

## Efeitos da radiação gama e temperaturas de armazenamento nas características físico-químicas de cenoura minimamente processadas, pré-cozidas e embaladas à vácuo

Effects of gamma radiation and storage temperatures on the physicochemical characteristics of minimally processed, precooked and vacuum packed carrots

Efectos de la radiación gamma y las temperaturas de almacenamiento sobre las características físicoquímicas de zanahorias mínimamente procesadas, precocidas y envasadas al vacío

Recebido: 10/06/2022 | Revisado: 19/06/2022 | Aceito: 28/06/2022 | Publicado: 06/07/2022

**Vanessa de Cillos Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2844-336X>  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Brasil  
E-mail: [vanessa.cillos@fatec.sp.gov.br](mailto:vanessa.cillos@fatec.sp.gov.br)

**Fabício José Piacente**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8306-4541>  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Brasil  
E-mail: [fabício.piacente@cps.sp.gov.br](mailto:fabício.piacente@cps.sp.gov.br)

**Valter Arthur**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3521-9136>  
Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Brasil  
E-mail: [arthur@cena.usp.br](mailto:arthur@cena.usp.br)

**Sônia Maria de Stefano Piedade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1336-1246>  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Brasil  
E-mail: [soniamsp@usp.br](mailto:soniamsp@usp.br)

### Resumo

A irradiação de alimentos tem se mostrado eficiente em relação ao controle de patógenos em alimentos minimamente processados e no aumento do tempo de prateleira destes produtos. O presente trabalho teve como objetivos avaliar a ação de diferentes doses de radiação e temperaturas de armazenamento em cenoura minimamente processadas, pré-cozidas e embaladas a vácuo. As amostras foram submetidas à radiação gama em fonte  $^{60}\text{Co}$  Multipropósito no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares nas doses 0 kGy (testemunha); 1,0 kGy; 2,0 kGy e 3,0 kGy e armazenadas em temperatura ambiente, geladeira ( $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) e freezer ( $-18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). Os parâmetros físico-químicos analisados foram: teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH, cor, carotenoides totais e firmeza. Essas análises foram feitas uma vez por semana durante o período de três semanas. O método estatístico utilizado foi análise de variância (nível de significância de 5%), seguidas do teste de Tukey. Constatou-se que o uso do processo de irradiação, para a maioria dos casos, não afetou significativamente os parâmetros físico-químicos das amostras analisadas. A acidez titulável e o pH foram os parâmetros mais influenciados pelo uso das diferentes doses de radiação ao longo do período de armazenamento. Observou-se aumento nos valores de pH nos tratamentos com doses de radiação. As temperaturas de armazenamento mais baixas (geladeira e freezer) foram mais eficientes para a manutenção das características dos produtos ao longo do período de armazenamento. No geral, as doses de 1kGy e 3kGy foram as que apresentaram valores mais próximos aos da testemunha para os parâmetros analisados.

**Palavras-chave:** Cobalto 60; Análise de variância; Teste de Tukey; Amostras.

### Abstract

Food irradiation has been shown to be efficient in terms of controlling pathogens in minimally processed foods and increasing the shelf life of these products. The present work aimed to evaluate the action of different radiation doses and storage temperatures on minimally processed, pre-cooked and vacuum-packed carrots. The samples were submitted to gamma radiation in a  $^{60}\text{Co}$  Multipurpose source at the Institute of Energy and Nuclear Research at doses of 0 kGy (control); 1.0 kGy; 2.0 kGy and 3.0 kGy and stored at room temperature, refrigerator ( $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) and freezer ( $-18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). The physicochemical parameters analyzed were: soluble solids content, titratable acidity, pH, color, total carotenoids and firmness. These analyzes were performed once a week for a period of three weeks. The statistical method used was analysis of variance (significance level of 5%), followed by Tukey's test. It was found that the use of the irradiation process, for most cases, did not significantly affect the physicochemical parameters of the analyzed

samples. Titratable acidity and pH were the parameters most influenced by the use of different radiation doses throughout the storage period. An increase in pH values was observed in treatments with radiation doses. Lower storage temperatures (refrigerator and freezer) were more efficient in maintaining the characteristics of the products throughout the storage period. In general, the doses of 1kGy and 3kGy were the ones that presented values closer to those of the control for the analyzed parameters.

**Keywords:** Cobalt 60; Analysis of variance; Tukey test; Samples.

### Resumen

Se ha demostrado que la irradiación de alimentos es eficaz en términos de control de patógenos en alimentos mínimamente procesados y aumento de la vida útil de estos productos. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la acción de diferentes dosis de radiación y temperaturas de almacenamiento sobre zanahorias mínimamente procesadas, precocidas y envasadas al vacío. Las muestras fueron sometidas a radiación gamma en una fuente Multipropósito de  $^{60}\text{Co}$  en el Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares a dosis de 0 kGy (control); 1,0 kGy; 2,0 kGy y 3,0 kGy y almacenado a temperatura ambiente, frigorífico ( $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) y congelador ( $-18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron: contenido de sólidos solubles, acidez titulable, pH, color, carotenoides totales y firmeza. Estos análisis se realizaron una vez por semana durante un período de tres semanas. El método estadístico utilizado fue el análisis de varianza (nivel de significancia del 5%), seguido de la prueba de Tukey. Se encontró que el uso del proceso de irradiación, en la mayoría de los casos, no afectó significativamente los parámetros fisicoquímicos de las muestras analizadas. La acidez titulable y el pH fueron los parámetros más influenciados por el uso de diferentes dosis de radiación a lo largo del período de almacenamiento. Se observó un aumento de los valores de pH en los tratamientos con dosis de radiación. Las temperaturas de almacenamiento más bajas (refrigerador y congelador) fueron más eficientes para mantener las características de los productos durante todo el período de almacenamiento. En general, las dosis de 1kGy y 3kGy fueron las que presentaron valores más cercanos a los del control para los parámetros analizados.

**Palabras clave:** Cobalto 60; Análisis de variación; Prueba de Tukey; Muestras.

## 1. Introdução

O estilo de vida e os hábitos alimentares dos consumidores vêm sofrendo alterações significativas nos últimos anos. Os consumidores estão em busca de alimentos saudáveis e práticos, característica que tem resultado no aumento da demanda por alimentos minimamente processados.

A definição de minimamente processado se refere a qualquer fruta, hortaliça ou combinação delas que sofreu alteração de sua forma original, ou seja, que passou por processos como seleção, lavagem, desinfecção, descascamento, corte, centrifugação e embalagem, tornando-se utilizável em sua totalidade (Moretti, 1999). A principal preocupação é manter as características sensoriais e nutricionais do produto fresco.

A tecnologia conhecida como “ready to eat” pode aliar ao minimamente processado técnicas como o pré-cozimento, por exemplo, podendo ser extremamente interessante quando o requisito é agregar valor.

O pré-cozimento realizado pode manter ou diminuir a quantidade de água no alimento, se comparado ao alimento cru. A diminuição da quantidade de água disponível no alimento ocasiona menores danos provenientes da radiólise da água durante o processo de irradiação. A radiólise da água promove a quebra das moléculas de água formando produtos danosos ao alimento, tais como, radicais livres e água oxigenada (Bellintani & Gili, 2002).

Gomes et al. (2020) avaliou a qualidade de jaca dura minimamente processada submetida a diferentes recobrimentos comestíveis, a base de amido de batata doce branca, de batata doce roxa, de fruta-pão e quitosana. Foram analisados oito tratamentos diferenciados com o objetivo que verificar a manutenção da aparência, frescor, superfície brilhosa e ausência de manchas. O uso do recobrimento comestível com base de Quitosana 2% + Amido de Fruta Pão 1% + Glicerol 2% (T8) proporcionou melhor qualidade físico-química, com a menor perda de massa, melhor correlação entre perda de massa e aparência, e melhor constância dos sólidos solúveis, acidez, pH e SS/AT, mantendo-as de forma satisfatória para a comercialização, sem prejuízos as características físico-químicas de qualidade por um período de 10 dias.

Paz de Lima et. al. (2021) estudou melões minimamente processados a fim de verificar formulação de recobrimento que proporcione um maior período de conservação pós-corte. Os frutos foram minimamente processados em cubos e

submetidos aos polímeros naturais por imersão, em quatro tratamentos distintos. Os polímeros naturais desenvolvidos, associados a refrigeração, formaram filme sobre a superfície dos melões minimamente processados, proporcionando menor perda de massa aos frutos, garantindo estabilidade quanto aos teores de pH e acidez titulável.

O uso da embalagem a vácuo para o armazenamento dos produtos foi escolhida para reduzir a formação de peróxido de hidrogênio. Em sistemas aquosos irradiados o peróxido de hidrogênio depende da presença do oxigênio, quando o oxigênio é excluído pouca água oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) é produzida. Portanto, para se evitar a formação de peróxido de hidrogênio pode se irradiar os produtos a vácuo, em nitrogênio ou outros gases inertes.

A irradiação de alimentos é “um processo físico que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitária, fitossanitária e tecnológica” (Brasil, 2001). É uma técnica considerada fria, por não causar elevações significativas de temperatura durante o processo (Merritt Junior et al., 1985). Ela tem se mostrado eficiente em relação ao controle de patógenos em alimentos minimamente processados e no aumento do tempo de prateleira destes produtos.

Levy et al. (2020) apresentou um panorama histórico da evolução do processo de irradiação de alimentos no Brasil, analisando questões regulatórias nacionais, técnicas utilizadas e aportes nos cenários social, sanitário e econômico. O objetivo dos autores foi fornecer à comunidade científica uma perspectiva abrangente sobre a atual situação da irradiação de alimentos no Brasil, proporcionando novas reflexões sobre eventos passados, limitações atuais e possibilidades futuras. Por fim o artigo apresentou a equivocada percepção de risco por parte da população e a necessidade de ações para impulsionar a aceitação pública, dentre as quais, o desenvolvimento de programas de comunicação e informação junto ao público leigo que desconhece as contribuições das aplicações pacíficas da tecnologia nuclear.

A utilização da técnica de irradiação tem sido estudada e vem apresentando resultados satisfatórios em relação à conservação de alimentos na maioria dos experimentos analisados. Nos estudos realizados nos últimos anos não foram encontradas substâncias que sejam produzidas exclusivamente em alimentos irradiados (Rela, 2000).

Segundo Bianchessi et al. (2021), a irradiação de alimentos é um método mundialmente reconhecido como efetivo para o controle microbiano em alimentos, sejam estes frescos, na forma de grãos ou mesmo industrializados. Assim, as doenças transmitidas por alimentos podem ser minimizadas pelo uso da irradiação de alimentos, a qual reduz significativamente a prevalência de patógenos.

A irradiação não torna o alimento radioativo quando exposto a esse processo, independente da dose e do tempo de exposição. Ela passa pelo alimento e não deixa resíduo. Os produtos irradiados podem ser armazenados, transportados ou consumidos logo após o tratamento (ICGFI, 1999).

Moura et al. (2020) avaliou a aplicação tecnológica da fécula irradiada de açafrão submetida a diferentes doses de radiação (0; 2,5; 5; 7,5 e 10 kGy) em bolo de cenoura. As análises realizadas nos bolos foram: umidade, proteínas, lipídeos, cinzas, carboidratos, volume específico, cor instrumental da crosta e do miolo, perfil de textura, análises microbiológicas e análise sensorial de aceitação, intenção de compra e índice de aceitabilidade. O padrão de qualidade dos bolos apresentou-se em concordância com a legislação. Os autores observaram que as doses de radiação influenciaram nos teores de proteínas e cinza e na cor da crosta e do miolo dos bolos, por fim, o índice de aceitabilidade para os bolos foi superior a 80%, indicando que a substituição parcial do trigo pela fécula do açafrão irradiado se mostrou viável.

Esse trabalho teve como objetivos avaliar a ação de diferentes doses da radiação gama em cenoura minimamente processadas, pré-cozidas e embaladas à vácuo com relação aos parâmetros físico-químicos e verificar a influência de diferentes temperaturas no armazenamento desses produtos.

## 2. Metodologia

As amostras de cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e embaladas em polipropileno à vácuo foram submetidas à radiação gama proveniente de uma fonte de  $^{60}\text{Co}$  Multipropósito no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), com doses de 0 kGy (testemunha); 1,0 kGy; 2,0 kGy e 3,0 kGy, sob uma taxa de dose de 7,5 kGy/hora. Os parâmetros físico-químicos foram analisados uma vez por semana durante três semanas, ou seja, no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento após a irradiação. As amostras foram armazenadas em diferentes temperaturas: temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ), geladeira ( $8^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) e freezer ( $-18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).

### 2.1 Teor de Sólidos Solúveis

Foram determinados em refratômetro de bancada e expressados em °Brix, de acordo com AOAC (2005).

### 2.2 Acidez Titulável

Foi realizada por titulação com solução de NaOH 0,1M, utilizando-se como indicador para o ponto de viragem a fenolftaleína 0,1%. O resultado foi expresso em porcentagem de ácido cítrico.

Segundo Medeiros et al. (2009), o cálculo para a determinação da acidez titulável (em ácido cítrico) foi obtido por meio da Equação 1:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{Vg \times M \times f \times \text{Eq.Ac.}}{10 \times g} \quad (1)$$

Onde: Vg é o volume de NaOH gasto em mL; M é molaridade da solução de NaOH utilizada (0,1 M); f é o fator de correção obtido a padronização do NaOH (1,00); Eq.Ac. é o equivalente ácido, que para o ácido cítrico é 192; g é massa da amostra em gramas (10 g).

### 2.3 pH

Foi determinado utilizando-se pH-metro digital, segundo metodologia proposta pela AOAC (2005).

### 2.4 Cor

Foi utilizado colorímetro Minolta CR-200 b calibrado previamente na cor branca (Bible e Singha, 1997). Os valores foram mensurados em  $a^*$ ,  $b^*$  e L, onde  $a^*$  caracteriza as cores do vermelho ( $+a^*$ ) ao verde ( $-a^*$ );  $b^*$ , do amarelo ( $+b^*$ ) ao azul ( $-b^*$ ) e L (luminosidade) varia do branco (L=100) ao preto (L=0).

Determinou-se os valores de croma (C) e do ângulo Hue ( $H^{\circ}$ ), mediante os valores obtidos por  $a^*$  e  $b^*$ , conforme as Equações 2 e 3, respectivamente (Estevez e Cava, 2004):

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (2) \quad H^{\circ} = \text{arctg}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

### 2.5 Carotenoides Totais

Segundo metodologia adaptada de Moretti et al. (1998), foram determinados o teor de carotenoides totais através da extração com hexano e acetona. O extrato foi filtrado a vácuo até a perda total de cor e os pigmentos contendo carotenoides foram lavados três vezes com 100 mL de água destilada para a remoção do hexano e da acetona. Após, os resultados foram determinados em espectrofotômetro com comprimento de onda de 460 nm.

Os teores de carotenoides foram calculados pela Equação 4:

$$CT = \frac{(A_{460} \times 10^6)}{2200 \times m} \quad (4)$$

Onde: Ct é a concentração de carotenoides totais (mg.kg<sup>-1</sup>); A460 é absorvância dos pigmentos a 460 nm; m é massa do tecido fresco em gramas (8 g).

## 2.6 Firmeza

Determinada com o auxílio de um penetrômetro de bancada com ponteira de 6.6 mm de diâmetro, através de três medições aleatórias, obtendo-se a pressão requerida à penetração em kg.mm<sup>-2</sup> (Coelho, 1994).

## 2.7 Análise Estatística

O delineamento experimental para as análises físico-químicas foi inteiramente casualizado em blocos no esquema fatorial 3x4 com três repetições. Foram consideradas três temperaturas de armazenamento (temperatura ambiente, geladeira e freezer) e quatro doses de radiação (0 kGy, 1 kGy, 2 kGy e 3 kGy).

Foi realizado o teste F da variância e, posteriormente, o teste de Tukey para comparar as médias ao nível de 5% de significância. As análises foram feitas no software SAS (Statistical Analysis System, 2009).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Teor de Sólidos Solúveis

O teor de sólidos solúveis é uma medida indireta do teor de açúcares, podendo variar de 2 a 25%, conforme algumas características, como o clima, o nível de maturação e a espécie (Chitarra & Chitarra, 2005).

Segundo dados presentes na Tabela 1, nas análises realizadas no 1º dia de armazenamento após a irradiação das amostras, verificou-se que em relação às diferentes doses de radiação utilizadas todas as doses aplicadas diferiram da testemunha (não irradiada).

**Tabela 1** – Média das análises de teor de sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico) e pH no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento para cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e irradiadas mantidas sobre diferentes temperaturas de armazenamento em relação às diferentes doses de radiação utilizadas.

Doses (kGy)	Teor de Sólidos Solúveis			Acidez Titulável			pH		
	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia
0	9,23 <sup>a</sup>	9,03	8,48	0,61 <sup>a</sup>	0,82 <sup>b</sup>	1,14 <sup>a</sup>	4,78 <sup>c</sup>	4,68 <sup>b</sup>	4,83 <sup>c</sup>
1	8,01 <sup>b</sup>	8,84	8,40	0,39 <sup>b</sup>	1,01 <sup>a</sup>	0,72 <sup>b</sup>	5,74 <sup>b</sup>	4,74 <sup>ab</sup>	4,79 <sup>d</sup>
2	8,08 <sup>b</sup>	9,04	8,43	0,35 <sup>b</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,39 <sup>c</sup>	5,97 <sup>a</sup>	4,70 <sup>b</sup>	5,45 <sup>a</sup>
3	8,30 <sup>b</sup>	8,18	8,62	0,38 <sup>b</sup>	0,82 <sup>b</sup>	0,42 <sup>c</sup>	5,78 <sup>b</sup>	4,81 <sup>a</sup>	5,37 <sup>b</sup>

Nota: Letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

Porém, nas análises realizadas no 8º e 15º dia de armazenamento não houve diferença significativa para as diferentes doses de radiação. Segundo Lima et al. (2001) as doses de radiação utilizadas (0,25 kGy, 0,50 kGy, 0,75 kGy e 1,0 kGy) não interferiram no teor de sólidos solúveis em cenouras inteiras irradiadas, portanto a irradiação não acelerou a maturidade das cenouras.

Em relação às diferentes temperaturas de armazenamento nota-se que as amostras acondicionadas em temperatura ambiente foram diferentes estatisticamente das mantidas em geladeira em todo o período analisado (Tabela 2). Porém, os resultados foram próximos e não houve uma tendência ao longo do período de armazenamento.

**Tabela 2** – Média das análises de teor de sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico) e pH no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento para cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e irradiadas mantidas sobre diferentes temperaturas de armazenamento em relação às diferentes temperaturas de armazenamento utilizadas.

Temperaturas	Teor de Sólidos Solúveis			Acidez Titulável			pH		
	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia
Ambiente	7,63 <sup>b</sup>	9,34 <sup>a</sup>	8,11 <sup>b</sup>	0,28 <sup>c</sup>	1,31 <sup>a</sup>	1,34 <sup>a</sup>	6,23 <sup>a</sup>	3,92 <sup>c</sup>	3,91 <sup>c</sup>
Geladeira	8,87 <sup>a</sup>	8,21 <sup>b</sup>	9,07 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>	0,81 <sup>b</sup>	0,47 <sup>b</sup>	4,88 <sup>c</sup>	4,20 <sup>b</sup>	4,92 <sup>b</sup>
Freezer	8,72 <sup>a</sup>	8,78 <sup>ab</sup>	8,28 <sup>b</sup>	0,38 <sup>b</sup>	0,42 <sup>c</sup>	0,20 <sup>c</sup>	5,59 <sup>b</sup>	6,09 <sup>a</sup>	6,51 <sup>a</sup>

Nota: Letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.2 Acidez Titulável

Conforme dados da Tabela 1, nas análises realizadas no 1º e 15º dia de armazenamento após a irradiação das amostras verificou-se que, em relação às diferentes doses de radiação utilizadas, todas as doses apresentaram diferença significativa se comparadas à testemunha, apresentando médias inferiores que a mesma. Lima et al. (2001) também constataram diminuição dos valores de acidez total titulável em cenouras inteiras irradiadas com aumento das doses de radiação em cenouras inteiras irradiadas, sendo estas diferentes estatisticamente da amostra controle. Nas análises feitas no 8º dia de armazenamento, verificou-se que somente a dose de 1 kGy diferiu estatisticamente à testemunha.

Nota-se diferença significativa entre as amostras armazenadas nas diferentes temperaturas (Tabela 2). A partir do 8º dia de armazenamento, as amostras mantidas em temperatura ambiente apresentaram valores para acidez titulável superiores àquelas armazenadas em geladeira e freezer. Hagenmaier e Baker (1998) verificaram que amostras de cenouras minimamente processadas e irradiadas com atmosferas modificadas apresentaram aumento nos valores de acidez quando armazenadas a 22°C. Segundo Bezerra et al. (2002) o aumento da acidez total pode ocorrer devido ao início de um processo fermentativo bacteriano com o consumo do oxigênio e produção de ácidos orgânicos, como o láctico, butírico, acético, entre outros. Isso mostra que as amostras mantidas em geladeira e freezer se encontram em melhores condições de conservação comparadas com as mantidas em temperatura ambiente. As amostras acondicionadas em temperatura ambiente deterioraram mais rapidamente.

### 3.3 pH

Em relação às diferentes doses de radiação utilizadas, observa-se na Tabela 1 que para as análises realizadas no 1º e 15º dia de armazenamento todas as doses diferiram estatisticamente da testemunha (não irradiada).

Nas análises feitas no 8º dia de armazenamento as doses de 1 kGy e 2 kGy não apresentaram diferença significativa em relação a testemunha. Nota-se, ainda, que os tratamentos com doses de radiação apresentaram valores de pH superiores ao da testemunha. Lima et al. (2001) verificaram que o parâmetro pH não obteve diferença para doses até 1 kGy para cenouras inteiras irradiadas.

Conforme dados da Tabela 2, constatou-se para todo o período analisado diferença significativa entre as temperaturas de armazenamento.

### 3.4 Cor

Os valores de croma representam a pureza da cor em relação ao cinza. Os valores próximos a zero indicam cores neutras (branco ou cinza) e valores próximos de 60 cores intensas. Os valores do ângulo Hue, que representa as diferentes tonalidades de cores existentes, podem ser medidos em graus. A cor vermelha é indicada por 0º, a cor amarela por 90º, a cor verde-azulada por 180º e a cor azul por 270º (Mcguire, 1992).

Para o parâmetro croma, verificou-se que, nas análises feitas no 1º e 8º dia de armazenamento após a irradiação das



amostras, para a dose de 3 kGy a inexistência de diferença significativa em relação a testemunha (Tabela 3). Para as análises realizadas no 15º de armazenamento não houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos.

**Tabela 3** – Média das análises de croma e ângulo Hue (em radiano) no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento para cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e irradiadas mantidas sobre diferentes temperaturas de armazenamento em relação às diferentes doses de radiação utilizadas.

Doses (kGy)	Croma			Ângulo Hue		
	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia
0	59,31 <sup>a</sup>	55,51 <sup>b</sup>	54,68	1,11	1,13	1,12
1	54,09 <sup>b</sup>	49,68 <sup>c</sup>	54,90	1,12	1,12	1,13
2	56,04 <sup>ab</sup>	61,44 <sup>a</sup>	51,80	1,12	1,14	1,12
3	56,25 <sup>ab</sup>	56,74 <sup>ab</sup>	54,54	1,12	1,11	1,12

Nota: Letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação às diferentes temperaturas de armazenamento, nota-se, pelos dados apresentados na Tabela 5, que nas análises feitas no 8º e 15º dia de armazenamento houve diferença estatística entre as médias das amostras acondicionadas em geladeira e freezer. Observou-se que as amostras armazenadas em freezer, nesse período de armazenamento, apresentaram valores para croma mais próximos de 60, o que significa que mantiveram coloração mais intensa.

**Tabela 4** – Média das análises de croma e ângulo Hue (em radiano) no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento para cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e irradiadas mantidas sobre diferentes temperaturas de armazenamento em relação às diferentes temperaturas de armazenamento utilizadas.

Temperaturas	Croma			Ângulo Hue		
	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia
Ambiente	56,38	55,58 <sup>ab</sup>	51,83 <sup>b</sup>	1,11 <sup>b</sup>	1,13	1,13
Geladeira	57,38	53,19 <sup>b</sup>	52,40 <sup>b</sup>	1,13 <sup>a</sup>	1,12	1,12
Freezer	55,51	58,75 <sup>a</sup>	57,72 <sup>a</sup>	1,11 <sup>b</sup>	1,13	1,13

Nota: Letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o parâmetro o ângulo Hue observou-se que convertendo os valores de radiano para graus estes apresentaram valores entre 63,6º a 64,7º que representam valores entre a tonalidade vermelha e amarela, o que pode ser definido como alaranjado. Conforme dados presentes na Tabela 4, verifica-se, no geral, que as doses de radiação e as diferentes temperaturas de armazenamento utilizadas não causaram diferenças significativas entre os tratamentos para o parâmetro ângulo Hue.

### 3.5 Carotenoides Totais

Os carotenoides estão relacionados à pigmentação natural, que variam do amarelo ao vermelho. Podem ser encontrados em folhas verdes, frutos, flores, sementes, raízes, algas, bactérias fungos e leveduras (Fabbri, 2009).

Os dados da Tabela 5 mostram que, em relação às diferentes doses de radiação, nas análises realizadas no 1º e 8º dia de armazenamento a dose de 1 kGy não apresentou diferença significativa quando comparada à testemunha (não irradiada). Lima et al. (2001) verificaram que doses de até 1 kGy não apresentaram diferença significativa (ao nível de 5%) nas amostras de cenouras inteiras irradiadas.

**Tabela 5** – Média das análises de carotenoides totais e firmeza (kg/mm<sup>2</sup>) no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento para cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e irradiadas mantidas sobre diferentes temperaturas de armazenamento em relação às diferentes doses de radiação utilizadas.

Doses (kGy)	Carotenoide			Firmeza		
	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia
0	53,47 <sup>c</sup>	54,79 <sup>a</sup>	39,32 <sup>b</sup>	6,20 <sup>a</sup>	3,41	3,59 <sup>a</sup>
1	54,41 <sup>c</sup>	43,96 <sup>b</sup>	40,33 <sup>b</sup>	5,31 <sup>ab</sup>	3,31	3,49 <sup>ab</sup>
2	65,78 <sup>a</sup>	51,45 <sup>a</sup>	58,89 <sup>a</sup>	5,95 <sup>ab</sup>	3,07	2,83 <sup>b</sup>
3	60,55 <sup>b</sup>	51,10 <sup>a</sup>	58,54 <sup>a</sup>	3,53 <sup>b</sup>	3,18	2,83 <sup>b</sup>

Nota: Letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação às diferentes temperaturas de armazenamento (Tabela 6), não foi observado tendência nos resultados.

**Tabela 6** – Média das análises de teor de carotenoides totais e firmeza (kg/mm<sup>2</sup>) no 1º, 8º e 15º dia de armazenamento para cenouras minimamente processadas, pré-cozidas e irradiadas mantidas sobre diferentes temperaturas de armazenamento em relação às diferentes temperaturas de armazenamento utilizadas.

Temperaturas	Carotenoide			Firmeza		
	1º dia	8º dia	15º dia	1º dia	8º dia	15º dia
Ambiente	65,26 <sup>a</sup>	41,68 <sup>b</sup>	61,05 <sup>a</sup>	6,17 <sup>a</sup>	3,29 <sup>b</sup>	4,28 <sup>a</sup>
Geladeira	65,41 <sup>a</sup>	32,67 <sup>c</sup>	49,00 <sup>b</sup>	4,28 <sup>ab</sup>	4,06 <sup>a</sup>	3,23 <sup>b</sup>
Freezer	44,99 <sup>b</sup>	76,62 <sup>a</sup>	37,77 <sup>c</sup>	3,81 <sup>b</sup>	2,38 <sup>c</sup>	2,05 <sup>c</sup>

Nota: Letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.6 Firmeza

Segundo dados da Tabela 5, as análises realizadas no 1º e 15º dia de armazenamento a dose de 1 kGy não diferiu estatisticamente da testemunha. As amostras não irradiadas e as submetidas à dose de 1 kGy foram as que apresentaram, no geral, maiores médias para o parâmetro firmeza, porém os tratamentos com doses de radiação apresentaram perda de firmeza quando comparados à testemunha.

Em relação às temperaturas de armazenamento, a temperatura de 5°C±1°C (geladeira) foi a mais eficiente na manutenção do parâmetro firmeza ao longo do período de armazenamento (Tabela 6). Barry-Ryan e O’Bern (2000) verificaram aumento de firmeza em cenouras minimamente processadas armazenadas sob diferentes temperaturas e embalagens durante os primeiros 4 dias de armazenamento. Após o 6º dia de armazenamento, os valores para o parâmetro firmeza se estabilizaram e a partir do 8º dia de armazenamento, houve redução nos valores de firmeza para a maioria dos tratamentos. Os mesmos autores associaram a queda na firmeza à degradação celular, favorecendo assim o aumento da carga microbiana e da atividade metabólica.

## 4. Considerações Finais

Os parâmetros acidez total titulável e pH foram os mais afetados pelo tratamento com doses de radiação. Houve aumento dos valores de pH nos tratamentos com irradiação, quando comparados às testemunhas. Para o parâmetro acidez total titulável ocorreu o inverso, ou seja, diminuição dos valores nas amostras irradiadas.

Portanto, em relação aos parâmetros físico-químicos, concluiu-se que, de maneira geral, os tratamentos com irradiação não causaram diferenças significativas para os parâmetros analisados e que as doses de 1kGy e 3kGy foram as que apresentaram valores mais próximos aos da testemunha. Em relação às diferentes temperaturas de armazenamento, as



temperaturas mais baixas (geladeira com 5°C+1°C e freezer -18°C+1°C) foram mais eficientes para a manutenção das características dos produtos ao longo do período de armazenamento.

Recomenda-se para futuras pesquisas que trabalhem com diferentes doses de radiação gama, técnicas de processamento e tipos de embalagens para verificar o comportamento das características físico-químicas analisadas nesse trabalho.

## Referências

- AOAC (2005). *Official methods of analysis of AOAC international*. Gaithersburg: AOAC International.
- Barry-Ryan, C. & O'Beirne, D. (2000). Quality of shredded carrots as affect by packaging film and storage temperature. *Journal of Food Science*, 65, 726-730.
- Bellintani, A. S. & Gili, F. N. (2002). *Noções básicas de proteção radiológica*. IPEN, 53 p.
- Bezerra, V. S., Pereora, R. G. F. A., Carvalho, V. D. & Vilela, E. R. (2002). Raízes de mandioca minimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e conservação. *Ciência e Agrotecnologia*, 26(3), 564-575.
- Bianchessi, S., Braccini, V. P., Rüchel, R., Arbello, D. D. R., Erhardt, M.M. & Jiménez, M. S. E (2021). Utilizando o método irradiação para a conservação dos alimentos. *Brazilian Journal of Development*, 7(8), 80247-80254.
- Bible, B. B. & Singha, S. (1997). Canopy position influences cielab coordinates of peach color. *Hortscience*, St. Joseph, 28(10), 992-993.
- Brasil (2001). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC Nº 21 DE 26 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico para irradiação de alimentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, n. 20-E, 29 jan. 2001. Seção 1, p. 35.
- Chitarra, M. I. F. & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. UFLA, 785 p.
- Coelho, A. H. R. (1994). Qualidade pós-colheita de pêssegos. *Informe Agropecuário*, 17(180), 31-39.
- Estevez, M. & Cava, R. (2004). Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pate. *Meat Science*, Barking, 68, 51-558.
- Fabrizi, A. D. T. (2009). *Estudo da radiação ionizante em tomates in natura (Lycopersicon Esculentum Mill) e no teor de licopeno do molho*. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, 85 p.
- Gomes, J. S., Santos, A. F., Bezerra, J., Silva, R. S., Oliveira, A. S., Paz de Lima, M. E. & Silva, A. A. K. (2020). Recobrimento comestível em jacas minimamente processadas. *Research, Society and Development*, 9(12), e33891211044.
- Hagenmaier, R. D. & Baker, R. A. (1998). Microbial population of shredded carrot in modified atmosphere packaging as related to irradiation treatment. *Journal of Food Science*, 63(1), 162-164.
- International Consultative Group on Food Irradiation - ICGFI. (1999). *Facts about food irradiation*. Vienna.
- Levy, D., Sordi, G. M. A. A. & Villavicencio, A. L. C. H. (2020). Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*. 08-03 (2020) 01-16.
- Lima, K. S. C., Grossi, J. L. S., Lima, A. L. S., Alves, P. F. M. P., Coneglian, R. C. C., Godoy, R. L. O. & Sabaa-Srur, A. U. O. (2001). Efeito da irradiação ionizante  $\gamma$  na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota L.*) cv. NANTES. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21(2), 202-208.
- Mcguire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, St. Joseph, 27(12), 1254-1255.
- Medeiros, S. A. F., Amanishi, O. K., Peixoto, J. R., Pires, M. C., Junqueira, N. T. L. & Ribeiro, J. G. B. L. (2009). Caracterização físico-química de progênies de maracujá-roxo e maracujá-azedo cultivados no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(2), 492-499.
- Merritt Junior, C., Vajdi, M. & Angelini, P. (1985). A quantitative comparison of the yields of radiolytic products in various meats and their relationship to precursors. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 62,708-713.
- Moretti, C. L., Sargent, S. A., Huber, D. J., Calbo, A. G. & Puschmann, R. (1998). Chemical composition and physical properties of pericarp, locule and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4), 656-660.
- Moretti, C. L. (1999). Processamento mínimo de hortaliças: alternativa viável para a redução de perdas pós-colheita e agregação de valor ao agronegócio brasileiro. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, 17(2), 1.
- Moura, B. A., Santos, A. C., Barros, S. K. A., Arthur, V., Souza, A. R. M. & Silveira, M. F. A. (2020). Aplicação tecnológica de fécula de açafrão (*Curcuma Longa L.*) irradiada. *Research, Society and Development*, 9(12), e24091211103.
- Paz de Lima, M. E., Santos, A. F., Silva, R. S., Gomes, J. S., Oliveira, A. S., Bezerra, J. M. & Felix de Sousa, S. M. (2021). Melão amarelo minimamente processado submetido a diferentes polímeros naturais. *Research, Society and Development*, 10(15), e144101522906.
- Rela, P.R. (2000). Cresce uso de irradiação para conservação de alimentos. *Engenharia de Alimentos*, 6(29), 26-29.
- Statistical Institute Inc. (2009). *SAS® software*. Version 9.2. Cary, NC.