



IX congresso ibérico de  
**AGROENGENHARIA**  
IX congresso ibérico de  
**AGROINGENIERÍA**

---

**livro de atas · libro de actas**

organização · organización



Sociedad Española de Agroingeniería

**IX Congresso Ibérico de Agroengenharia**

**IX Congreso Ibérico de Agroingeniería**

**Livro de Atas**

**Libro de Actas**

**Título: IX Congresso Ibérico de Agroengenharia: Livro de Atas = IX Congreso Ibérico de Agroingeniería: Libro de Actas**

**Editores: José Carlos Barbosa      Instituto Politécnico de Bragança, Portugal**  
**António Castro Ribeiro      Instituto Politécnico de Bragança, Portugal**

**Execução gráfica: Serviços de Imagem do Instituto Politécnico de Bragança**

**Edição: 1ª edição, 2018**

**Instituto Politécnico de Bragança**  
**Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal**

**ISBN 978-972-745-247-7**

**DOI: <https://doi.org/10.34620/9cia.2018>**

**URI: <http://hdl.handle.net/10198/17982>**

Por favor, use o seguinte formato para citação dos trabalhos apresentados nestas Atas:

Autor(s) (2018). Título. In: J. C. Barbosa, A. C. Ribeiro (Eds.) Atas do IX Congresso Ibérico de Agroengenharia. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, pp. xxx-xxx.

Please, use the following format for citation:

Author(s) (2018). Title. In: J. C. Barbosa, A. C. Ribeiro (Eds.) Atas do IX Congresso Ibérico de Agroengenharia. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, pp. xxx-xxx.

## patrocinadores



Centro de Investigação  
de Montanha

**TERMOLAN**  
ISOLAMENTOS TERMO-ACÚSTICOS, S.A.



Os trabalhos incluídos nestas Atas foram apresentados no IX Congresso Ibérico de Agroengenharia que se realizou de 4 a 6 de setembro de 2017, na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança. Todos os trabalhos publicados foram sujeitos a revisão por pares, pela Comissão Científica deste Congresso.

Os textos publicados nestas Atas exprimem as ideias, pensamento e a obra dos autores, e são publicados na forma como foram apresentados. Alguns trabalhos apresentados durante o congresso podem não estar inseridos nesta publicação.

Na publicação destas Atas, os trabalhos estão agrupados por Área Temática.

## **Apresentação**

Nestas Atas publicam-se os trabalhos apresentados no IX Congresso Ibérico de Agroengenharia que se realizou de 4 a 6 de setembro de 2017, na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança.

Este congresso foi organizado conjuntamente pela Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, pela Secção Especializada de Engenharia Rural da Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal e pela Sociedad Española de Agroingeniería.

No IX Congresso Ibérico de Agroengenharia foram apresentadas cento e três comunicações orais e cinquenta e duas comunicações em forma de poster.

As comunicações estão distribuídas pelas dez áreas temáticas do congresso: Construções; Energia; Inovação Educativa em Agroengenharia; Mecanização; Tecnologia da Produção Animal e Aquicultura; Tecnologia Pós-colheita; Projetos, Meio Ambiente e Território; Solos e Águas; Tecnologias de Informação e Controlo de Processos; e Agricultura de Montanha.

Durante o IX Congresso Ibérico de Agroengenharia foram analisadas as mais avançadas inovações técnicas e metodológicas na área da Agroengenharia. Foram apresentadas comunicações orais e posters sobre o uso eficiente da água, energia e outros recursos, sustentabilidade, controlo de erosão, tratamento e valorização de resíduos, uso de TIC e tecnologias emergentes e qualidade da produção.

Nas várias sessões do congresso foram apresentados diversos trabalhos, de onde sobressaem temas relacionados com :

- a aplicação eficiente de fitossanitários e os avanços em operações mecanizadas;
- o uso eficiente da água e de novas técnicas de tratamento de águas residuais;
- a utilização de ferramentas de Zootecnia de precisão com aplicação na melhoria da eficiência de utilização dos recursos alimentares, do bem-estar animal e no controlo ambiental das instalações pecuárias;
- as novas tecnologias informáticas para modelação e simulação e o desenvolvimento de materiais sustentáveis incluindo a construção com madeira;
- o emprego de resíduos para a produção de energia, bem como a utilização sustentável da energia enquanto fator de produção;
- o uso de imagens de teledeteção e novas aplicações SIG;
- técnicas avançadas, como a interferometria, e a sua aplicação em soluções para temas sociais, culturais e económicos;
- o controlo e qualidade, e o uso de técnicas como a espectroscopia e a irradiação com vista à valorização dos produtos;
- o controlo da erosão e o uso de TIC (tecnologias de informação e comunicação) na gestão florestal.
- a possibilidade de colaboração entre disciplinas e o uso de plataformas avançadas na formação online, tendo em vista a inovação educativa em Agroengenharia.

De todas estas sessões sobressai a conclusão da importância da Agroengenharia na melhoria e modernização dos sectores produtivos, no desenvolvimento rural e na qualidade, segurança e sustentabilidade da produção de alimentos.

## **Presentación**

En este libro de Actas se publican los trabajos presentados en el IX Congreso Ibérico de Agroingeniería que se ha realizado del 4 al 6 de Septiembre de 2017 en Braganza, Portugal, en las instalaciones de la Escola Superior Agrária del Instituto Politécnico de Braganza.

Este congresso se organizó conjuntamente por la Escola Superior Agrária de Bragança, la Secção Especializada de Engenharia Rural de la Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, y por la Sociedad Española de Agroingeniería.

En el IX Congreso Ibérico de Agroingeniería se han presentado ciento tres comunicaciones orales y cincuenta y dos comunicaciones en formato poster.

Las comunicaciones presentadas abarcan las diez áreas temáticas del congreso: Construcción; Energía; Innovación Educativa en Agroingeniería; Mecanización; Tecnología de la Producción Animal y Acuicultura; Tecnología Poscosecha; Proyectos, Medio Ambiente y Territorio; Suelos y Aguas; Tecnologías de la Información y Control de Procesos; y Agricultura de Montaña.

Durante el IX Congreso Ibérico de Agroingeniería se analizaron las más avanzadas innovaciones técnicas y metodológicas del área de la Agroingeniería. Se presentaron comunicaciones orales y paneles sobre el uso eficiente del agua, energía y otros recursos, sustentabilidad, control de la erosión, tratamiento y valorización de residuos, uso de TIC y tecnologías emergentes y calidad de la producción.

En las varias sesiones del congreso se presentaron diversos trabajos, donde se destacan temas relacionados con:

- la aplicación eficiente de fitosanitarios y los avances en operaciones mecanizadas
- el uso eficiente del agua y de nuevas técnicas de tratamiento de aguas residuales
- la utilización de herramientas de Zootecnia de precisión con aplicación en la mejora de la eficiencia de utilización de los recursos alimenticios, del bienestar animal y en el control ambiental de las instalaciones pecuarias
- las nuevas tecnologías informáticas para modelación y simulación y el desarrollo de materiales sostenibles incluyendo la construcción en madera;
- el empleo de residuos para la producción de energía, así como otros temas de utilización sostenible de la energía como factor de producción;
- el uso de imágenes de teledetección y nuevas aplicaciones SIG;
- técnicas avanzadas como la interferometría, y su aplicación en soluciones para temas sociales, culturales y económicos;
- el control y calidad y el uso de técnicas como la espectroscopía y la radiación con vistas a valorar los productos
- el control de la erosión y el uso de TIC en la gestión forestal;
- la posibilidad de colaboración entre disciplinas y el uso de plataformas avanzadas en la formación on-line, teniendo en cuenta la innovación educativa en Agroingeniería

De todas estas sesiones se destaca la conclusión de la importancia de la Agroingeniería en la mejora y modernización de los sectores productivos, en el desarrollo rural y en la calidad, seguridad y sostenibilidad de la producción de alimentos.

## **Presentation**

These Proceedings publishes the works presented at the IX Iberian Congress of Agricultural Engineering, held in Braganza, Portugal, from 4 to 6 of September 2017.

The Congress was organized by School of Agriculture – Polytechnic Institute of Bragança, in collaboration with the Portuguese Specialized Section of Rural Engineering/SCAP and the Spanish Society of Agricultural Engineering .

There were presented one hundred and three oral presentations and fifty two poster presentations, covering the main fields of interest of Agricultural Engineering.

Presentations were distributed in ten thematic areas: farm building structures and environment, energy and sustainability, innovation in agricultural engineering higher education, machinery and mechanization, animal production and aquaculture technologies, post-harvest and agri-food processing, engineering and rural landscape, soil and water, information technology and agricultural processes, mountain agriculture development.

During the various technical sessions, were analyzed the most advanced techniques and methodologies in agricultural engineering.

## **Comissão Organizadora / Comité Organizador**

Presidente:

José Carlos Barbosa

Vice-presidente / Vicepresidente:

António Castro Ribeiro

Vogais / Vocales:

Arlindo Almeida

Maria José Miranda Arabolaza

Fátima Batista

José Luis García Fernández

João Verdial Andrade

Luis Leopoldo Silva

Carmen Rocamora Osorio

Álvaro César

Francisco Javier García Ramos

## **Organização / Organización**

Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Bragança

Secção Especializada de Engenharia Rural - Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal

Sociedad Española de Agroingeniería

## **Patrocinadores e Apoios / Patrocinadores e Apoyos**

EurAgEng - European Society for Agricultural Engineers

CIMO - Centro de Investigação de Montanha

Termolan - Isolamentos Termo-Acústicos, S.A. / Rocterm

Vórtice - Equipamentos Científicos, Lda.

Fundação Caixa CA - Crédito Agrícola

Câmara Municipal de Bragança

## **Comissão Científica / Comité Científico**

Presidente: Vasco Fitas da Cruz – Universidade de Évora/ICAAM  
Adélia de Sousa – Universidade de Évora/ICAAM  
Alfredo Augusto de Carvalho Aires - UTAD / CITAB  
Álvaro Ramírez Gómez – Universidad Politécnica de Madrid  
Ana Cristina Santos – Universidade de Évora/ICAAM  
Ana Isabel García García – Universidad Politécnica de Madrid  
Ana Martí de Olives – Universidad Miguel Hernández  
Andrés Martínez Rodríguez – Universidad de Valladolid  
António Bento Dias – Universidade de Évora/ICAAM  
Antonio Brasa Ramos – Universidad de Castilla – La Mancha  
Antonio Castro Ribeiro – Instituto Politécnico de Bragança  
Antonio Ruiz Canales – Universidad Miguel Hernández de Elche  
Antonio Torregrosa Mira – Universidad Politécnica de Valencia  
Arlindo Ferreira de Almeida – Instituto Politécnico de Bragança  
Bernardo Martín Gorriz – Universidad Politécnica de Cartagena  
Carmen Rocamora - Universidad Miguel Hernández  
Coral Ortíz Sánchez – Universidad Politécnica de Valencia  
Divanildo Outor Monteiro – UTAD  
Elsa Cristina Dantas Ramalhosa ESA / IPB  
Emilio Camacho Poyato – Universidad de Córdoba  
Emilio Gil Moya – Universidad Politécnica de Cataluña  
Enrique Ortí García – Universidad Politécnica de Valencia  
Enrique Relea Gangas – Universidad de Valladolid  
Esperanza Ayuga Téllez – Universidad Politécnica de Madrid  
Eugenio García Marí – Universidad Politécnica de Valencia  
Fátima Baptista – Universidade de Évora/ICAAM  
Fernando Augusto dos Santos – UTAD  
Francisco Ayuga Téllez – Universidad Politécnica de Madrid  
Francisco Javier García Ramos – Universidad de Zaragoza  
Francisco Lúcio dos Santos – Universidade de Évora/ICAAM  
Francisco Rodríguez Díaz – Universidad de Almería  
Francisco Rovira Más- Universidad Politécnica de Valencia  
Henrique Manuel da Fonseca Trindade – UTAD/CITAB  
Ignacio Díaz-Maroto – Universidad de Santiago de Compostela.  
Jaime Pires – CIMO- Centro de Investigação da Montanha, IPB  
João Manuel Serrano – Universidade de Évora/ICAAM  
José Alberto Pereira – Instituto Politécnico de Bragança  
José Antonio Flores Yepes – Universidad Miguel Hernández de Elche  
José Blasco Ivars – Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias  
José Carlos Barbosa – Instituto Politécnico de Bragança  
José Luís Garcia - Universidad Politécnica de Madrid

José Luis Torres Escribano – Universidad Pública de Navarra  
José Manuel Gonçalves – Instituto Politécnico de Coimbra  
José Maria Tarjuelo Martín-Benito – Universidad de Castilla-La Mancha  
José Rafael Marques da Silva – Universidade de Évora/ICAAM  
Luis Leopoldo Silva – Universidade de Évora/ICAAM  
Luis Manuel Navas Gracia – Universidad de Valladolid  
Luis Val Manterola – Universidad Politécnica de Valencia  
Manuel Joaquim da Costa Minhoto – Instituto Politécnico de Bragança  
Manuel Moya Ignacio – Universidad de Extremadura  
Manuel Pérez Ruiz – Universidade de Sevilla  
Margarida Maria Arrobas Rodrigues – ESA-IPB/CIMO  
Margarita Ruiz Altisent – Universidad Politécnica de Madrid  
María Ángeles Grande Ortíz – Universidad Politécnica de Madrid  
Mariano Suarez de Cepeda Martínez – Universidad de Castilla-La Mancha  
Martín Barrasa Rioja – Universidad de Santiago de Compostela  
Miguel Ángel Moreno Hidalgo – Universidad de Castilla-La Mancha  
Miguel Angel Muñoz García – Universidad Politécnica de Madrid  
Montano Pérez Teruel – Universidad Politécnica de Valencia  
Morris Villarroel Robinson – Universidad Politécnica de Madrid  
Pablo Melgarejo Moreno – Universidad Miguel Hernández  
Pablo Zarco Tejada – IAS, Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Ricardo Suay Cortés – INRA, Sophia-Antipolis, Francia  
Rosa Penélope Gutiérrez Colomer – Universidad Politécnica de Valencia  
Rosario Castro Abengoza – Universidad de León  
Salvador Calvet Sanz – Universidad Politécnica de Valencia  
Victoriano Martínez Álvarez – Universidad Politécnica de Cartagena

Indicadores de Bem-Estar Animal em Suínos na fase de crescimento e engorda Catarina Martins, Rui Charneca, Vasco Fitas da Cruz	576
Efecto del orden de toma de muestras sobre el nivel de cortisol en saliva de cerdos alojados en grupo Alba Peláez, Aranzazu Mateos, Emilio Gómez, Eduardo de Mercado, Ismael Ovejero	584
Influência de diferentes ambientes térmicos sobre a temperatura superficial de galinhas poedeiras durante a fase inicial de criação Rafaella Resende Andrade, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Luiz Fernando Teixeira Albino, Vasco Manuel Fitas da cruz, Fátima de Jesus Folgôa Baptista, Cecília de Fátima Souza, Tatiany Carvalho dos Santos, Márcia Gabrielle Lima Cândido, Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas, Carlos Gutemberg de Souza Teles Júnior	590
Levantamento da geração e emissão de amonia pelos dejetos da avicultura de postura em sistemas verticais de criação Luís França, Richard Gates, Ilda Tinoco, Cecília Souza	596
Proposta de uma Interface Gráfica do Usuário (GUI) para o dimensionamento de um sistema de resfriamento evaporativo em galpões avícolas Carlos Gutemberg de S. Teles Júnior, Richard S. Gates, Cecília F. Souza, Ilda F. F. Tinôco, Fátima J. F. Baptista <sup>5</sup> , Monique de O. Vilela	604
Efeito do calor associado a umidade relativa e velocidade do ar na ingestão de água de codornas japonesas Monique O. Vilela, Richard S. Gates, Cecília F. Souza, Ilda F. F. Tinôco, Fátima J. F. Baptista, Carlos G. S. Teles Junior, Keller S. O. Rocha, Damiana D. Rosa	614
Emisiones de amoníaco en ovino: cuantificación y comparación a partir de orina y sulfato amónico en un gradiente de temperatura Ángel Javier Aguirre, Víctor Herrera, Antonio Boné, Esperanza Horcas, Francisco Javier García-Ramos	620
Potencial fertilizante da cama de frangos submetidos a diferentes dietas e distintos ambientes térmicos Fabiano José de Brito Gomes; Cecília de Fátima Souza Ferreira; Kelle Pardim de Oliveira, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco	629
Avaliação comportamental de suínos em terminação alojados em instalações com diferentes tipos de piso Francine Aparecida Sousa, Vasco Fitas da Cruz, Daiane Cecchin, Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz, Pedro Ivo Sodrê Amaral, Alessandro Torres Campos, Jaqueline Oliveira Castro, Giane Lima Nepomuceno	639
<b>Área Temática: Tecnologia Pós-colheita / Tecnología Poscosecha</b>	<b>646</b>
Caracterização biométrica e mecânica de cultivares portuguesas de amendoeira Ivo Oliveira, Anne Meyer, Sílvia Afonso, Carlos Ribeiro, Berta Gonçalves	647
Valorização de produtos na produção de extrudidos Altino Choupina, Maria de Fátima Lopes-da-Silva, Luís Santos, Luísa Beirão-da-Costa	657
Experiencias con distintas espectroscopias en la evaluación de la calidad de aceitunas y de aceite de oliva Lourdes Lleó, Natalia Hernández-Sánchez, María Gómez-del-Campo, Margarita Ruiz-Altisent	668
A irradiação como tecnologia pós-colheita viável para conservação de cogumelos, vegetais e plantas aromáticas José Pinela, Filipa Reis, Eliana Pereira, Ângela Fernandes, M. Beatriz P.P. Oliveira, Amilcar L. Antonio, Sandra Cabo Verde, Isabel C.F.R. Ferreira	674
Influencia de la temperatura en la extracción de aceites de frutos secos mediante prensa de tornillo José Emilio Pardo, Adrián Rabadán, Eulogio López, Andrés Alvarruiz, Ricardo Gómez, Miguel Olmeda, Sergio Díaz, Carmen Gómez-Cantó, Manuel Alvarez-Ortí	685

## **A irradiação como tecnologia pós-colheita viável para conservação de cogumelos, vegetais e plantas aromáticas**

José Pinela<sup>1,2</sup>, Filipa Reis<sup>1</sup>, Eliana Pereira<sup>1,2</sup>, Ângela Fernandes<sup>1,2</sup>, M. Beatriz P.P. Oliveira<sup>2</sup>, Amílcar L. Antonio<sup>1</sup>, Sandra Cabo Verde<sup>3</sup>, Isabel C.F.R. Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal. iferreira@ipb.pt

<sup>2</sup> REQUIMTE/LAQV, Faculdade de Farmácia, Universidade do Porto, Rua Jorge Viterbo Ferreira, nº 228, 4050-313 Porto, Portugal.

<sup>3</sup> Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), IST, Universidade de Lisboa, E.N. 10, 2695-066 Bobadela, Portugal.

### **Resumo**

A irradiação é um tratamento pós-colheita utilizado para processar produtos destinados à indústria alimentar e farmacêutica. Esta tecnologia é frequentemente combinada com outros processos de conservação, tais como a secagem e o embalamento, para tirar partido de possíveis efeitos sinérgicos. De facto, a elevada perecibilidade de alguns alimentos e matérias-primas torna imprescindível aplicar tratamentos de conservação capazes de aumentar o tempo de vida útil, mas com um impacto mínimo em atributos de qualidade. Este estudo pretendeu avaliar a adequabilidade da irradiação para conservar parâmetros nutricionais de cogumelos, vegetais e plantas aromáticas durante o tempo de vida útil. O cogumelo e as plantas aromáticas foram irradiados com feixe de eletrões a uma dose máxima 10 kGy e analisadas após irradiação e passados 6 e 12 meses ou 12 e 18 meses, respetivamente. Os vegetais frescos foram irradiados numa câmara experimental de <sup>60</sup>Co a uma dose máxima de 6 kGy. Estes foram analisados antes de irradiar e após 7 ou 14 dias de armazenamento a 4 °C. O tratamento de irradiação permitiu manter mais eficazmente o perfil nutricional do cogumelos e dos vegetais durante o armazenamento, comparativamente com amostras não irradiadas. Além disso, o tempo de armazenamento teve um maior impacto no perfil nutricional do cogumelo do que a irradiação (com exceção dos ácidos gordos). No caso das plantas aromáticas, apesar de a irradiação ter atenuado perdas de qualidade durante o armazenamento, não foi possível identificar uma tendência geral pois os fatores testados tiveram efeitos dissimilares nas diferentes espécies.

**Palavras-chave:** tecnologia pós-colheita, feixe de eletrões, radiação gama, composição nutricional, qualidade alimentar

## **Irradiation as a feasible post-harvest technology for preservation of mushrooms, vegetables and aromatic plants**

### **Abstract**

Irradiation is a post-harvest treatment used to process products for the food and pharmaceutical industries. This technology is often combined with other preservation factors, such as drying and packaging, to take advantage of possible synergistic effects. In fact, the high perishability of some foods and raw materials makes imperative to apply preservation treatments capable of extending shelf-life but with minimal impact on quality attributes. This study aimed to evaluate the suitability of irradiation for preserving nutritional parameters of mushrooms, vegetables and aromatic plants during shelf-life. The mushroom and aromatic plants were electron beam irradiated at a maximum dose of 10 kGy and analyzed after irradiation and after 6 and 12 months or 12 and 18 months, respectively. The fresh vegetables were irradiated in a <sup>60</sup>Co experimental chamber at a maximum dose of 6 kGy. These were analyzed before irradiating and after 7 or 14 days of storage at 4 °C. The irradiation treatment allowed maintaining more efficiently the nutritional profile of the mushroom and vegetables during storage, as compared to non-irradiated samples. In addition, the storage time had a greater impact on the nutritional profile of the mushroom than irradiation (with the exception of fatty acids). In

the case of aromatic plants, although the irradiation attenuated quality losses during storage, it was not possible to identify a general trend since the tested factors had dissimilar effects in the different species.

**Keywords:** post-harvest technology, electron beam, gamma radiation, nutritional composition, food quality

## 1. Introdução

O processo de irradiação é um tratamento pós-colheita que consiste na exposição de alimentos embalados ou a granel a uma dose controlada de radiação ionizante. É utilizada para desinfestar e sanitizar diferentes produtos, incluindo cogumelos, vegetais e plantas aromáticas, e também para retardar processos de maturação e senescência (ICGFI 1999). Trata-se de uma alternativa sustentável face aos agentes químicos vulgarmente utilizados, não deixa resíduos no alimento e na União Europeia encontra-se regulamentada para vários produtos alimentares (Directiva 1999/3/CE).

Os cogumelos, os vegetais e as plantas aromáticas são alimentos/matérias-primas altamente perecíveis, sendo necessário submetê-los a tratamentos pós-colheita que estendam o seu tempo de vida útil e garantam a sua qualidade e segurança. Estes produtos são propensos à presença de insetos, microrganismos e parasitas, os quais aceleram os processos de degradação e representam uma ameaça para a saúde pública. A irradiação ionizante tem sido apontada como uma tecnologia de conservação eficaz e sustentável (Lacroix e Ouattara, 2000; Pinela e Ferreira, 2017), mas torna-se necessário saber qual a dose mais indicada para cada produto alimentar e matéria-prima de forma a não afetar negativamente as suas propriedades nutricionais e composição química.

O tratamento de irradiação é geralmente combinado com outros processos de conservação, tais como a secagem (remoção da atividade da água) e o embalamento (prevenção de contaminações pós irradiação), o que permite aumentar consideravelmente o tempo de prateleira. O processo de secagem permite superar problemas relacionados com a superprodução de alimentos e tempos de vida útil limitados. De facto, os produtos secos, nomeadamente os cogumelos desidratados e embalados podem ter uma vida útil superior a um ano (Walde et al., 2006). No entanto, a secagem provoca alterações indesejáveis no produto tais como perda de nutrientes, ocorrência de reações enzimáticas e fenómenos de oxidação de lípidos e vitaminas (Celestino, 2010). Além disso, a flora dominante de bactérias e fungos tem a capacidade de sobreviver por longos períodos de tempo nos alimentos desidratados caso não sejam submetidos a tratamentos de desinfeção (Almeida, 2006). O uso de matérias-primas de qualidade microbiológica é também um requisito imprescindível no setor dos frutos e vegetais embalados prontos a consumir (Pinela e Ferreira, 2017) e na indústria farmacêutica (Haleem et al., 2014; Ibrahim et al., 2014).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do tratamento de radiação ionizante (radiação gama e/ou feixe de eletrões) sobre a composição nutricional e teores em açúcares e tocoferóis de diferentes produtos agrícolas, nomeadamente cogumelos, vegetais frescos e plantas aromáticas.

## 2. Material e Métodos

**Amostras:** Exemplares silvestres de *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer (cogumelo frade), *Nasturtium officinale* R. Br. (agrião) e *Rumex induratus* Boiss. & Reut (azedas) foram colhidos na região de Bragança, Portugal. As plantas aromáticas *Aloysia citrodora* P. (lúcia-lima), *Melissa officinalis* L. (erva-cidreira), *Melittis melissophyllum* L. (betónia-bastarda) e *Mentha piperita* L. (hortelã-pimenta) foram fornecidas pela empresa Pragmático Aroma Lda. de Alfândega da Fé, Portugal, sob a forma desidratada.

**Processamento das amostras:** As amostras de *M. procera* foram desidratadas numa estufa a 30 °C e seguidamente irradiadas com feixe de eletrões a 0,5, 1 e 6 kGy. A análise foi realizada após irradiação e passados 6 e 12 meses de armazenamento. As amostras secas de *A. citrodora*, *M. officinalis*, *M. melissophyllum* e *M. piperita* foram reduzidas a pó e irradiadas a 10 kGy com feixe de eletrões. A

análise foi realizada após irradiação e passados 12 e 18 meses de armazenamento. O processo de irradiação com feixe de eletrões foi realizado no Instituto Nuclear de Química e Tecnologia (INCT) em Varsóvia, Polónia. Os exemplares de *N. officinale* e *R. induratus* foram lavados em água corrente e uma porção prontamente analisada (controlo não armazenado). O restante material fresco foi embalado em sacos esterilizados de polietileno e seguidamente irradiado a 1, 2 e 5 ou 6 kGy (doses de radiação gama estimadas), respetivamente, numa câmara experimental de  $^{60}\text{Co}$  situada no Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN) em Lisboa, Portugal. As amostras foram armazenadas a 4 °C durante 7 e 12 dias (para *N. officinale* e *R. induratus*, respetivamente) e finalmente analisadas. Um grupo controlo não irradiado (0 kGy) seguiu todos os ensaios realizados.

*Avaliação da composição nutricional:* Os teores de água, proteínas, lípidos e cinzas foram determinados seguindo os procedimentos das normas AOAC (AOAC, 2016). O teor de glúcidos foi estimado por diferença utilizando a Equação (1) e a energia foi calculada utilizando a Equação (2).

$$\text{Glúcidos (g)} = 100 - (\text{g água} + \text{g proteínas} + \text{g lípidos} + \text{g cinzas}) \quad (1)$$

$$\text{Energia (kcal)} = 4 \times (\text{g proteínas}) + 4 \times (\text{g glúcidos}) + 9 \times (\text{g lípidos}) \quad (2)$$

*Análise de compostos individuais:* Açúcares, tocoferóis e ácidos gordos foram determinados seguindo os procedimentos descritos por Fernandes et al. (2014), Pereira et al. (2015) e Pinela et al. (2016a,b). A análise de açúcares e tocoferóis foi realizada num sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) acoplado a um detetor de índice de refração ou de fluorescência, respetivamente. Estes foram identificados por comparação cromatográfica com padrões comerciais e quantificados através do método do padrão interno (PI, melezitose e tocol, respetivamente). A análise dos ácidos gordos foi realizada num sistema de cromatografia gasosa acoplado a um detetor de ionização de chama (GC-FID). Estes foram identificados por comparação dos tempos de retenção relativos dos picos FAME (ésteres metílicos de ácidos gordos) das amostras com padrões comerciais e expressos em percentagem relativa de cada ácido gordo.

*Análise estatística:* Os dados foram tratados utilizando o *software* SPSS, versão 22.0 (SPSS Inc). As diferenças induzidas pela irradiação nos parâmetros nutricionais dos vegetais frescos foram avaliadas usando uma análise de variância a um fator (ANOVA). O cumprimento dos requisitos da ANOVA foi testado por meio dos testes de Shapiro-Wilk's e Levene. Para as amostras de *M. procer*a e plantas aromáticas, foi realizada uma ANOVA com soma de quadrados tipo III utilizando o procedimento do modelo linear geral (GLM). As variáveis dependentes foram analisadas por ANOVA bidirecional, considerando os fatores FE (dose de feixe de eletrões) e TA (tempo de armazenamento). A interação (FE×TA) também foi avaliada; quando significativa, as diferenças foram analisadas a partir das parcelas de médias marginais estimadas e, quando não estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ), os meios pertencentes a cada fator foram comparados pelo teste t-student.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Efeito na composição de *M. procer*a

Os resultados da composição nutricional, energia e conteúdo em açúcares das amostras secas de *M. procer*a submetidas a diferentes doses de irradiação (0,5, 1 e 6 kGy) e tempos de armazenamento (0, 6 e 12 meses) são apresentados na Tabela 1. Os teores de proteínas, lípidos e cinzas apresentaram uma tendência a decrescer com o tempo de armazenamento, fenómeno que afetou o teor de glúcidos, macronutrientes que aumentaram ao longo do tempo. Por outro lado, o tratamento de irradiação não causou alterações significativas, com exceção do menor valor proteico nas amostras irradiadas com a dose de 0,5 kGy. Relativamente aos açúcares, a trealose ( $\approx 9$  g/100 g massa seca) e o manitol ( $\approx 5$  g/100 g massa seca) foram os açúcares predominantes, sendo a frutose e a melezitose encontradas em menor quantidade nas amostras não armazenadas. A irradiação aplicada não

provocou alterações particulares, com exceção dos maiores teores de frutose em amostras irradiadas a 0,5 kGy; por outro lado, a trealose e o manitol foram detetados em maior quantidade nas amostras não armazenadas.

A Tabela 2 apresenta os efeitos da irradiação e do tempo de armazenamento nos teores de tocoferóis e ácidos gordos das amostras secas de *M. procera*.  $\delta$ -Tocoferol foi a isoforma encontrada em maior quantidade ( $\approx 60 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  massa seca).  $\beta$ -tocoferol e  $\gamma$ -tocoferol foram também detetados em quantidades significativas, sendo o  $\delta$ -tocoferol relativamente estável com o tempo de armazenamento e com as doses aplicadas. As isoformas  $\beta$ - e  $\gamma$ - foram detetados apenas nas amostras não armazenadas. No que se refere aos ácidos gordos, na espécie *M. procera* foram quantificados 25 ácidos gordos individuais, sendo o ácido linoleico ( $\approx 60\%$ ), o palmítico ( $\approx 25\%$ ) e o oleico ( $\approx 9\%$ ) os maioritários. Estes compostos lipofílicos sofreram alterações significativas tanto com as doses aplicadas como com o tempo de armazenamento (Tabela 2).

### 3.2. Efeito na composição das plantas aromáticas

Os resultados da composição nutricional, energia e teor em açúcares das amostras secas de *A. citrodora*, *M. officinalis*, *M. melissophyllum* e *M. piperita* em função da dose de irradiação (0 e 10 kGy) e do tempo de armazenamento (0, 12 e 18 meses) são apresentados na Tabela 3. Estes são apresentados em percentagem diferencial em relação aos valores do controlo publicados por Pereira et al. (2015). Os teores de gordura (especialmente em *A. citrodora* e *M. piperita*) e de cinzas tenderam a diminuir ao longo do tempo de armazenamento. De um modo geral, a sacarose destacou-se como sendo o açúcar presente em maior quantidade na amostra controlo (0,9 a 7,1 g/100 g massa seca), verificando-se uma diminuição estatisticamente significativa após 18 meses para a glucose (em *A. citrodora* e *M. piperita*), a sacarose, a trealose e os açúcares totais (em *M. piperita*).

O conteúdo em tocoferóis sofreu uma acentuada diminuição ao longo do tempo de armazenamento (Tabela 4), o qual foi significativamente maior após 18 meses (exceto para  $\beta$ -tocoferol), quando comparado com os resultados obtidos após 12 meses. O tratamento com feixe de eletrões não evitou essas reduções significativas na maioria das ocasiões, mas teve um efeito positivo nos teores de  $\alpha$ -tocoferol (em *M. officinalis*),  $\beta$ -tocoferol (em *A. citrodora*),  $\gamma$ -tocoferol (em *M. officinalis* e *M. piperita*) e de tocoferóis totais (em *M. officinalis*). Também foi possível detetar um elevado número de ácidos gordos nas espécies aromáticas estudadas. O ácido  $\alpha$ -linolénico foi o ácido gordo maioritário em todas as espécies. Verificou-se, na maioria dos casos, uma interação positiva entre os fatores dose de irradiação e tempo de armazenamento. No caso particular das amostras não irradiadas de *A. citrodora* e *M. piperita*, estas apresentaram o maior aumento de ácidos gordos saturados e monoinsaturados (Tabela 4), assim como as amostras irradiadas de *M. officinalis* e *M. melissophyllum*.

Tabela 1. Composição nutricional (g/100 g massa seca), energia (kcal/100 g massa seca) e teor em açúcares (g/100 g massa seca) das amostras desidratadas de *M. procera* submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons (FE) e tempos de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

	Humidade	Lípidos	Proteínas	Glúcidos	Cinzas	Energia	Frutose	Manitol	Trealose	Melezitose	Açúcares totais
0 kGy	90±1	2±1	29±6	63±8	6±1	388±2	0,05±0,05	5±2	9±3	0,2±0,2	14±6
0.5 kGy	91±1	2±1	24±8	68±10	6±1	387±3	0,1±0,1	4±1	7±1	0,2±0,2	12±2
1 kGy	91±1	2±1	28±8	64±10	6±1	385±2	0,05±0,05	5±2	11±4	0,3±0,3	16±6
6 kGy	91±1	1,8±0,5	28±8	64±9	6±1	386±3	0,05±0,05	4±1	10±2	0,2±0,2	14±4
<i>p</i> -valor ( <i>n</i> =36)	0,068	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0 meses	91±1	2,8±0,4	36±1	54±1	7,7±0,4	383±1	0,15±0,05	7±1	13±3	0,7±0,1	20±4
6 meses	na	2,0±0,2	28±4	64±4	5,2±0,3	389±1	nd	3,3±0,3	7±1	nd	11±1
12 meses	na	1,1±0,1	18±1	76±1	4,7±0,3	387±1	nd	3,5±0,5	8±1	nd	11±2
<i>p</i> -valor ( <i>n</i> =27)	na	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
FE×TA	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

na: não aplicável; nd: não detetado. Resultados publicados em Fernandes et al. (2014).

Tabela 2. Composição em tocoferóis ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$  massa seca) e ácidos gordos (AG,% relativa) das amostras secas de *M. procera* submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons (FE) e tempos de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

	$\alpha$ -Tocoferol	$\beta$ -Tocoferol	$\gamma$ -Tocoferol	$\delta$ -Tocoferol	Total tocoferóis	AG	
						AG saturados	AG polinsaturados
0 kGy	8±5	23±33	8±12	64±10	103±43	34±2	9,5±0,4
0.5 kGy	6±2	9±13	9±12	75±9	99±18	30±5	10,8±0,2
1 kGy	2±1	4±6	19±27	51±10	77±38	27±3	9,5±0,5
6 kGy	3±1	15±22	15±22	46±20	80±64	29±1	10±1
<i>p</i> -valor ( <i>n</i> =36)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0 meses	4±1	39±21	38±14	64±7	145±22	28±5	10±1
6 meses	7±5	nd	nd	56±20	63±21	31±3	10±1
12 meses	3±1	nd	nd	58±21	61±22	32±2	10±1
<i>p</i> -valor ( <i>n</i> =27)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
FE×TA	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

nd: não detetado. Resultados publicados em Fernandes et al. (2014).

Tabela 3. Variação na composição nutricional, energia e açúcares (percentagem diferencial em relação aos valores do controlo: Pereira et al., 2015) das amostras secas das plantas aromáticas em função do feixe de eletrões (FE) a 10 kGy e do tempo de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média  $\pm$  desvio padrão.

	Lípidos	Proteínas	Cinzas	Glúcidos	Energia	Frutose	Glucose	Sacarose	Trealose	Açúcares totais	
<i>A. citrodora</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	1,6 $\pm$ 0,1	3,0 $\pm$ 0,1	8,2 $\pm$ 0,1	87,1 $\pm$ 0,1	375 $\pm$ 1	1,0 $\pm$ 0,1	7,1 $\pm$ 0,3	1,2 $\pm$ 0,1	10,7 $\pm$ 0,4	
	0 kGy	-35 $\pm$ 9	46 $\pm$ 18	-21 $\pm$ 3	3 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	-5 $\pm$ 19	-12 $\pm$ 12	8 $\pm$ 24	-14 $\pm$ 13	
	10 kGy	-43 $\pm$ 10	-1 $\pm$ 11	-27 $\pm$ 5	6 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	-13 $\pm$ 14	-41 $\pm$ 18	-5 $\pm$ 18	-22 $\pm$ 12	
	Valor-p (n=18)	0,017	<0,001	<0,001	<0,001	0,248	0,199	<0,001	0,072	0,062	0,062
	12 meses	-34 $\pm$ 9	26 $\pm$ 29	-21 $\pm$ 3	4 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	-5 $\pm$ 15	-21 $\pm$ 18	-1 $\pm$ 19	-14 $\pm$ 11	
<i>M. officinalis</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	1,2 $\pm$ 0,1	2,5 $\pm$ 0,3	8,4 $\pm$ 0,4	88 $\pm$ 1	372 $\pm$ 2	1,2 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,2	0,49 $\pm$ 0,05	7,5 $\pm$ 0,2	
	0 kGy	-12 $\pm$ 11	2 $\pm$ 8	-32 $\pm$ 4	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-9 $\pm$ 13	-100*	-53 $\pm$ 8	-33 $\pm$ 6	
	10 kGy	-8 $\pm$ 8	4 $\pm$ 6	-28 $\pm$ 5	5 $\pm$ 2	4 $\pm$ 1	-9 $\pm$ 16	-100*	7 $\pm$ 20	-9 $\pm$ 14	
	Valor-p (n=18)	0,300	0,349	0,670	0,773	0,534	0,986	-	<0,001	<0,001	
	12 meses	-8 $\pm$ 12	6 $\pm$ 6	-29 $\pm$ 5	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-11 $\pm$ 16	-32 $\pm$ 20	-27 $\pm$ 29	-22 $\pm$ 14	
<i>M. melissophyllum</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	1,8 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,2	7,6 $\pm$ 0,1	86,0 $\pm$ 0,4	378 $\pm$ 1	1,0 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	0,28 $\pm$ 0,03	5,5 $\pm$ 0,3	
	0 kGy	3 $\pm$ 16	1 $\pm$ 10	-31 $\pm$ 6	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-20 $\pm$ 8	-6 $\pm$ 9	504 $\pm$ 218	11 $\pm$ 10	
	10 kGy	-6 $\pm$ 15	-2 $\pm$ 8	-27 $\pm$ 3	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	-4 $\pm$ 12	-9 $\pm$ 6	783 $\pm$ 327	26 $\pm$ 8	
	Valor-p (n=18)	0,121	0,532	0,046	0,135	0,058	<0,001	0,326	0,005	<0,001	
	12 meses	-2 $\pm$ 15	1 $\pm$ 8	-28 $\pm$ 4	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-11 $\pm$ 12	-5 $\pm$ 7	748 $\pm$ 339	25 $\pm$ 9	
<i>M. piperita</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	2,4 $\pm$ 0,1	5,1 $\pm$ 0,3	9,2 $\pm$ 0,2	83,3 $\pm$ 0,5	375 $\pm$ 1	0,47 $\pm$ 0,05	0,7 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,2	
	0 kGy	-17 $\pm$ 12	-3 $\pm$ 14	-29 $\pm$ 4	5 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	-13 $\pm$ 14	-45 $\pm$ 28	-33 $\pm$ 20	-75 $\pm$ 4	
	10 kGy	-3 $\pm$ 10	-7 $\pm$ 4	-28 $\pm$ 4	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	3 $\pm$ 20	4 $\pm$ 62	15 $\pm$ 50	-67 $\pm$ 5	
	Valor-p (n=18)	0,001	0,593	0,405	0,001	0,253	0,012	0,005	0,001	<0,001	
	12 meses	-2 $\pm$ 9	-4 $\pm$ 12	-29 $\pm$ 3	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-2 $\pm$ 17	-5 $\pm$ 60	-1 $\pm$ 49	-68 $\pm$ 5	
FE x TA	Controlo (0 meses, 0 kGy)	1,2 $\pm$ 0,1	2,5 $\pm$ 0,3	8,4 $\pm$ 0,4	88 $\pm$ 1	372 $\pm$ 2	1,2 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,2	0,49 $\pm$ 0,05	7,5 $\pm$ 0,2	
	0 kGy	-12 $\pm$ 11	2 $\pm$ 8	-32 $\pm$ 4	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-9 $\pm$ 13	-100*	-53 $\pm$ 8	-33 $\pm$ 6	
	10 kGy	-8 $\pm$ 8	4 $\pm$ 6	-28 $\pm$ 5	5 $\pm$ 2	4 $\pm$ 1	-9 $\pm$ 16	-100*	7 $\pm$ 20	-9 $\pm$ 14	
	Valor-p (n=18)	0,300	0,349	0,670	0,773	0,534	0,986	-	<0,001	<0,001	
	12 meses	-8 $\pm$ 12	6 $\pm$ 6	-29 $\pm$ 5	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-11 $\pm$ 16	-32 $\pm$ 20	-27 $\pm$ 29	-22 $\pm$ 14	
FE x TA	Controlo (0 meses, 0 kGy)	1,8 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,2	7,6 $\pm$ 0,1	86,0 $\pm$ 0,4	378 $\pm$ 1	1,0 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	0,28 $\pm$ 0,03	5,5 $\pm$ 0,3	
	0 kGy	3 $\pm$ 16	1 $\pm$ 10	-31 $\pm$ 6	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-20 $\pm$ 8	-6 $\pm$ 9	504 $\pm$ 218	11 $\pm$ 10	
	10 kGy	-6 $\pm$ 15	-2 $\pm$ 8	-27 $\pm$ 3	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	-4 $\pm$ 12	-9 $\pm$ 6	783 $\pm$ 327	26 $\pm$ 8	
	Valor-p (n=18)	0,121	0,532	0,046	0,135	0,058	<0,001	0,326	0,005	<0,001	
	12 meses	-2 $\pm$ 15	1 $\pm$ 8	-28 $\pm$ 4	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-11 $\pm$ 12	-5 $\pm$ 7	748 $\pm$ 339	25 $\pm$ 9	
FE x TA	Controlo (0 meses, 0 kGy)	2,4 $\pm$ 0,1	5,1 $\pm$ 0,3	9,2 $\pm$ 0,2	83,3 $\pm$ 0,5	375 $\pm$ 1	0,47 $\pm$ 0,05	0,7 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,2	
	0 kGy	-17 $\pm$ 12	-3 $\pm$ 14	-29 $\pm$ 4	5 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	-13 $\pm$ 14	-45 $\pm$ 28	-33 $\pm$ 20	-75 $\pm$ 4	
	10 kGy	-3 $\pm$ 10	-7 $\pm$ 4	-28 $\pm$ 4	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	3 $\pm$ 20	4 $\pm$ 62	15 $\pm$ 50	-67 $\pm$ 5	
	Valor-p (n=18)	0,001	0,593	0,405	0,001	0,253	0,012	0,005	0,001	<0,001	
	12 meses	-2 $\pm$ 9	-4 $\pm$ 12	-29 $\pm$ 3	4 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-2 $\pm$ 17	-5 $\pm$ 60	-1 $\pm$ 49	-68 $\pm$ 5	
FE x TA	Controlo (0 meses, 0 kGy)	1,2 $\pm$ 0,1	2,5 $\pm$ 0,3	8,4 $\pm$ 0,4	88 $\pm$ 1	372 $\pm$ 2	1,2 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,2	0,49 $\pm$ 0,05	7,5 $\pm$ 0,2	
	0 kGy	-12 $\pm$ 11	2 $\pm$ 8	-32 $\pm$ 4	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-9 $\pm$ 13	-100*	-53 $\pm$ 8	-33 $\pm$ 6	
	10 kGy	-8 $\pm$ 8	4 $\pm$ 6	-28 $\pm$ 5	5 $\pm$ 2	4 $\pm$ 1	-9 $\pm$ 16	-100*	7 $\pm$ 20	-9 $\pm$ 14	
	Valor-p (n=18)	0,300	0,349	0,670	0,773	0,534	0,986	-	<0,001	<0,001	
	12 meses	-8 $\pm$ 12	6 $\pm$ 6	-29 $\pm$ 5	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	-11 $\pm$ 16	-32 $\pm$ 20	-27 $\pm$ 29	-22 $\pm$ 14	

\* Parâmetro não detetado nas amostras tratadas nestas condições. Resultados publicados em Pereira et al. (2015).

Tabela 4. Variação nos teores de tocoferóis e ácidos gordos (AG) (percentagem diferencial em relação aos valores do controlo: Pereira et al., 2015) das amostras secas das plantas aromáticas em função do feixe de eletrões (FE) a 10 kGy e do tempo de armazenamento (TA). Os resultados são apresentados como média  $\pm$  desvio padrão.

	$\alpha$ -Tocoférol	$\beta$ -Tocoférol	$\gamma$ -Tocoférol	Tocoférols totais	AG saturados	AG monoinsaturados	AG polinsaturados	
<i>A. citrodora</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	15,3 $\pm$ 0,4	0,41 $\pm$ 0,04	1,8 $\pm$ 0,1	17,5 $\pm$ 0,4	28,6 $\pm$ 0,2	2,07 $\pm$ 0,03	69,3 $\pm$ 0,3
	0 kGy	-77 $\pm$ 5	-31 $\pm$ 14	-81 $\pm$ 5	-77 $\pm$ 5	67 $\pm$ 19	143 $\pm$ 42	-28 $\pm$ 8
	10 kGy	-74 $\pm$ 7	-11 $\pm$ 21	-78 $\pm$ 7	-74 $\pm$ 6	47 $\pm$ 9	43 $\pm$ 42	-16 $\pm$ 5
	Valor-p (n=18)	0,148	0,003	0,236	0,113	0,001	<0,001	<0,001
	12 meses	-70 $\pm$ 4	-21 $\pm$ 16	-75 $\pm$ 4	-70 $\pm$ 3	44 $\pm$ 6	54 $\pm$ 54	-16 $\pm$ 5
TA	18 meses	-81 $\pm$ 2	-21 $\pm$ 24	-84 $\pm$ 3	-81 $\pm$ 2	70 $\pm$ 16	132 $\pm$ 53	-28 $\pm$ 7
	Valor-p (n=18)	<0,001	0,990	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	FE x TA	0,033	0,363	0,138	0,010	<0,001	0,568	<0,001
<i>M. officinalis</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	29 $\pm$ 1	1,3 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1	32 $\pm$ 1	41,2 $\pm$ 0,5	6,2 $\pm$ 0,2	52,6 $\pm$ 0,5
	0 kGy	-75 $\pm$ 2	-63 $\pm$ 10	-43 $\pm$ 14	-73 $\pm$ 2	36 $\pm$ 2	74 $\pm$ 9	-35 $\pm$ 2
	10 kGy	-69 $\pm$ 4	-52 $\pm$ 22	-31 $\pm$ 18	-66 $\pm$ 5	47 $\pm$ 6	114 $\pm$ 60	-41 $\pm$ 9
	Valor-p (n=18)	<0,001	0,054	0,037	<0,001	<0,001	0,013	0,009
	12 meses	-70 $\pm$ 5	-45 $\pm$ 16	-25 $\pm$ 13	-67 $\pm$ 5	40 $\pm$ 3	68 $\pm$ 14	-34 $\pm$ 3
TA	18 meses	-74 $\pm$ 2	-70 $\pm$ 7	-49 $\pm$ 11	-73 $\pm$ 3	44 $\pm$ 9	120 $\pm$ 54	-41 $\pm$ 8
	Valor-p (n=18)	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,113	0,001	0,003
	FE x TA	<0,001	0,002	0,437	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>M. melissophyllum</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	0,88 $\pm$ 0,05	13,4 $\pm$ 0,3	0,18 $\pm$ 0,02	14,6 $\pm$ 0,4	30,4 $\pm$ 0,2	13,1 $\pm$ 0,2	56,5 $\pm$ 0,2
	0 kGy	-71 $\pm$ 8	-100*	-9 $\pm$ 11	-16 $\pm$ 10	69 $\pm$ 4	13 $\pm$ 7	-25 $\pm$ 2
	10 kGy	-80 $\pm$ 4	-100*	-20 $\pm$ 5	-20 $\pm$ 9	80 $\pm$ 11	-6 $\pm$ 3	-22 $\pm$ 3
	Valor-p (n=18)	<0,001	-	0,220	0,223	0,001	<0,001	0,016
	12 meses	-72 $\pm$ 8	-100*	-5 $\pm$ 9	-12 $\pm$ 8	78 $\pm$ 13	1 $\pm$ 7	-24 $\pm$ 2
TA	18 meses	-78 $\pm$ 6	-100*	-17 $\pm$ 7	-24 $\pm$ 7	72 $\pm$ 5	6 $\pm$ 14	-23 $\pm$ 4
	Valor-p (n=18)	0,018	-	<0,001	<0,001	0,053	0,157	0,414
	FE x TA	0,131	-	0,234	0,653	<0,001	<0,001	<0,001
<i>M. piperita</i>	Controlo (0 meses, 0 kGy)	16,5 $\pm$ 0,4	1,1 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,1	19,7 $\pm$ 0,5	38 $\pm$ 1	4,1 $\pm$ 0,1	58 $\pm$ 1
	0 kGy	-64 $\pm$ 8	-100*	-63 $\pm$ 11	-65 $\pm$ 8	51 $\pm$ 13	82 $\pm$ 57	-25 $\pm$ 8
	10 kGy	-64 $\pm$ 10	-100*	-52 $\pm$ 13	-65 $\pm$ 10	37 $\pm$ 15	37 $\pm$ 35	-19 $\pm$ 9
	Valor-p (n=18)	0,915	-	0,011	0,828	0,004	0,008	0,066
	12 meses	-56 $\pm$ 3	-100*	-48 $\pm$ 9	-57 $\pm$ 3	57 $\pm$ 7	103 $\pm$ 36	-31 $\pm$ 3
TA	18 meses	-73 $\pm$ 2	-100*	-68 $\pm$ 7	-73 $\pm$ 2	31 $\pm$ 9	16 $\pm$ 15	-14 $\pm$ 4
	Valor-p (n=18)	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	FE x TA	0,004	-	0,973	0,005	0,073	<0,001	0,099

\* Parâmetro não detetado nas amostras tratadas nestas condições. Resultados publicados em Pereira et al. (2015).

### 3.3. Efeito na composição dos vegetais frescos

Os efeitos do tratamento de irradiação na composição nutricional, energia e teores de açúcares das amostras frescas de *N. officinale* e *R. induratus*, armazenadas a 4 °C durante 7 e 14 dias, respetivamente, são apresentados na Tabela 5. Os teores de água e glúcidos e a contribuição energética das amostras de *R. induratus* não foram significativamente afetados. O mesmo se verificou para o conteúdo em lípidos das amostras de *N. officinale*. Contudo, esta espécie apresentou um teor em glúcidos e proteínas mais baixo no final dos 7 dias de armazenamento; como consequência, o valor energético também diminuiu. No caso de *R. induratus*, o tratamento diminuiu o teor em lípidos. O teor em açúcares também foi afetado pelo tratamento de irradiação e tempo de armazenamento. Identificou-se frutose, glucose e sacarose em ambas as espécies. As amostras controlo não armazenadas revelaram os teores mais elevados de frutose e glucose e também de açúcares totais. A diminuição dos teores de frutose e glucose durante o armazenamento poderá dever-se à incapacidade do tratamento aplicado retardar a atividade metabólica dos vegetais, pois os açúcares redutores são os principais substratos no processo de respiração (Dey e Harborne, 1997). Também se verificou um aumento dos níveis de sacarose provavelmente devido a uma mobilização de reservas glucídicas.

A Tabela 6 apresenta o efeito do tratamento aplicado nos perfis de açúcares e ácidos gordos dos vegetais estudados. As amostras de *R. induratus* analisadas imediatamente após colheita apresentaram os teores mais elevados de  $\alpha$ - e  $\beta$ -tocoferóis, os quais foram afetados negativamente pelo tratamento de irradiação. As isoformas  $\gamma$ - e  $\delta$ - foram mais abundantes nas amostras armazenadas. O aumento do teor total de tocoferóis nas amostras controlo armazenadas poderá ter sido causado por condições de conservação indutoras de stresse, pois a síntese destes compostos é estimulada sob essas condições (Munné-Bosch, 2005), com o objetivo de proteger os tecidos contra as espécies reativas geradas durante o armazenamento. Contudo, é de salientar que estes antioxidantes lipofílicos poderão ter estado envolvidos na conservação de ácidos gordos polinsaturados. Teores elevados de tocoferóis foram também detetados em amostras armazenadas de *N. officinale*, sobretudo em amostras armazenadas não irradiadas e irradiadas a 5 kGy. O perfil em ácidos gordos também sofreu alterações significativas (Tabela 6). Os ácidos palmítico e  $\alpha$ -linolénico foram os mais abundantes em ambas as espécies. Em geral, o tempo de armazenamento diminuiu a quantidade de ácidos gordos saturados e aumentou as quantidades de mono- e polinsaturados nas amostras de *N. officinale*. Em quase todos os casos (exceto amostras irradiadas a 1 kGy), foram obtidas amostras de agrião com um perfil de ácidos gordos mais saudáveis. Uma tendência contrária foi verificada para *R. induratus*, nomeadamente um aumento nos teores de ácidos gordos saturados.

Tabela 5. Efeito da irradiação na composição nutricional (g/100 g massa fresca), energia (kcal/100 g massa fresca) e teores de açúcares (mg/100 g massa fresca) das amostras frescas de *N. officinale* e *R. induratus* armazenadas a 4 °C durante 7 e 14 dias, respetivamente. Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

	Humidade	Cinzas	Proteínas	Lípidos	Glúcidos	Energia	Frutose	Glucose	Sacarose	Açúcares totais
<i>N. officinale</i>	Controlo (0 dias)	0,94±0,05 <sup>a</sup>	2,2±0,1 <sup>a</sup>	0,14±0,05	3,6±0,1 <sup>a</sup>	24,5±0,3 <sup>a</sup>	110±3 <sup>a</sup>	70±2 <sup>a</sup>	23±5 <sup>c</sup>	203±3 <sup>a</sup>
	0 kGy	0,88±0,05 <sup>ab</sup>	1,9±0,1 <sup>bc</sup>	0,13±0,02	3,0±0,1 <sup>b</sup>	20,8±0,5 <sup>bc</sup>	69±3 <sup>b</sup>	31±4 <sup>c</sup>	46±4 <sup>ab</sup>	145±4 <sup>b</sup>
	7 dias	0,87±0,03 <sup>ab</sup>	1,9±0,1 <sup>c</sup>	0,12±0,01	3,0±0,2 <sup>b</sup>	20,7±0,5 <sup>c</sup>	43±4 <sup>c</sup>	17±5 <sup>d</sup>	42±3 <sup>b</sup>	102±6 <sup>d</sup>
	4 °C	0,84±0,02 <sup>b</sup>	2,0±0,1 <sup>b</sup>	0,14±0,05	3,0±0,1 <sup>b</sup>	21,5±0,5 <sup>b</sup>	71±5 <sup>b</sup>	39±9 <sup>b</sup>	42±5 <sup>b</sup>	153±11 <sup>b</sup>
	5 kGy	0,90±0,05 <sup>ab</sup>	2,0±0,1 <sup>bc</sup>	0,13±0,01	2,9±0,1 <sup>b</sup>	20,8±0,3 <sup>bc</sup>	42±2 <sup>c</sup>	39±4 <sup>b</sup>	50±5 <sup>a</sup>	132±5 <sup>c</sup>
Valor-p	0,010	0,016	<0,001	0,261	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>R. induratus</i>	Controlo (0 dias)	0,91±0,02 <sup>b</sup>	2,9±0,1 <sup>bc</sup>	0,39±0,02 <sup>a</sup>	5,5±0,5	36±3	399±19 <sup>a</sup>	385±17 <sup>a</sup>	66±4 <sup>a</sup>	912±33 <sup>a</sup>
	0 kGy	1,00±0,05 <sup>a</sup>	3,3±0,1 <sup>a</sup>	0,35±0,02 <sup>b</sup>	5,3±0,5	36±2	165±7 <sup>c</sup>	127±7 <sup>b</sup>	24±2 <sup>c</sup>	332±15 <sup>b</sup>
	14 dias	0,99±0,05 <sup>ab</sup>	3,0±0,1 <sup>b</sup>	0,29±0,04 <sup>c</sup>	5,0±0,5	33±3	176±8 <sup>c</sup>	113±6 <sup>c</sup>	24±4 <sup>c</sup>	328±12 <sup>b</sup>
	4 °C	0,99±0,05 <sup>ab</sup>	3,0±0,1 <sup>bc</sup>	0,31±0,04 <sup>bc</sup>	4,9±0,5	33±3	191±7 <sup>b</sup>	124±7 <sup>bc</sup>	27±3 <sup>c</sup>	348±15 <sup>b</sup>
	6 kGy	0,98±0,05 <sup>ab</sup>	2,9±0,1 <sup>c</sup>	0,30±0,03 <sup>c</sup>	5,0±0,5	33±3	135±9 <sup>d</sup>	86±4 <sup>d</sup>	53±4 <sup>b</sup>	291±14 <sup>c</sup>
Valor-p	0,103	0,015	<0,001	0,403	0,054	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Para cada espécie, os valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente ( $p < 0,05$ ). Resultados publicados em Pinela et al. (2016a,b).

Tabela 6. Efeito da irradiação nos teores de tocoferóis (mg/100 g massa fresca) e ácidos gordos (AG, % relativa) das amostras frescas de *N. officinale* e *R. induratus* armazenadas a 4 °C durante 7 e 14 dias, respetivamente. Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão.

	$\alpha$ -Tocoferol	$\beta$ -Tocoferol	$\gamma$ -Tocoferol	$\delta$ -Tocoferol	Tocoferóis totais	AG saturados	AG monoinsaturados	AG polinsaturados	
<i>N. officinale</i>	Controlo (0 dias)	0,50±0,03 <sup>c</sup>	0,011±0,001 <sup>b</sup>	0,038±0,003 <sup>c</sup>	nd	0,55±0,04 <sup>d</sup>	57±1 <sup>b</sup>	1,0±0,1 <sup>d</sup>	42±1 <sup>d</sup>
	0 kGy	1,25±0,05 <sup>a</sup>	0,021±0,004 <sup>a</sup>	0,067±0,005 <sup>b</sup>	nd	1,34±0,05 <sup>b</sup>	40±1 <sup>d</sup>	2,6±0,2 <sup>b</sup>	57±1 <sup>b</sup>
	7 dias	0,96±0,05 <sup>b</sup>	0,011±0,002 <sup>b</sup>	0,070±0,003 <sup>b</sup>	nd	1,04±0,05 <sup>c</sup>	63±1 <sup>a</sup>	2,6±0,1 <sup>b</sup>	34±1 <sup>e</sup>
	4 °C	0,26±0,01 <sup>d</sup>	0,005±0,001 <sup>c</sup>	0,041±0,001 <sup>c</sup>	nd	0,31±0,01 <sup>e</sup>	35±1 <sup>e</sup>	2,2±0,2 <sup>c</sup>	63±1 <sup>a</sup>
	5 kGy	1,21±0,05 <sup>a</sup>	0,012±0,001 <sup>b</sup>	0,22±0,01 <sup>a</sup>	nd	1,44±0,05 <sup>a</sup>	50±1 <sup>c</sup>	4,8±0,4 <sup>a</sup>	45±1 <sup>c</sup>
Valor-p	<0,001	<0,001	<0,001	nd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>R. induratus</i>	Controlo (0 dias)	3,8±0,2 <sup>a</sup>	0,10±0,02 <sup>a</sup>	1,6±0,1 <sup>c</sup>	0,33±0,04 <sup>e</sup>	5,8±0,3 <sup>b</sup>	40,6±04 <sup>e</sup>	3,4±0,2 <sup>a</sup>	56,0±0,4 <sup>a</sup>
	0 kGy	2,8±0,1 <sup>b</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	3,2±0,2 <sup>a</sup>	1,6±0,1 <sup>b</sup>	7,7±0,3 <sup>a</sup>	48,4±0,5 <sup>b</sup>	3,0±0,2 <sup>b</sup>	48,5±0,4 <sup>c</sup>
	14 dias	1,3±0,1 <sup>c</sup>	0,03±0,01 <sup>d</sup>	1,7±0,1 <sup>b</sup>	1,5±0,1 <sup>c</sup>	4,5±0,2 <sup>c</sup>	70,0±0,5 <sup>a</sup>	3,4±0,1 <sup>a</sup>	27,7±0,5 <sup>d</sup>
	4 °C	1,1±0,1 <sup>d</sup>	0,04±0,01 <sup>c</sup>	1,5±0,1 <sup>c</sup>	1,8±0,1 <sup>a</sup>	4,5±0,2 <sup>c</sup>	45,0±0,5 <sup>c</sup>	2,7±0,3 <sup>c</sup>	52,3±0,5 <sup>b</sup>
	6 kGy	0,9±0,1 <sup>e</sup>	0,03±0,01 <sup>d</sup>	1,2±0,1 <sup>d</sup>	1,1±0,1 <sup>d</sup>	3,2±0,1 <sup>d</sup>	41,4±0,5 <sup>d</sup>	2,0±0,2 <sup>d</sup>	56,6±0,5 <sup>a</sup>
Valor-p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Para cada espécie, valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente ( $p < 0,05$ ). nd: não detetado. Resultados publicados em Pinela et al. (2016a,b).

#### 4. Conclusões

A irradiação com feixe de eletrões não provocou alterações na maioria dos parâmetros nutricionais das amostras desidratadas de *M. procerá*. No caso das plantas aromáticas, os compostos individuais (açúcares livres, tocoferóis e ácidos gordos polinsaturados) revelaram um decréscimo ao longo do tempo de armazenamento (12 e 18 meses); contudo, a aplicação do feixe de eletrões, apesar de não impedir completamente essa redução, teve uma ação significativamente atenuante. No entanto, não foi possível identificar tendências gerais, uma vez que os fatores testados tiveram efeitos dissimilares nas diferentes espécies. Este estudo evidenciou também a adequabilidade da radiação gama para conservar atributos nutricionais de vegetais durante o armazenamento refrigerado. Os resultados deste extenso trabalho de investigação são promissores, pois destacam os tratamentos pós-colheita com feixe de eletrões e radiação gama como sendo capazes de atenuar alterações indesejáveis causadas pela secagem e pelo tempo de armazenamento, permitindo alargar o tempo de vida útil de diferentes produtos alimentares.

#### Agradecimentos

Ao PRODER - Projeto AROMAP, pelo apoio financeiro ao trabalho. À Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) e ao FEDER no âmbito do programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO (UID/AGR/00690/2013), ao REQUIMTE (UID/QUI/50006/2013 - POCI/01/0145/FERDER/007265) e ao C2TN (RECI/AAG-TEC/0400/2012; UID/Multi/04349/2013). À FCT pelas bolsas atribuídas a J. Pinela (SFRH/BD/92994/2013), F. Reis (SFRH/BD/111753/2015) e Â. Fernandes (SFRH/BPD/114753/2016).

#### Bibliografia

- Almeida, A.P.G. 2006. Avaliação da influência do processo de irradiação em especiarias utilizando a técnica de difração de raios-X. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- AOAC, 2016. *AOAC Official Methods of Analysis*, 20th Editi. ed. AOAC International.
- Celestino, S.M.C. 2010. *Princípios de Secagem de Alimentos*. Embrapa Cerrados: Planaltina.
- Dey, P.M. and J.B. Harborne. 1997. *Plant biochemistry*. London, UK: Academic Press.
- Directiva 1999/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de Fevereiro de 1999 relativa ao estabelecimento de uma lista comunitária de alimentos e ingredientes alimentares tratados por radiação ionizante. Jornal Oficial nº L 066 de 13/03/1999 p. 0024 - 0025
- Fernandes, Â., J.C.M. Barreira, A.L. Antonio, et al. 2014. Combined effects of electron-beam irradiation and storage time on the chemical and antioxidant parameters of wild *Macrolepota procerá* dried samples. *Food and Bioprocess Technology*. 7:1606-1617.
- Haleem, R.M., M.Y. Salem, F.A. Fatahallah and L.E. Abdelfattah. 2015. Quality in the pharmaceutical industry - A literature review. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 23: 463-469.
- Ibrahim, M.A., A. Mohammed, M.B. Isah and A.B. Aliyu. 2014. Anti-trypanosomal activity of African medicinal plants: A review update. *Journal of Ethnopharmacology*. 154:26-54.
- ICGFI. 1999. Facts about Food Irradiation: A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation. Vienna, Austria.
- Lacroix, M. and B. Ouattara. 2000. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products - a review. *Food Research International*. 33: 719-724.
- Munné-Bosch, S. 2005. The role of  $\alpha$ -tocopherol in plant stress tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 162:743-748.

- Pereira, E., A.L. Antonio, A. Rafalski, et al. 2015. Extending the use of irradiation to preserve chemical and bioactive properties of medicinal and aromatic plants: A case study with four species submitted to electron beam. *Industrial Crops and Products*. 77:972-982.
- Pinela, J. and I.C.F.R. Ferreira. 2017. Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 57:2095-2111.
- Pinela, P., J.C.M. Barreira, L. Barros, et al. 2016a. Modified atmosphere packaging and post-packaging irradiation of *Rumex induratus* leaves: a comparative study of postharvest quality changes. *Journal of Food Science and Technology*. 53:2943-2956.
- Pinela, P., J.C.M. Barreira, L. Barros, et al. 2016b. Suitability of gamma irradiation for preserving fresh-cut watercress quality during cold storage. *Food Chemistry*. 206:50-58.
- Walde S.G., V. Velu, T. Jyothirmayi and R.G. Math. 2006. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. *Journal of Food Engineering*, 74: 108-115.