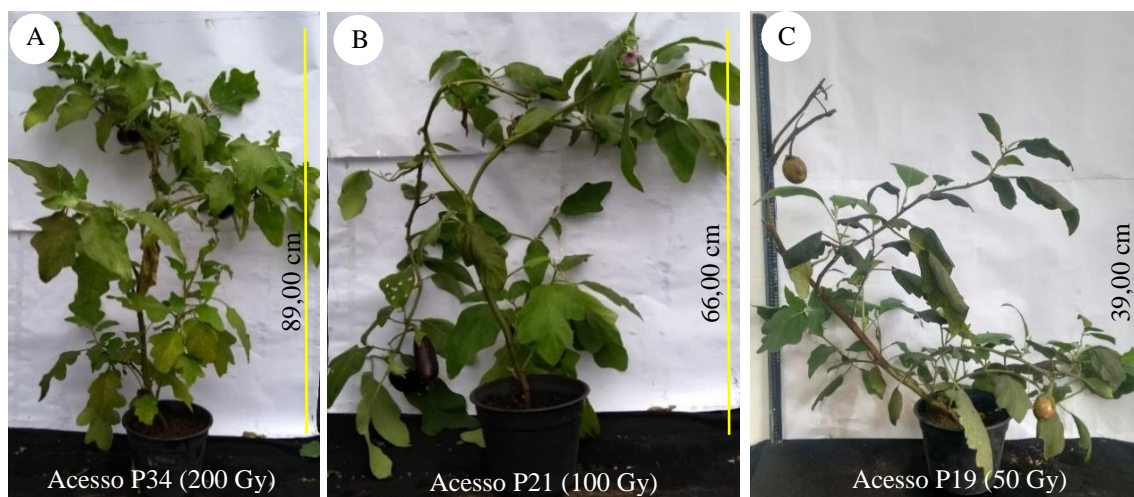


Figura 1- Altura das plantas e hábitos de crescimento de diferentes acessos de berinjela (*Solanum melongena* L.) submetidas a diferentes doses de radiação com ^{60}Co . Ereto (A), intermediário (B) e prostrado (C).

Não houve variação para as características qualitativas, cor da folha - verde, distribuição da cor do fruto - homogêneo, cor da semente - marrom, ângulo de inserção do fruto, densidade do endocarpo - denso, cor do pecíolo - verde, indicando não haver influência das diferentes doses de radiação gama para essas características. Em relação as características qualitativas relacionadas ao porte das plantas, quanto ao hábito de crescimento (Figura 1 e 2), as doses de radiação influenciaram na inclinação do eixo principal das plantas, assumindo o hábito de crescimento intermediário, com maior presença de plantas com esse comportamento na dose 200 Gy (20%) e plantas com hábito de crescimento prostrado observadas nas doses 50 Gy (10%) e 100 Gy (10%).

A pubescência da folha também sofreu influência das doses de radiação, apresentando uma pubescência intermediária, com maior número de plantas na dose 200 Gy (40%), pubescência muito pouca foi observada em 10% das plantas submetidas a dose de radiação de 400 Gy (Figura 3). Com relação a pubescência do caule, pode-se observar uma grande variação, com o aparecimento dos diferentes graus de pubescência nas plantas submetidas as diferentes doses de radiação, com destaque para a dose 200 Gy com (60%) das plantas com caule muito pubescente e a dose 400 Gy com 50% das plantas apresentando caule com pubescência intermediária (Figura 4 e 5).

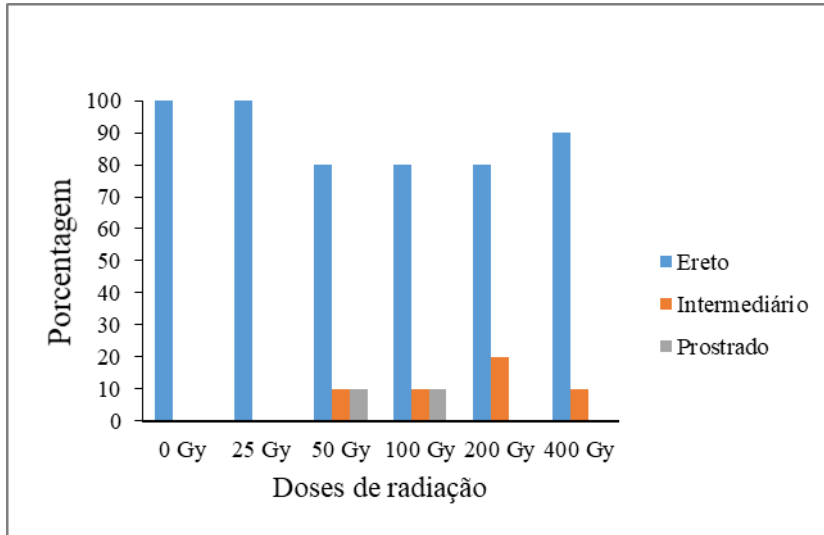


Figura 2 - Hábito de crescimento de plantas de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

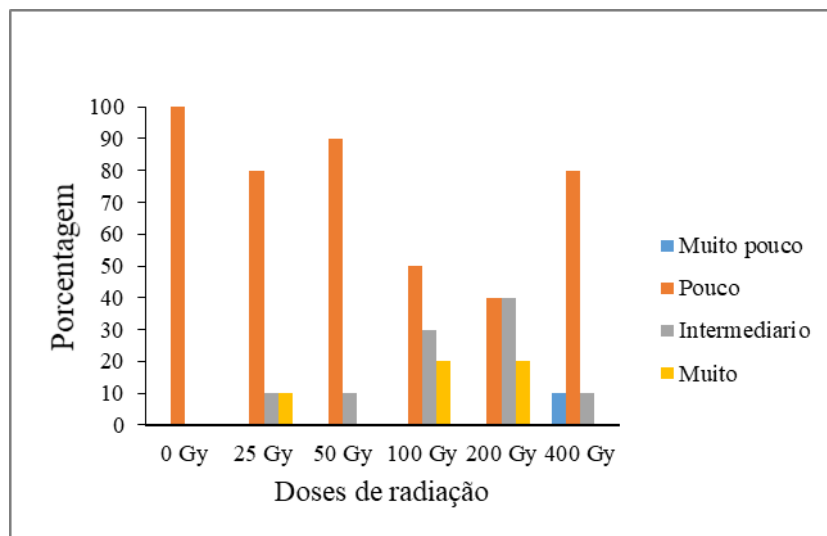


Figura 3 Pubescência das folhas de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

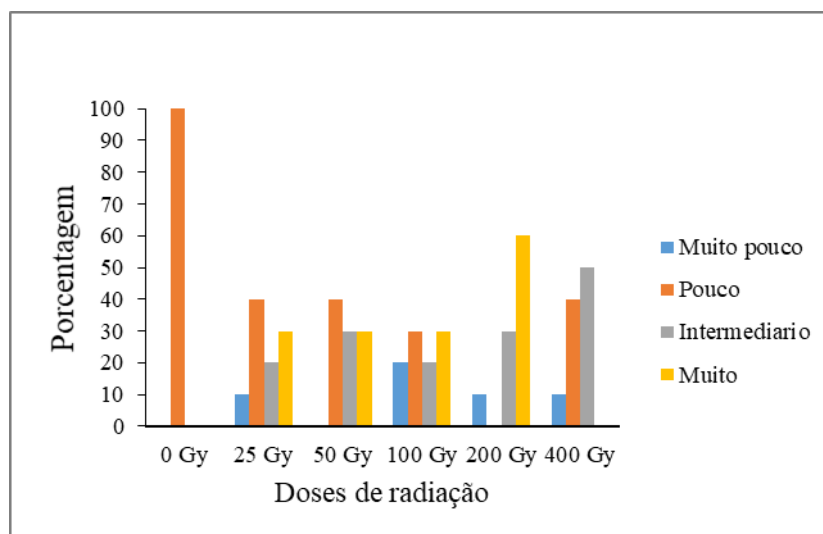


Figura 4 Pubescência do caule de plantas de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

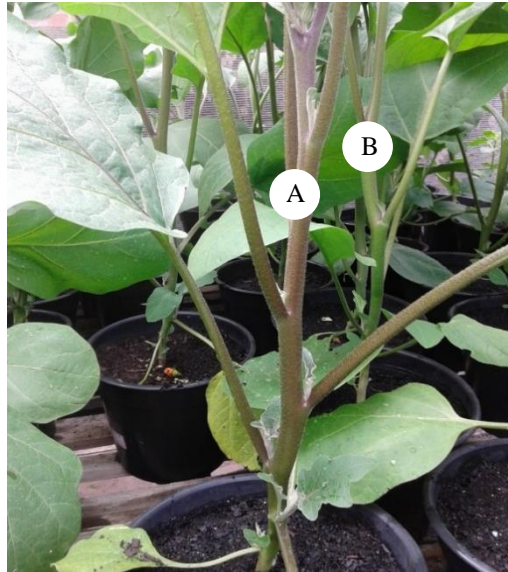


Figura 5. Pubescência do caule de plantas de *Solanum melongena* L. submetidas a dose de radiação de 400 Gy, pubescência intermediária (A) e pouca pubescência T0 (B).

Quanto aos caracteres qualitativos relacionados a flor, observa-se que a cor do estilete pode ter sido afetada pela radiação, resultando no aparecimento da coloração roxa em diferentes intensidades, com destaque para a dose 50 Gy apresentando 20% das flores com estilete de cor roxa (Figura 6 e 8). A cor da corola também pode ter sido afetada pelas doses de radiação quando comparado a cor da testemunha, surgindo a cor roxa mais claro, presente em 26,66% das flores do tratamento com a dose 25 Gy, que foi diminuindo de acordo com a elevação das doses e a cor roxo escuro presente em 6,66% das flores do tratamento 50 Gy (Figura 7 e 8). Não houve influência das doses de radiação na coloração das anteras, sendo que 100 % apresentaram-se amarelas.

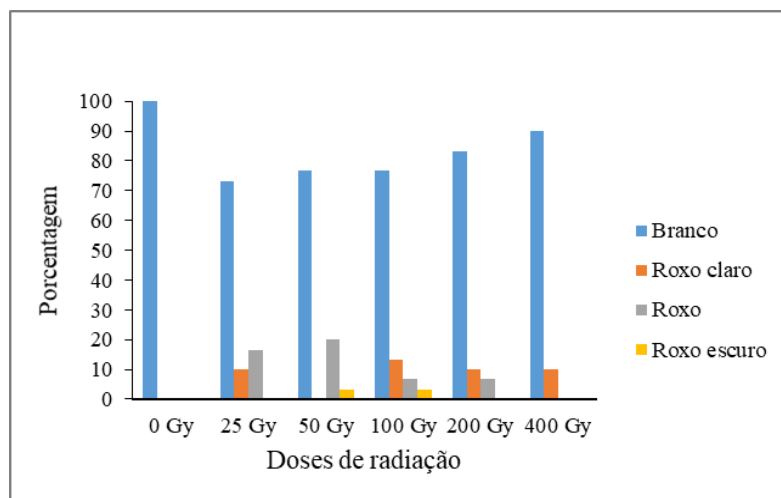


Figura 6. Cor do estilete das flores de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

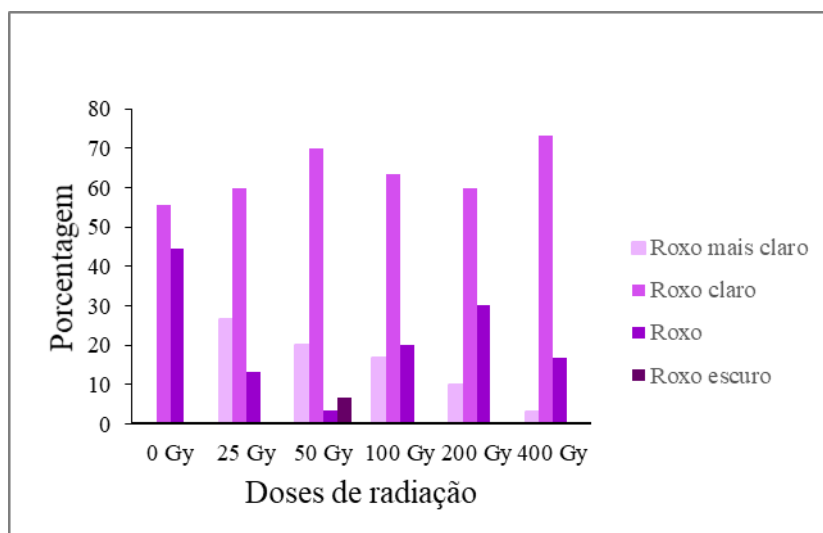


Figura 7. Cor da corola das flores de berinjelas irradiadas com ^{60}Co



Figura 8. Cor do estilete e cor da corola de flores de *Solanum melongena* L. estilete branco e corola roxo mais claro P12 – 25 Gy (A), estilete roxo e corola roxo claro P31 - 200 Gy (B), corola roxo escuro P18 – 50 Gy (C)

Para características qualitativas relacionadas ao fruto (Figuras 9 e 13), quando comparado a testemunha, pode-se constatar que a radiação ocasionou um alongamento dos mesmos, observada principalmente nas doses 50 Gy com frutos duas vezes mais longos que largo e na dose 400 Gy, apresentando 86,67% dos frutos com morfologia ligeiramente mais longo que largo. Para a característica forma do fruto (Figura 10 e 13), também houve uma diminuição da largura da parte superior em relação a parte basal do fruto, siando de 3/4 para 1/2 do maior diâmetro. A forma do ápice do fruto apresentou modificações com a utilização das doses de radiação, deixando de apresentar somente ápice depressivo e passando a formar frutos com ápice arredondado em sua maioria (Figura 11 e 14). A cor do fruto foi modificada com a radiação, resultando no clareamento do roxo escuro observado na testemunha e no aparecimento da cor marrom, observada em cerca de 2% dos frutos oriundos dos tratamentos irradiados (Figura 12 e 15).

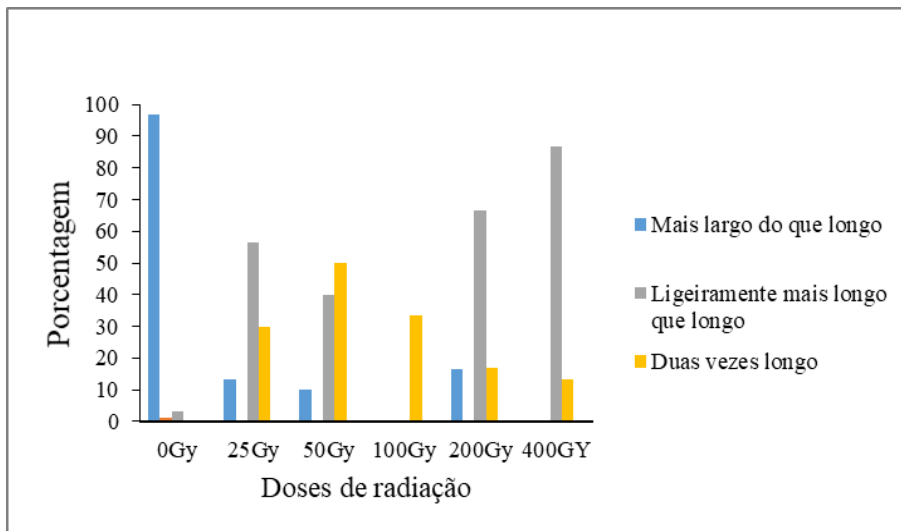


Figura 9. Razão dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

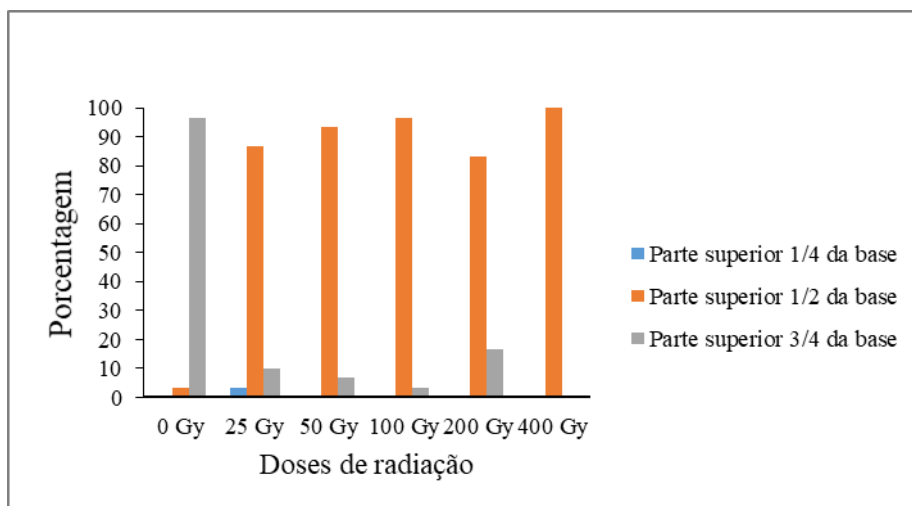


Figura 10. Forma dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

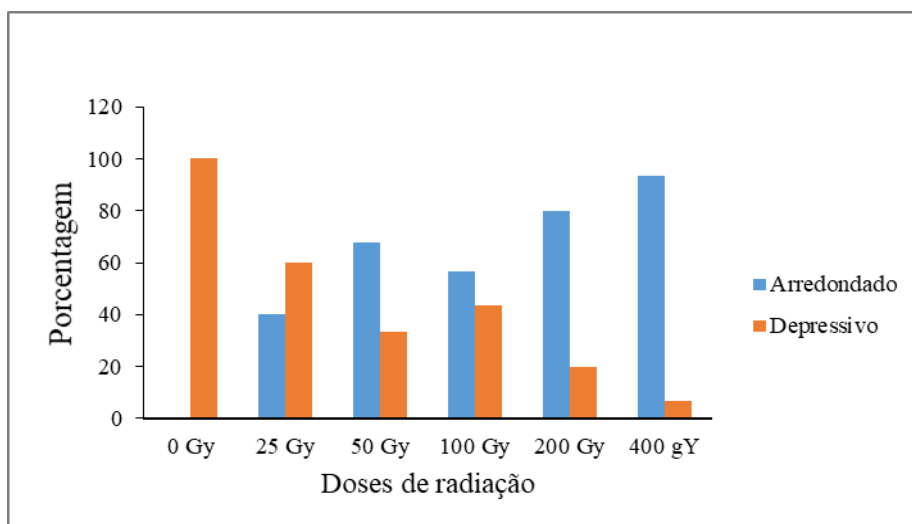


Figura 11. Forma do ápice dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co

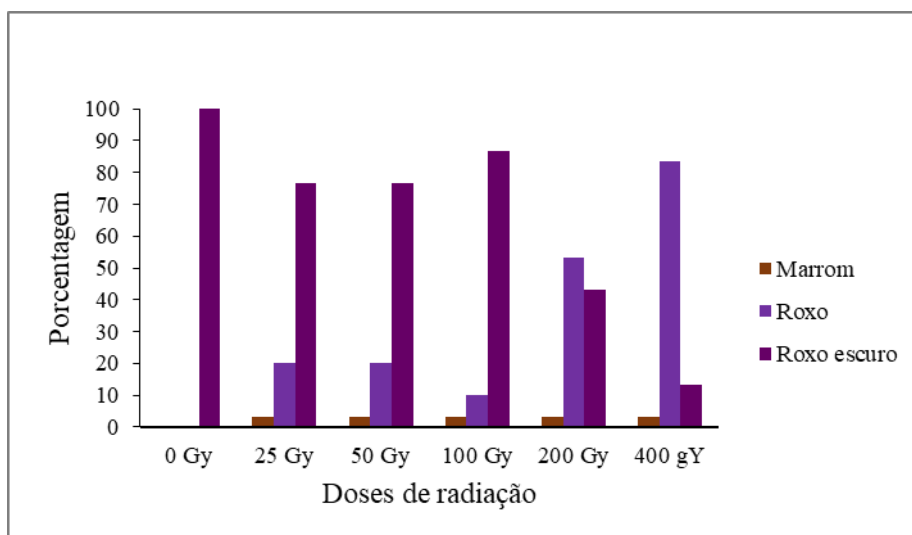


Figura 12. Cor dos frutos de berinjelas irradiadas com ^{60}Co



Figura 13. Razão e forma do fruto de (*Solanum melongena*) L. T0 - Mais largo que longo e parte superior $\frac{3}{4}$ da base (A), 400 Gy – ligeiramente mais longo que largo e parte superior $\frac{1}{2}$ da base e 50 Gy (B) – duas vezes longo e parte superior $\frac{1}{4}$ da base (C).



Figura 14. Forma do ápice do fruto de (*Solanum melongena*) L. T0 - depressivo (A) e 400 Gy – arredondado (B).

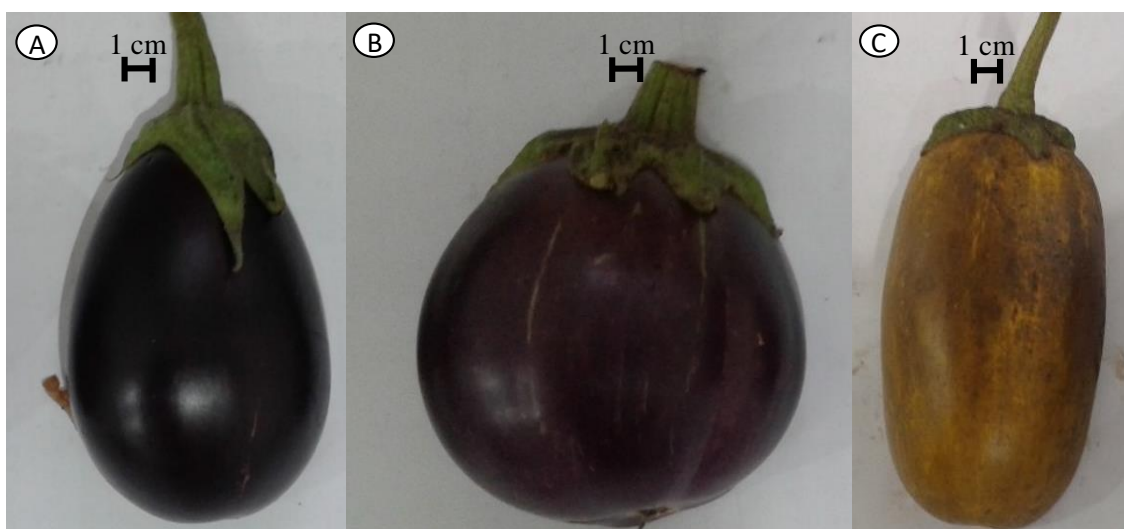


Figura 15. Cor do fruto de *Solanum melongena* L. T0 – roxo escuro (A) 400 Gy – roxo (B) e a cor marrom (C) presente em todas as doses de radiação.

4. CONCLUSÃO

A radiação gama com ^{60}Co foi responsável por alterações morfológicas na maioria das características quantitativas e qualitativas analisadas, comprimento e largura da folha, comprimento: do pecíolo, da corola, do filete, da antera e das sementes, número de anteras, menor diâmetro do fruto, espessura do pericarpo, número de sementes por fruto, hábito de crescimento, pubescência da folha, pubescência do caule, cor do estilete, cor da corola, razão do fruto, forma do fruto, forma do ápice e cor do fruto, indicando a possibilidade da ocorrência de mutações para estas características nos indivíduos avaliados.

As plantas P3 e P5, ambas submetidas a dose de radiação de 25 Gy, apresentaram variabilidade para um maior número de características, indicando que esta é a melhor dose para indução de possíveis eventos mutacionais em berinjela.

A exposição das sementes de berinjela à radiação gama na dose de 800 Gy, causou efeitos deletérios, possivelmente ligados a mutações de genes essenciais ao processo germinativo, fazendo com que as sementes não germinassem.

5. REFERENCIAS

AMJAD, Muhammad; ANJUM, M. Akbar. Effect of gamma radiation on onion seed viability, germination potential seedling growth and morphology. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, v. 39, p. 202-206, 2002.

ARAMENDIZ-TATIS, Hermes et al. Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía colombiana*, v. 25, n. 1, p. 104, 2007.

AREF, Ibrahim M. et al. Response of *Datura innoxia* Linn. to gamma rays and its impact on plant growth and productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, v. 86, n. 3, p. 623-629, 2016.

ARISHA, Mohamed H. et al. Ethyl methane sulfonate induced mutations in M2 generation and physiological variations in M1 generation of peppers (*Capsicum annuum* L.). *Frontiers in plant science*, v. 6, 2015.

AYAZ, Faik Ahmet et al. Comparison of nutrient content in fruit of commercial cultivars of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, v. 65, n. 4, p. 251-260, 2015.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; NETO, R. F. *Melhoramento de plantas*. 7. Ed. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2017. 553 p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. *Melhoramento de Plantas*. 543p. UFV, 2017.

CRUZ, Cosme Damião. Programa Genes: estatística experimental e matrizes. UFV, 2006.

CRUZ, Cosme Damiao. **Princípios de genética quantitativa**. Universidad Federal de Viçosa, 2012.

CRUZ, CD; REGAZZI, AJ. 2012b. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV . 514p.

DA SILVA, Anderson Rodrigo et al. Avaliação do coeficiente de variação experimental para caracteres de frutos de pimenteiras. *Revista Ceres*, v. 58, n. 2, 2011.

DA SILVA, Anderson Rodrigo et al. Avaliação do coeficiente de variação experimental para caracteres de frutos de pimenteiras. *Ceres*, v. 58, n. 2, 2015.

ANDRADE, E. B. Indução de mutação. Embrapa Amazônia Oriental-Outras publicações científicas (ALICE).1973.

DHUMAL, K. N.; BOLBHAT, S. N. Induction of genetic variability with gamma radiation and its applications in improvement of horsegram. In: *Gamma Radiation*. InTech, 2012.

GARCIA, Carlos Henrique. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. IPEF, 1989. 11 p., 1989.

GIORDANO, L.B.; ARAGÃO, F.A.S; BOITEUX, L.S. Melhoramento genético do tomateiro, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n.219, p.43-57, 3003.

GOODSPEED, Th H.; OLSON, A. R. The production of variation in *Nicotiana* species by X-ray treatment of sex cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 14, n. 1, p. 66-69, 1928.

IBPGR. 1990. Descriptors for eggplant/descripteurs pour l'Aubergine International Board for plant resources, Rome.

KWON, Y.-I.; APOSTOLIDIS, E.; SHETTY, K. In vitro studies of eggplant (*Solanum melongena*) phenolics as inhibitors of key enzymes relevant for type 2 diabetes and hypertension. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 8, p. 2981-2988, 2008.

NOVAK F. J. and Brunner H, *Plant Breeding: Induced Mutation Technology for Crop Improvement*. IAEA Bull 4, 1992, : 25-32.

MBA, C. et al. Gamma irradiation. *Plant mutation breeding and biotechnology*, p. 91-98, 2012b.

MBA, C. et al. Mutagenic radiations: X-rays, ionizing particles and ultraviolet. *Plant mutation breeding and biotechnology*. CABI, Oxfordshire, p. 83-90, 2012a.

MBA, Chikelu. Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*, v. 3, n. 1, p. 200-231, 2013.

MBA, Chikelu; GUIMARAES, Elcio P.; GHOSH, Kakoli. Re-orienting crop improvement for the changing climatic conditions of the 21st century. *Agriculture & Food Security*, v. 1, n. 1, p. 7, 2012b.

PAGE, Damian R.; GROSSNIKLAUS, Ueli. The art and design of genetic screens: *Arabidopsis thaliana*. *Nature Reviews Genetics*, v. 3, n. 2, p. 124-136, 2002.

PIMENTEL-GOMES, F. *Course of experimental statistics*. Piracicaba: Nobel, 2000.

PREDIERI, Stefano. Mutation induction and tissue culture in improving fruits. *Plant cell, tissue and organ culture*, v. 64, n. 2-3, p. 185-210, 2001.

RUBATZKY, Vincent E.; YAMAGUCHI, Mas. *World vegetables. Principles production and nutritive values*, p. 681-686, 1997.

ROYCHOWDHURY, Rajib; ROY, Souri; TAH, Jagatpati. Estimation of heritable components of variation and character selection in eggplant (*Solanum Melongena* L.) for mutation breeding programme. 2011.

SAN JOSÉ, Raquel et al. Composition of eggplant cultivars of the Occidental type and implications for the improvement of nutritional and functional quality. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 48, n. 12, p. 2490-2499, 2013.

SCAPIM, Carlos Alberto; DE CARVALHO, Claudio Guilherme Portela; CRUZ, Cosme Damião. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.

SHIRASAWA, Kenta et al. Genome-wide survey of artificial mutations induced by ethyl methanesulfonate and gamma rays in tomato. *Plant biotechnology journal*, v. 14, n. 1, p. 51-60, 2016.

SIKDER, S. et al. Induction of mutation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by gamma irradiation and EMS. *Indian J Genet*, v. 73, n. 4, p. 392-399, 2013.

STADLER, L. J. Mutations in barley induced by X-rays and radium.

ULUKAPI, Kamile; NASIRCILAR, AYSE Gul. Developments of gamma ray application on mutation breeding studies in recent years. In: *International Conference on Advances in Agricultural, Biological & Environmental Sciences (AABES-2015)*. 2015. p. 31-34.

NIKAM, Ashok A. et al. Radiation-induced in vitro mutagenesis system for salt tolerance and other agronomic characters in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *The Crop Journal*, v. 3, n. 1, p. 46-56, 2015.

XI-OU, Xiao et al. The analysis of physiological variations in M2 generation of *Solanum melongena* L. Mutagenized by ethyl methane sulfonate. *Frontiers in plant science*, v. 8, p. 17, 2017.

CHOPRA, V. L. Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. CURRENT SCIENCE-BANGALORE-, v. 89, n. 2, p. 353, 2005.

KOORNNEEF, Maarten. Classical mutagenesis in higher plants. Molecular plant biology, v. 1, p. 1-11, 2002.

ARTIGO II

Variabilidade genética de mutantes de berinjela irradiada com ^{60}Co acessada por análise multivariada

RESUMO

A berinjela, originária do continente Asiático, é atualmente cultivada em todo o mundo por se tratar de um dos vegetais mais importantes na dieta humana. Informações sobre a diversidade genética dessa espécie são fundamentais para o auxílio em programas de melhoramento da cultura. Uma das formas de aumentar a diversidade genética é por meio de mutação, de forma artificial com a utilização de agentes mutagênicos. Nesse contexto, expõe-se o acesso BGH 2404 a radiação gama de ^{60}Co , para avaliar com base em estatísticas multivariadas aplicadas as características morfoagronômicas, a variabilidade obtida. Sementes do acesso BGH 2404, foram submetidas a radiação gama de Cobalto-60 (^{60}Co), nas doses de 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gy. Após a radiação, as sementes foram semeadas em bandejas de poliestireno de 200 células utilizando-se substrato comercial PlantMax. Foram avaliados 18 caracteres quantitativos, referentes à porte, inflorescência e fruto, com base na lista de descritores de berinjela sugerido pelo IBPGR. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, consistindo de sete tratamentos (doses de radiação) e 10 repetições. Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância multivariada pelo teste F em nível de 5% de significância, adotou-se a medida de dissimilaridade baseada na distância generalizada de Mahalanobis, sendo os dados agrupados pelos métodos Tocher e UPGMA. Também foi realizado a contribuição relativa dos caracteres utilizando o critério proposto por Singh e a análise de divergência genética por meio das variáveis canônicas. A utilização da radiação gama com ^{60}Co foi eficiente na geração de variabilidade genética na cultura da berinjela. A variabilidade observada nos agrupamentos é um indicativo da diversidade existente entre os genótipos, sendo assim promissora para a seleção de indivíduos mutantes com potencial para dar continuidade a investigação da ocorrência de mutações induzidas pela radiação gama.

Palavras-chave: radiação ionizante, mutantes, *Solanun melongena* L.,

ARTICLE II

Genetic variability of ^{60}Co irradiated eggplant mutants accessed by multivariate analysis

ABSTRACT

Eggplant, originally from the Asian continent, is currently cultivated worldwide because it is one of the most important vegetables in the human diet. Information on the genetic diversity of this species is essential for aid in crop breeding programs. One way to increase genetic diversity is by mutation, artificially using mutagenic agents. In this context, the BGH 2404 access to gamma radiation of ^{60}Co is exposed to evaluate, based on multivariate statistics applied the morphoagronomic characteristics, the variability obtained. Seeds of the BGH 2404 access were subjected to gamma radiation of Cobalt-60 (^{60}Co) at doses of 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gy. After irradiation, the seeds were seeded in 200 cell polystyrene trays using commercial PlantMax substrate. We evaluated 18 quantitative traits, referring to size, inflorescence and fruit, based on the list of eggplant descriptors suggested by IBPGR. The experimental design was completely randomized, consisting of seven treatments (radiation doses) and 10 replicates. The quantitative data were submitted to multivariate analysis of variance by the F test at the 5% level of significance, and the dissimilarity measure based on the generalized Mahalanobis distance was adopted, and the data were grouped by the Tocher and UPGMA methods. The relative contribution of the characters was also performed using the criterion proposed by Singh. According to the results, it was concluded that the use of ^{60}Co gamma radiation was efficient in the generation of genetic variability in eggplant culture. The variability observed in the clusters is indicative of the diversity among the genotypes and is therefore promising for the selection of mutant individuals with the potential to continue the investigation of the occurrence of gamma radiation induced mutations.

Keywords: ionizing radiation, mutants, *Solanun melongena* L.,

1. INTRODUÇÃO

A Berinjela (*Solanum melongena* L.) é cultivada em todo o mundo, são frutas comestíveis e um dos vegetais mais importantes na dieta humana. Sua origem é atribuída ao continente Asiático, local onde a cultura possui maior importância, tanto a Índia quanto a China foram sugeridos como os centros mais prováveis de domesticação da espécie (LESTER & HASAN, 1991; MEYER et al., 2012).

Em programas de melhoramento de plantas, a informação sobre a diversidade genética é de grande importância, pois genótipos mais divergentes, quando cruzados, originam populações segregantes com maior variabilidade, premissa para obtenção de segregantes superiores (REIF et al., 2005; GONÇALVES et al., 2008).

A definição de divergência genética foi postulada como qualquer medida quantitativa ou diferença genética, estando ao nível de frequência alélica, que é calculada entre indivíduos, populações ou espécies (MOHAMMADI & PRASANNA, 2003). Geralmente, essas não são dependentes de apenas uma variável e sim de um conjunto delas. A seleção com base em características individuais é menos vantajosa que aquela baseada em um conjunto de caracteres (RAD et al., 2014). Portanto, as técnicas de análise multivariada possibilitam avaliar um conjunto de dados, a exemplo da MANOVA que é uma extensão da análise univariada de variância (ANOVA), sabe-se que na ANOVA realiza-se a avaliação das diferenças entre as médias de grupos apenas para uma variável resposta, enquanto na MANOVA se procede a comparação entre as médias de grupos para diversas variáveis respostas simultaneamente (REIS, 1997).

Como o objetivo do melhorista consiste em maximizar o ganho genético em tempo mínimo, outras metodologias multivariadas podem ser utilizadas para substanciar os resultados obtidos. SILVA et al. (2012) relatam que muitas metodologias estão disponíveis para quantificar e avaliar o grau de divergência genética a partir de informações fenotípicas e genotípicas, dentre elas as variáveis canônicas e técnicas de agrupamento com base nas distâncias multivariadas (CRUZ et al., 2011).

A estimativa de distância genética entre os genótipos é apontada como uma forma de prever esta variabilidade genética (HOSAN et al., 2010). JOHNSON e WICHERN (1992) salientam que nas análises de agrupamento o objetivo principal é reunir os indivíduos em determinado número de grupos, de modo que exista homogeneidade dentro

de cada grupo e heterogeneidade entre eles. Dos métodos de agrupamento, os mais utilizados são os de otimização e os hierárquicos (CRUZ et al., 2011).

Para determinar a contribuição de cada variável original para a variabilidade total observada, têm-se utilizado as variáveis canônicas (CRUZ et al., 2011). A análise de variáveis canônicas é utilizada na tentativa de reduzir o conjunto das variáveis num conjunto mais significativo, envolvendo menor número de variáveis. A utilização de o emprego de um subconjunto, a partir de um grande número de características, possibilita a economia de tempo, tanto na tomada de dados quanto nas análises computacionais, além de reduzir os custos em análises futuras (RÊGO et al., 2003).

Com o objetivo de criar variabilidade produzindo cultivares com melhor valor econômico, para estudos genéticos e desenvolvimento de plantas superiores, têm-se empregado o uso da mutação tem sido empregado (VAN, DEN-BULK et al., 1990; BERTAGNE-SAGNARD et al., 1996). As mutações induzidas foram utilizadas para melhorar as principais culturas de interesse econômico como: trigo, arroz, cevada, algodão, amendoim e feijão-caupi, que são propagadas por sementes.

A indução de variabilidade mediante o emprego de agentes mutagênicos tem sido amplamente utilizada, em função da capacidade de gerar uma ou mais características desejáveis, aprimorando cultivares já estabelecidas e desenvolvendo novos genótipos (MALUSZYNSKI, 1998). As alterações na sequência de bases do ácido desoxirribonucléico (DNA) ocorrem espontaneamente, mas também podem ser intensificadas por agentes mutagênicos físicos e químicos, como através da irradiação com raios gama (^{60}Co) e imersão em etilmetanosulfonato (EMS) (NÓBREGA, 1998).

O ponto mais importante da mutação é selecionar o mutagênico adequado e desenvolver um método para identificar os mutantes (UKAI, 2006). A prática de radiação, um mutagênico físico, é amplamente utilizada na indução de mutação. 90% dos mutantes obtidos, foram criados através deste método, 64% com raios gama e 22% com raios-X (JAIN, 2005; JAIN et al., 2010).

O fator chave da irradiação do material vegetal é a dose, que determina a quantidade de radiação absorvida pelo material. A sensibilidade das plantas a irradiação varia de acordo com a espécie, cultivar e as condições fisiológicas da planta (BRITT, 1996). A dose é mais importante do que o tipo mutagênico utilizado, pois independente do tipo, a dose mais apropriada deve ser determinada antes de sua aplicação em grande escala.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a variabilidade genética de mutantes de berinjela irradiada com ^{60}Co acessada por análises multivariadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de um acesso de berinjela (*Solanum melongena* L.) (BGH 2404). As sementes foram adicionadas em potes de PVC, com capacidade de 80 cm³, os mesmos foram identificados de acordo com o genótipo e a dose de radiação ionizante que deveriam ser submetidos. Em seguida, foram transportadas em caixas de isopor para o Laboratório de Energia Nuclear Aplicada do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foram submetidas a diferentes doses de radiação ionizante com Cobalto-60 (^{60}Co), (0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Gy (Gray), em um irradiador GAMMACELL 220 EXCEL (taxa de dosagem de 3497 kgy/h).

As sementes irradiadas foram semeadas em bandeja de poliestireno de 128 células, utilizando substrato comercial PlantMax®, duas sementes por célula, com posterior desbaste. Após a semeadura as bandejas foram levadas a casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA-UFPB), Areia – PB.

Quando as plântulas apresentaram quatro folhas definitivas foi realizado o transplântio para vasos de plástico de 1,8 litros, contendo o mesmo substrato. Foram realizados tratamentos culturais de acordo com as necessidades da cultura.

Foram avaliados 18 caracteres quantitativos, referentes à porte, inflorescência e fruto. A caracterização morfoagronômica foi realizada com base na lista de descritores de berinjela sugerido pelo Conselho Internacional de Recursos Genéticos de Plantas - IBPGR (1990), as dimensões foram obtidas com o auxílio de uma régua e um paquímetro digital (Paquímetro digital Leetools®), e para os dados referentes a peso, foi utilizada uma balança (Bel engineering®).

A caracterização do porte das plantas foi realizada quando o primeiro fruto do primeiro ciclo de frutificação apresentou-se maduro. As características quantitativas avaliadas foram: altura da planta; diâmetro da copa; comprimento da folha; largura da folha; comprimento de pecíolo.

Os caracteres relacionados as flores foram coletados quando as plantas apresentaram 50% das flores do primeiro ciclo de floração, totalmente abertas. Foi utilizado os descritores quantitativos: comprimento da corola; comprimento do estilete; comprimento da antera; número de antera; número de estilete.

Os dados de caracterização dos frutos, foram coletados no momento de maturação de 50% dos frutos referentes ao primeiro ciclo de frutificação. Os descritores quantitativos foram: comprimento do fruto; maior diâmetro; menor diâmetro; peso do fruto; espessura do pericarpo; comprimento da placenta; número de sementes; comprimento das sementes.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete doses de radiação e 10 repetições. Foi realizado análise de variância multivariada para os caracteres avaliados com base na média dos acessos, visando avaliar a existência de variabilidade genética significativa entre os indivíduos.

A medida de dissimilaridade adotada foi a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) (MAHALANOBIS, 1936). Com base na D^2 , a análise de divergência genética, foi estimada por meio da dissimilaridade dos acessos dentro do genótipo, utilizando o método de agrupamento de otimização de Tocher, como apresentado por CRUZ, et al. (2011). Além disso, D^2 possibilitou quantificar a contribuição relativa dos caracteres para divergência genética utilizando o critério proposto por SINGH, (1981). Com base nas matrizes de distâncias genéticas geradas, foi construído o dendrograma, usando o método hierárquico de ligação media entre grupos não ponderado, conhecido como (UPGMA).

A determinação do ponto de corte do dendrograma gerado pelo método hierárquico e definição do número de grupos, foi estimado com base no método de MOJENA (1977) baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões (distancias) no dendrograma.

Após a aplicação de cada método de agrupamento hierárquico, para a estimativa do ajuste entre a matriz de dissimilaridade e o dendrograma gerado foi calculado o coeficiente de correlação cofenética (CCC) (SOKAL, 1962), de acordo com a expressão proposta por BUSSAB et al. (1990) e citado por ALBUQUERQUE, (2005).

Por fim, foi realizado análise de divergência genética por meio das variáveis canônicas. As análises estatísticas foram realizadas através do software R versão 3.0.3 (R Core Team, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dose de radiação gama de 800 Gy, causou sérios danos genéticos que ocasionaram a perda de germinação das sementes de berinjela. NOURI et al. (2012), trabalhando com diferentes doses de radiação gama em feijão, identificou danos causados por altas doses de radiação, resultando em problemas na germinação e posterior perda da planta. KOORNNEEF, (2002), avaliando o efeito de mutagênicos no crescimento de plantas, também relata infertilidade e perda de vigor em doses mais elevadas de mutagênico.

A análise de variância multivariada (MANOVA) dos caracteres quantitativos (Tabela 1) demonstrou haver diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F. Indicando a presença de variabilidade genética entre os distintos genótipos analisados e possibilita a inclusão dos referidos caracteres nos estudos de divergência genética.

Tabela 1. Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA) para 18 variáveis quantitativas de planta, flor e fruto de berinjela (*Solanum melongena*). CCA/UFPB. Areia, 2017.

| FV | GL | SQ | QM | F |
|------------|----|-------|-------|-------|
| TRATAMENTO | 1 | 0,337 | 4,563 | 18*** |

As estimativas das contribuições relativas dos caracteres quantitativos para diversidade genética entre os mutantes de berinjela encontram-se na Tabela 2. Segundo critérios estabelecidos por SINGH, (1981), os caracteres largura da planta, altura da planta e comprimento da folha, foram os que mais contribuíram para a divergência genética entre os 60 acessos de berinjela, contribuindo com 11,4, 11,1 e 8,1% da diversidade estimada, respectivamente. Estes três caracteres de um total de dezoito avaliados, demonstraram uma contribuição superior a 30% para a discriminação destes acessos. Os demais caracteres obtiveram contribuição significativa, porém de menor magnitude.

A variável que menos contribuiu com a divergência genética foi menor diâmetro do fruto 2,8%. Resultados semelhantes foram reportados por SANTOS et al. (2007) utilizando o mesmo método de avaliação para estimar variância genética em *Capsicum* spp. encontraram baixa variabilidade para diâmetro do fruto. RÊGO et al. (2003) utilizando o mesmo método de avaliação para pimenteirias, cita a característica menor diâmetro do fruto como uma das que menos contribuíram para a divergência encontrada

(2,99%), os mesmos ressaltam ainda que caracteres que contribuem com percentual muito baixo ou não contribuem para variabilidade podem vir a ser descartados sem que haja alterações no padrão inicial de agrupamento.

Tabela 2. Contribuição relativa dos caracteres quantitativos para divergência genética entre 60 acessos de berinjela irradiadas, com base no método de (Singh, 1981).

| Variável | Valor em (%) |
|-------------------------|---------------------|
| Diâmetro da copa | 11,4 |
| Altura da planta | 11,1 |
| Comprimento da folha | 8,1 |
| Número de semente | 6,7 |
| Maior diâmetro do fruto | 6,2 |
| Tamanho da semente | 5,4 |
| Comprimento do pecíolo | 5,2 |
| Comprimento da antera | 5,2 |
| Espessura do pericarpo | 4,9 |
| Comprimento do fruto | 4,8 |
| Largura da folha | 4,6 |
| Número de antera | 4,6 |
| Comprimento da corola | 4,6 |
| Comprimento do estilete | 4,4 |
| Peso do fruto | 3,7 |
| Comprimento da placenta | 3,3 |
| Número de filete | 3,0 |
| Menor diâmetro do fruto | 2,8 |

Pelo método de agrupamento de otimização de Tocher, baseado na distância generalizada de Mahalanobis, os 60 acessos de berinjela estudados, foram divididos em quatro grupos (Tabela 3), demonstrando que houve influência da radiação gama nas características avaliadas, expressa através da variabilidade observada. ARAMENDIZ-TATIS et al. (2011), avaliando a divergência entre 24 genótipos de berinjela também constatou diferenças altamente significativas, assim como a formação de quatro grupos em seus estudos. Neste método, indivíduos pertencentes a um mesmo grupo são mais

homogêneos do que indivíduos de grupos distintos (CRUZ et al., 2011; VASCONCELOS et al., 2012).

Tabela 3. Agrupamento de 60 acessos irradiados com base em dados quantitativos de berinjela BGH 2404, conforme método de otimização de Tocher baseado na dissimilaridade expressa pela distância de Mahalanobis.

| GRUPO | ACESSOS |
|-------|---|
| I | 3, 6, 10, 4, 1, 8, 2, 9, 7, 5, 46, 57, 48, 14, 39, 45, 34, 37, 36, 53, 49, 50, 21, 23, 28, 27, 58, 19, 25, 16, 31, 11, 60, 44, 12, 22, 26, 20, 59, 54, 35, 38, 55, 33, 32, 30, 40, 15, 18, 43, 56, 42, 51, 17 |
| II | 13, 29, 47 |
| III | 24, 41 |
| IV | 52 |

1 a 10 – testemunhas; 11 a 20 – Indivíduos submetidos a dose de radiação 25 Gray; 21 a 30 - Indivíduos submetidos a dose de radiação 50 Gray; 31 a 40 - Indivíduos submetidos a dose de radiação 100 Gray; 41 a 50 - Indivíduos submetidos a dose de radiação 200 Gray; 51 a 60 - Indivíduos submetidos a dose de radiação 400 Gray.

No grupo I, estão presentes todas as testemunhas, genótipos (1 -10) que, de acordo com o esperado, foram os mais próximos, e os indivíduos mais próximos geneticamente destas, totalizando 54 indivíduos (90%), entre os quais estão representadas todas as doses de radiação testadas, com exceção dos acessos submetidos a dose 800 Gy, como já mencionado, foi letal as sementes. Quanto ao agrupamento, resultados semelhantes foram encontrados por SÁVIO et al. (2012) trabalhando com agrupamento de 49 acessos de pimenteira pelo método de Tocher o autor também relata a formação de quatro grupos e o agrupamento de 94% dos acessos no grupo I. Esses resultados são evidências de que as doses de radiação utilizadas não causaram alterações morfológicas significativas nessas plantas.

O grupo II reuniu três genótipos, 13, 29 e 47, submetidos as doses 25, 50 e 200 Gy, respectivamente. Esses acessos apresentaram diferenças significativas para as características altura de planta e largura de planta, com destaque para o genótipo 13, que apresenta menor comprimento da folha, largura da folha e número de sementes, quando comparado aos demais.

O grupo III é constituído por apenas dois genótipos, o 24 submetido a dose de radiação de 50 Gy e o genótipo 41, tratado com a dose 200 Gy. Os dois indivíduos diferem de forma significativa em relação as características altura de planta, largura de planta, número de anteras e número de sementes.

O grupo IV é formado unicamente pelo genótipo 52, o qual foi submetido a dose de radiação de 400Gy, este apresenta como principais características distinguíveis, altura de planta, largura de planta, comprimento e largura da folha.

As diferenças apresentadas pelos genótipos e suas respectivas características morfológicas supracitadas, são resultantes do teste de comparação de médias de Dunnett a 5% de significância (Dados não mostrados). As modificações ocorridas nesses acessos são resultantes de possíveis processos mutagênicos ocorridos pela exposição à radiação gama com ^{60}Co , gerando variabilidade genética e, conseqüentemente, formação de grupos distintos.

Utilizando o método da ligação média entre grupos (UPGMA) foi possível identificar um ponto de corte no dendrograma (Figura 1) na distância de 12,5336, que corresponde ao valor fornecido pelo critério de MOJENA, (1977), que corresponde a 54,47% da distância máxima observada nos níveis de fusão.

O coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi de 0,8537. Segundo SOKAL & ROHLFE (1962), valores acima de 0,8 indicam um bom ajuste entre a matriz de similaridade ou dissimilaridade com o dendrograma. Sendo assim, o valor de CCC preconiza uma adequação do método de agrupamento para o presente estudo. ARAMENDIZ-TATIS et al. (2011), confirma em seu estudo avaliando diversidade genética em berinjela, por diferentes métodos, que o método de agrupamento hierárquico UPGMA mostrou ser mais fidedigno do que os métodos Ward e Vizinho Mais Próximo (VMP), uma vez que comparando os valores de correlação cofenética entre os diferentes métodos, o UPGMA teve valor de 0,9, enquanto Ward e VMP tiveram valores de 0,7 e 0,8, respectivamente. Essa maior fidedignidade do UPGMA em relação ao método de Ward e VMP, também foi encontrado por GONÇALVES et al. (2008) e ROCHA et al. (2009).

De acordo com o ponto de corte estabelecido pelo método de MOJENA, (1977), foram formados 6 grupos distinguíveis entre si quanto às distâncias genéticas presentes.

Observou-se que o maior grupo formado foi composto por 52 indivíduos inclusive as testemunhas, resultados que corroboram aqueles observados no agrupamento de

Tocher. Os grupos II e III foram formados por dois genótipos cada: os genótipos 29 (50 Gy) e 40 (100 Gy) pertencentes ao grupo II, e os genótipos 17 (25Gy) e 47 (200 Gy) pertencentes ao grupo III. Os grupos IV, V, VI e VII, foram formados apenas por um genótipo cada, sendo estes 41 (200 Gy), 24 (500 Gy), 13 (25 Gy) e 52 (400 Gy) respectivamente, estes mostraram-se divergentes dos demais, visto que formaram grupos exclusivos no dendrograma. A formação desses grupos está associada a diferenças apresentadas nas características citadas no agrupamento anterior.

Observa-se por meio da divergência genética entre os acessos expressada pela formação de agrupamentos distintos, a eficiência da radiação gama na indução de variabilidade genética, porém a magnitude das variações não obedece a uma sequência linear de acordo com o tamanho da dose de radiação aplicada. A divergência genética observada nos genótipos pertencentes aos grupos de II a VII pode ser explorada em programas de melhoramento para verificação de mutação nos caracteres quantitativos avaliados. Vários estudos (MUTEGI et al., 2015; KARIHALOO et al., 1995) demonstram que haver diversidade genética reduzida nos cultivares de berinjela, quando comparados com seus parentais selvagens, e ressalta a importância de estudos envolvendo métodos de indução de variabilidade, como forma de evitar os gargalos genéticos que ocorrem durante a domesticação das espécies.

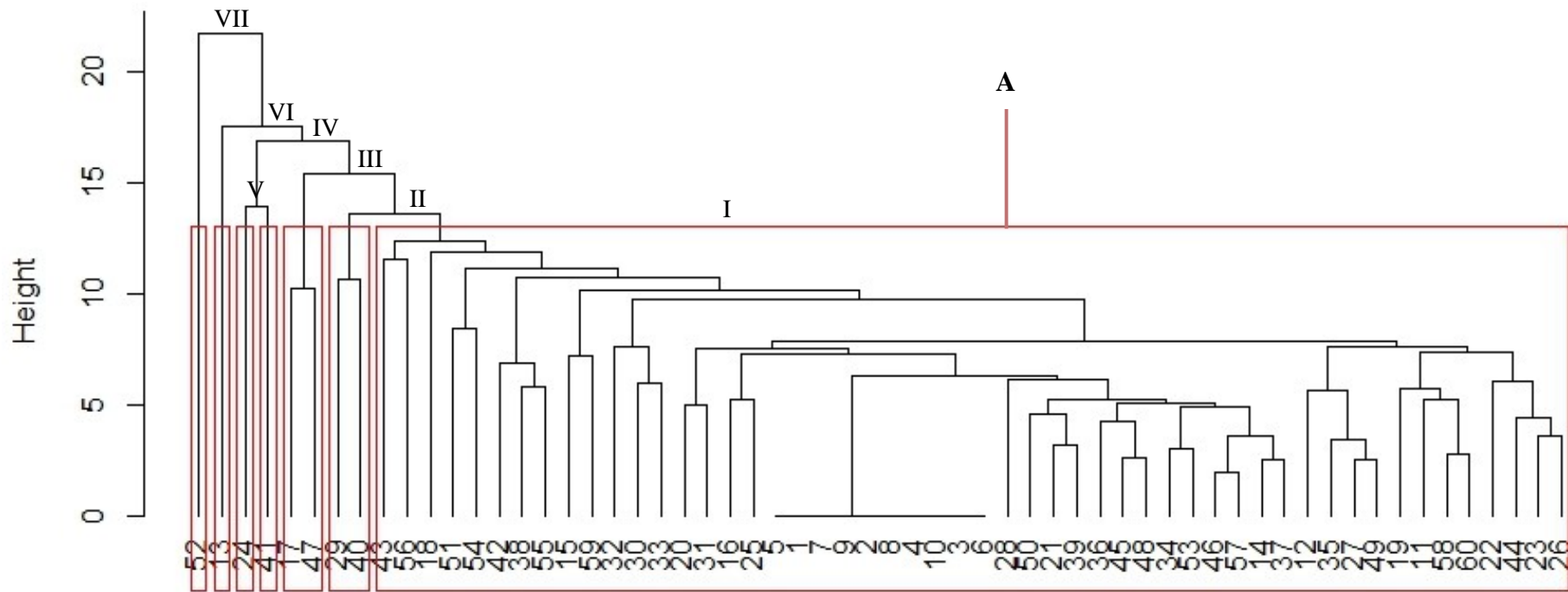


Figura 1. Dendrograma obtido com o método UPGMA com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) para agrupamento de 60 acessos de berinjela derivados de BGH 2404 irradiadas com ^{60}Co . A - Medida de similaridade média entre grupo = 12,5336

Observa-se uma semelhança dos resultados em relação a distinção da divergência genética dos acessos, apresentada pelos métodos de agrupamento de otimização de Tocher e UPGMA, com base na distância de Mahalanobis, sendo que para o primeiro método, foi observado divergência genética em seis acessos formando quatro grupos e o segundo método, também observou divergência para os mesmos seis acessos, porém com a diferença dos genótipos 40 e 17, que ao contrário do primeiro, foram agrupados em grupos divergentes.

Na análise de variáveis canônicas, detectou-se diversidade fenotípica entre os genótipos de berinjela avaliados, onde as duas primeiras variáveis canônicas explicaram 99,53% da variância total, sendo o primeiro par canônico responsável por 82,65% e o segundo responsável por 16,87% (Tabela 4). De acordo com RÊGO et al. (2003); SANTOS et al. (2007), quando as duas primeiras variáveis canônicas explicam mais de 70% da variação os dados se adequam a uma representação gráfica bidimensional.

Tabela 4. Estimativas das variâncias (autovalores) associadas às variáveis canônicas relativos a 18 caracteres avaliados em *Solanum melongena* L.

| Variáveis Canônicas | Autovalores | Autovalores % | % Acumulada |
|---------------------|-------------|---------------|-------------|
| VC1 | 2041,383 | 82,656 | 82,656 |
| VC2 | 416,765 | 16,875 | 99,531 |
| VC3 | 2,630 | 0,106 | 99,638 |
| VC4 | 1,793 | 0,072 | 99,710 |
| VC5 | 1,437 | 0,058 | 99,768 |
| VC6 | 1,186 | 0,048 | 99,816 |
| VC7 | 0,947 | 0,038 | 99,855 |
| VC8 | 0,701 | 0,028 | 99,883 |
| VC9 | 0,611 | 0,024 | 99,908 |
| VC10 | 0,541 | 0,021 | 99,930 |
| VC11 | 0,362 | 0,014 | 99,945 |
| VC12 | 0,333 | 0,013 | 99,958 |
| VC13 | 0,299 | 0,012 | 99,970 |
| VC14 | 0,240 | 0,009 | 99,980 |
| VC15 | 0,158 | 0,006 | 99,986 |
| VC16 | 0,127 | 0,005 | 99,991 |
| VC17 | 0,110 | 0,004 | 99,964 |
| VC18 | 0,087 | 0,003 | 100,000 |

Sendo assim, na dispersão gráfica dos genótipos, utilizando-se os escores em relação às variáveis canônicas, observou-se a formação de cinco grupos (Figura 2). Quando comparado à análise de agrupamento pelo método de Tocher (Tabela 3), houve diferença entre o número de grupos formado pelos dois métodos.

Graficamente, a separação dos grupos também foi diferente, uma vez que os genótipos 29, 47, 24 e 41, estão presentes no mesmo grupo de acordo com a dispersão, e no agrupamento de Tocher foram dispostos em dois grupos distintos. Já os genótipos 15, 40 e 59 estão presentes no mesmo grupo segundo Tocher, enquanto na dispersão gráfica formaram grupos diferentes.

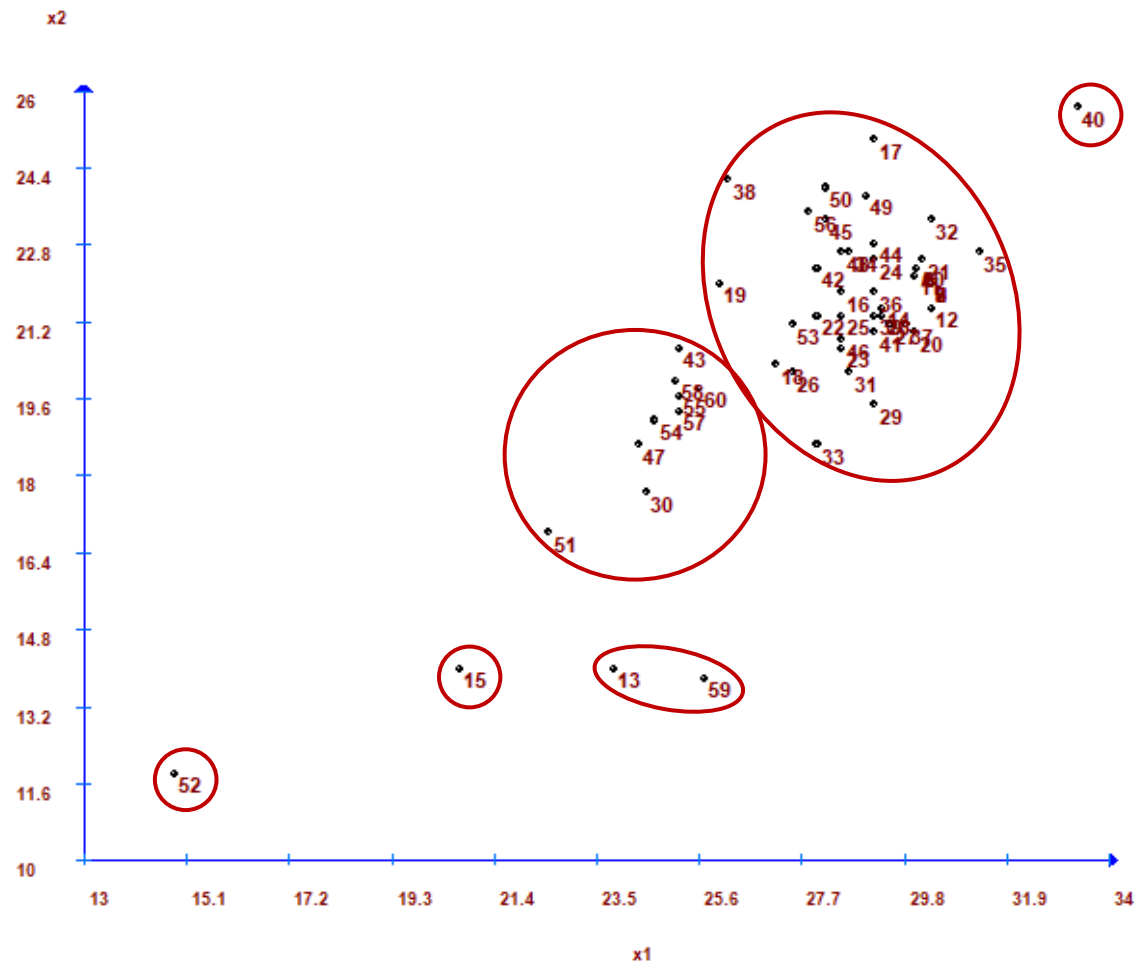


Figura 2. Dispersão gráfica dos escores em relação aos eixos representativos das variáveis canônicas (VC1 e VC2) relativos a 60 genótipos de berinjela irradiados com ^{60}Co .

A separação destes grupos no gráfico é dependente da escala utilizada, o que evidencia um dos aspectos subjetivos desse tipo de análise, podendo gerar dificuldades na interpretação quanto ao número de grupos formados (FERRÃO et al., 2011), tal afirmação pode ser a justificativa para diferença na separação de genótipos neste e no agrupamento de Tocher.

Pelo método das variáveis canônicas de acordo com os coeficientes de ponderação, a variável canônica que menos contribuiu com a divergência genética foi o menor diâmetro do fruto, semelhante com os resultados obtidos pela contribuição relativa dos caracteres proposto por Singh (Tabela 1). CRUZ et al. (2012) enfatizam que na análise das variáveis canônicas, devem ser descartadas aquelas características que apresentaram o maior coeficiente de ponderação nas variáveis canônicas menos importantes, assim sendo, esta característica deve ser descartada em futuros estudos com o mesmo acesso e nas mesmas condições deste, gerando economia de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros.

4. CONCLUSÃO

O genótipo 52, foi o que apresentou maior divergência genética em relação as características analisadas neste. Quando submetido a dose de radiação de 400 Gy, diante este resultado sugere-se que essa dose foi a mais eficiente para indução de possíveis eventos mutacionais em berinjela.

A utilização da radiação gama com ^{60}Co é eficiente na geração de variabilidade genética na cultura da berinjela, conforme as análises multivariadas.

A variabilidade observada nos agrupamentos é um indicativo da diversidade existente entre os genótipos, portanto, a diversidade encontrada neste trabalho é promissora para a seleção de indivíduos mutantes com potencial para dar continuidade a investigação da ocorrência de mutações induzidas pela radiação gama.

5. REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, M. A. et al. Estabilidade em análise de agrupamento (cluster analysis). 2005.

ARAMENDIZ-TATIS, Hermes et al. Potencial agrônômico e divergência genética entre genótipos de berinjela nas condições do Caribe Colombiano. Horticultura Brasileira, v. 29, p. 174-180, 2011.

BRETAGNE-SAGNARD, Bérénice; FOUILLOUX, Guy; CHUPEAU, Yves. Induced albina mutations as a tool for genetic analysis and cell biology in flax (*Linum usitatissimum*). Journal of experimental botany, v. 47, n. 2, p. 189-194, 1996.

BRITT, A. B. DNA damage and repair in plants. Annual review of plant biology, v. 47, n. 1, p. 75-100, 1996.

BUSSAB, W. de O. Introdução à análise de agrupamentos. ABE, 1990. 105 p., 1990.

CRUZ, Cosme Damião; FERREIRA, Fábio Medeiros; PESSONI, Luiz Alberto. Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 620, 2011.

FERRÃO, L. F. et al. Divergência genética entre genótipos de pimenta com base em caracteres morfo-agrômicos. 2011.

GONÇALVES, L. S. A. et al. Comparison of multivariate statistical algorithms to cluster tomato heirloom accessions. Genetics and Molecular Research, v. 7, n. 4, p. 1289-1297, 2008.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics, p. 857-871, 1971.

HOSAN S. M. et al. Genetic divergence in landraces of Bangladesh rice (*Oryza sativa* L.). *The Agriculturists: A Scientific Journal of Krishi Foundation*, v. 8, n. 2, p. 28-34, 2010.

IBPGR. 1990. Descriptors for eggplant/descripteurs pour l'Aubergine International Board for plant resources, Rome.

JAIN, S. M. et al. Mutagenesis in crop improvement under the climate change. *Romanian biotechnological letters*, v. 15, n. 2, p. 88-106, 2010.

JAIN, S. Mohan. Major mutation-assisted plant breeding programs supported by FAO/IAEA. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v. 82, n. 1, p. 113-123, 2005.

KARIHALOO, J. L.; BRAUNER, S.; GOTTLIEB, L. D. Random amplified polymorphic DNA variation in the eggplant, *Solanum melongena* L.(Solanaceae). *Theoretical and Applied Genetics*, v. 90, n. 6, p. 767-770, 1995.

KOORNNEEF, M. Classical mutagenesis in higher plants. *Molecular plant biology*, v. 1, p. 1-11, 2002.

LESTER, R. N.; HASAN, S. M. Z. Origin and domestication of the brinjal egg-plant, *Solanum melongena*, from *S. incanum*, in Africa and Asia. Hawkes, J, G, Lester, R, N., Nee, M., Estrada, N ed (s). *Solanaceae III. Taxonomy, chemistry, evolution*. Roy. Bot. Gard.: Kew & Linnean Soc.: London, p. 369-87, 1991.

MAHALANOBIS, P. C. On the generalized distance in statistics. *Proceedings National Institute of Science*, v. 12, p. 49-55, 1936.

MALUSZYNSKI, M. Crop germplasm enhancement through mutation techniques. In: *Proceedings of the International Symposium on Rice Germplasm Evaluation and Enhancement*. AAES Special Reports, Arkansas, USA. 1998. p. 74-82.

MEYER, R. S. et al. Phylogeographic relationships among Asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. *Molecular phylogenetics and evolution*, v. 63, n. 3, p. 685-701, 2012.

MOHAMMADI, S. A.; PRASANNA, B. M. Analysis of genetic diversity in crop plants using statistical tools and considerations. *Crop science*, v. 43, n. 4, p. 1235-1248, 2003.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation. *The Computer Journal*, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977.

MUTEGI, E. et al. Genetic diversity and population structure of wild/weedy eggplant (*Solanum insanum*, Solanaceae) in southern India: Implications for conservation. *American journal of botany*, v. 102, n. 1, p. 140-148, 2015.

NÓBREGA, F. G. O perigo das mutações no RNA. *Ciência Hoje*, Ribeirão Preto, 1998, 24.142: 22-23.

NOURI, H.; KIANI, D.; KHANI, M. A. Investigation of mutagenic effects of various doses of gamma ray on seed germination traits of pinto bean cultivar of Khomein. *Annals of Biological Research*, v. 3, n. 10, p. 4977-4979, 2012.

RAD, M. N.; KOOHKAN, S.; FANAIEI, H. R.; KHAJEDAD, M. Multivariate analysis to determine relationship between phenological traits with yield components in native melon population (*Cucumis melo*. L). *Scientific Journal of Crop Science*, 3(5), 48-54, 2014.

REGO, E.R. do; REGO, M.M. do; CRUZ, C.D.; CECON, P.R.; AMARAL, D.S.S.L.; FINGER, F. Genetic diversity analysis of peppers: a comparison of discarding variable methods. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 3, n. 1, p. 19-26, 2003.

REIF, Jochen C.; MELCHINGER, Albrecht E.; FRISCH, Matthias. Genetical and mathematical properties of similarity and dissimilarity coefficients applied in plant breeding and seed bank management. **Crop Science**, v. 45, n. 1, p. 1-7, 2005.

- REIS, E. Estatística Multivariada Aplicada. Lisboa: Edições Silabo, 1997. 343p
- ROCHA, M. C. et al. Descritores quantitativos na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro do grupo cereja. *Ciência Rural*, v. 39, n. 3, p. 664-670, 2009.
- SANTOS BENTO, C. et al. Descritores qualitativos e multicategóricos na estimativa da variabilidade fenotípica entre acessos de pimentas. **cientia AgraSria**, v. 8, n. 2, 2007.
- SÁVIO, F. L. et al. Métodos de agrupamento em estudo de divergência genética de pimentas. 2012.
- SILVA, A. R. et al. Métodos de agrupamento: avaliação e aplicação ao estudo de divergência genética em acessos de alho. 2012.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, v. 41, p. 237-245, 1981.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. James. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962.
- UKAI, Y. Effectiveness and efficiency of mutagenic treatments. In: *Gamma Field Symposia*. 2006. p. 1-15.
- VAN DEN BULK, R. W. et al. Somaclonal variation in tomato: effect of explant source and a comparison with chemical mutagenesis. *Theoretical and applied genetics*, v. 80, n. 6, p. 817-825, 1990.
- DE VASCONCELOS, Carla Sigales et al. Determinação da dissimilaridade genética entre acessos de *Capsicum chinense* com base em características de flores. *Revista Ceres*, v. 59, n. 4, p. 493-498, 2012. *Ceres*, 59(4): 493-498.
- WICHERN, Dean W.; JOHNSON, Richard Arnold. *Applied multivariate statistical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1992.