

Efeito de diferentes agentes estruturantes e revolvimentos na compostagem do bagaço de azeitona

Effect of different bulking agents and turning on composting of olive pomace

Ana Beatriz de Melo Segatelli^{1,2,*}, Daniel Figueiredo³,
Zulimar Hernández^{1,2} & Tomás de Figueiredo^{1,2}

¹ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal

² Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), IPB, Portugal

³ MORE-Laboratório Colaborativo, Edifício Brigantia Ecopark, Bragança, Portugal

(*E-mail: ana.segatelli@ipb.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.33403>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.10.16

RESUMO

Portugal é o quarto maior produtor de azeite da União Europeia, gerando grande quantidade de bagaço de azeitona (BA), subproduto fitotóxico. A compostagem é uma alternativa para seu tratamento e este trabalho avaliou dois agentes estruturantes (AE): biomassa florestal (BF) e casca de amêndoa (CA), em 7 pilhas, sendo: pilha BA+ (100%BA; C/N 19); pilha BABF+ (50%BA, 50%BF; C/N 26); pilha BACA+ (50%BA, 50%CA; C/N 33); pilha BABFCA+ (50%BA, 25%BF, 25%CA; C/N 33); pilha BACA- (50%BA, 50%CA; C/N 33); pilha BABF- (50%BA, 50%BF; C/N 26); pilha BA- (100%BA; C/N 19), onde (+) indica pilhas revolvidas e (-) estáticas. Monitorizou-se temperatura (T), humidade, densidade, pH, condutividade elétrica, cinzas e fitotoxicidade. As concentrações de C orgânico total (COT), azoto total (Nt), C/O, H/C e C/N foram obtidas por análise química elementar. Como principais resultados, as pilhas (-) apresentaram valores mais baixos de T e cinzas e maior COT e Nt, indicando a decomposição mais lenta do material. BA+ e BA- apresentaram os maiores teores de Nt e tardaram mais na perda da fitotoxicidade. Conclui-se que houve efeito positivo dos AE e revolvimento na decomposição do material, perda de fitotoxicidade e consequentemente, na estabilização e mineralização da matéria orgânica.

Palavras-chave: análise química elementar, biomassa florestal, casca de amêndoa, fitotoxicidade, subproduto agroindustrial.

ABSTRACT

Portugal is the fourth largest producer of olive oil in the European Union, resulting in a large generation of olive pomace (BA), a phytotoxic by-product. Composting is an alternative for its treatment and this study evaluated two bulking agents (AE): forest biomass (BF) and almond husk (CA), in 7 piles: pile BA+ (100%BA; C/N 19); BABF+ (50%BA, 50%BF; C/N 26); BACA+ (50%BA, 50%CA; C/N 33); BABFCA+ (50%BA, 25%BF, 25%CA; C/N 33); BACA- (50%BA, 50%CA; C/N 33); BABF- (50%BA, 50%BF; C/N 26); BA- (100%BA; C/N 19), the sign (+) indicates turned piles and (-) static piles. Temperature (T), humidity, density, pH, EC, ash and phytotoxicity were monitored. Concentrations of total organic carbon (COT), total nitrogen (Nt), C/O, H/C and C/N ratios were determined through elemental chemical analyses. As the main results, piles (-) showed lower T and ash content and higher COT and Nt, indicating slower decomposition. BA+ and BA- showed the highest Nt values and the piles lost their phytotoxicity. It was concluded that there was a positive effect of AE and turning, improving the decomposition of the material, losing phytotoxicity and consequently, enhancing the stabilization and mineralization of organic matter.

Keywords: agro-industrial by-product, almond husk, elemental chemical analysis, forest biomass, phytotoxicity.

INTRODUÇÃO

Portugal é considerado o quarto maior produtor de azeite da União Europeia (UE), com produção média anual de 100 Gg (5% do produzido pela UE) e previsão, na campanha 2022, de 126 Gg de azeite, sendo a 4ª maior produção histórica já atingida. Para tanto, possui mais de 380 mil hectares de olivais, sendo 98% desta superfície destinada à produção de azeite (GPP, 2020; INE, 2022, 2023). Como resultado do processamento do azeite em duas fases, tem-se grande geração do bagaço de azeitona (BA) que consiste em um material semi-sólido, composto por água, fragmentos de caroço, polpa e pele da azeitona, azeite retido na polpa da azeitona, além de açúcar, ácidos gordos voláteis, proteínas, políalcoois, polifenóis, lignina e hemicelulose (Borja *et al.*, 2002; Albuquerque *et al.*, 2006). Estima-se que, no processamento do azeite em duas fases, para cada tonelada de azeitona sejam gerados 800 kg de BA (Albuquerque *et al.*, 2004).

Considerando a grande quantidade de matéria orgânica (MO) presente, o BA apresenta um comportamento fitotóxico quando aplicado diretamente no solo, de forma que sua disposição incorreta no ambiente pode resultar em grande impacto ambiental (Borja *et al.*, 2002; Diacono *et al.*, 2012). Assim, a sua fitotoxicidade deve ser reduzida ou eliminada para que seu uso seja seguro para o meio ambiente.

Uma alternativa para reduzir a fitotoxicidade do BA é por meio da compostagem, um processo controlado de oxidação biológica e estabilização da MO, através do qual os microrganismos decompõem o material biodegradável, o que resulta em elevadas temperaturas geradas pela própria atividade microbiana, obtendo-se um composto homogêneo, estabilizado e sem substâncias fitotóxicas ou prejudiciais ao meio ambiente (Brito, 2017). Durante o processo de compostagem, a MO passa pela decomposição e posterior mineralização, o que permite a maior disponibilidade de nutrientes no solo (Brito, 2017). A relação C/N é um fator limitante ao início da compostagem e deve estar entre 25:1 e 35:1, sendo possível misturar diferentes materiais de forma a melhorar essa relação (Kiehl, 2002). Além disso, a oxigenação das pilhas é importante para o desenvolvimento do processo e pode ser realizado com revolvimento das pilhas por meio manual ou maquinaria, ou por ar

forçado, sendo esta última opção com maior custo monetário (Kiehl, 2002).

Com relação à compostagem do BA, alguns estudos avaliaram a compostagem do BA com diferentes agentes estruturantes (AE) como folha de oliveira (Albuquerque *et al.*, 2006), engaço de uva ou resíduo de algodão (Albuquerque *et al.*, 2009), casca de amêndoa (Hernández *et al.*, 2021), e como fontes de azoto o estrume ovino/bovino e excrementos de ave (Ameziane *et al.*, 2020). De forma geral, a compostagem do BA é associada a outros resíduos/subprodutos para permitir o arejamento das pilhas, já que o BA de duas fases é um subproduto húmido (65-75%), pouco poroso e de complexa degradação (Diacono *et al.*, 2012). Em Portugal, o Projeto URSA (Unidades de Recirculação de Subprodutos de Alqueva) tem conseguido realizar a compostagem do BA e outros resíduos agroindustriais a escala industrial e replicável, com recurso a pilhas dinâmicas com revolvimentos frequentes, sendo recomendado revolver uma vez por semana no primeiro mês de compostagem e após isso, quinzenalmente (EDIA, 2022). Hernández *et al.* (2022) testaram a compostagem de BA, a escala industrial, usando a tecnologia de ar passivo, isto é, em pilhas estáticas utilizando como AE a casca de amêndoa, o que resultou numa perda de fitotoxicidade em menos de 6 meses. Neste último, a casca de amêndoa teve um bom desempenho, mas por conta de seu alto custo econômico, foi necessário o desenvolvimento de um novo ensaio, objeto deste trabalho, para testar um AE mais barato. Tendo em conta a nova normativa de UE sobre a necessidade de *desclassificar os resíduos a subprodutos*, está ainda em discussão a desclassificação generalizada do BA como subproduto, pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2015), o que pode limitar a compostagem com BA a escala industrial, tendo que ser desenvolvida dentro da própria exploração.

Portanto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desempenho do processo de compostagem do BA utilizando dois agentes estruturantes diferentes, casca de amêndoa (CA) e biomassa florestal (BF), em diferentes combinações e em pilhas revolvidas e não revolvidas (estáticas). Para isso, foram avaliados parâmetros físico-químicos, temperatura, fitotoxicidade e análise química elementar ao longo do processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento Experimental

O ensaio de compostagem foi realizado em uma empresa produtora de azeite biológico situado em Vila Flor, Portugal. Atendendo a sua disponibilidade e proximidade (< 30 km), além do BA, foram selecionados dois AE: CA e BF procedente da limpeza de caminhos municipais. Foram montadas 7 pilhas, sendo 2 pilhas com 100% BA (C/N 19): pilha BA+ e BA-; 2 pilhas com 50% BA e 50% CA (C/N 33): pilha BACA+ e pilha BACA-; 2 pilhas com 50% BA e 50% BF (C/N 26): pilha BABF+ e pilha BABF-; e por último, foi testada uma pilha com 50% BA, 25% CA e 25% BF (C/N 33): BABFCA+; onde o sinal (+) indica pilhas revolvidas e (-) estáticas. O volume inicial médio das pilhas foi de 25 m³ e as pilhas foram revolvidas 4 vezes durante o processo por meio de máquina retroescavadora.

Determinações analíticas

O processo de compostagem teve duração de 105 dias. Em campo, foram realizadas medições diárias de temperatura (T, °C), e medições frequentes da densidade, volume das pilhas e humidade. As pilhas foram cobertas com uma manta geotêxtil Ten-Cate TopTex da Geosin, que permite troca de gases, mas evita passagem de água. Além disso, foi feito acompanhamento diário das condições meteorológicas diárias através de uma estação meteorológica do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) instalada em Mirandela (cerca de 30 km do local de instalação do ensaio). Foram realizadas 8 amostragens compósitas ao longo do processo de compostagem, aos 1,7,14, 21, 33, 49, 70, 105 dias, para realização das análises descritas a seguir.

Em laboratório, o pré-tratamento das amostras incluiu secagem em estufa a 65°C, trituração com

biotriturador de resíduos, crivagem a 2 mm e moagem com moinho Retsch ZM 200. Para as análises de pH em água 1:2.5 (p:v) descrito em EN 13037:2011, e condutividade elétrica (CE) 1:5 (p:v) adaptado, pelo descrito em EN 13038:2011, foram realizadas as medidas com potenciômetro e medidor de condutividade Combi 5000; as cinzas foram determinadas por incineração em mufla a 500°C durante 6h. Foi desenvolvido a análise química elementar (AQE), em LECO CHNS-932, para obter o COT, Nt e as relações atômicas H/C e O/C e C/N, sendo que para as análises de cinzas e AQE as amostras foram crivadas a 50µm. A análise de humidade (EN 13040-2007) e fitotoxicidade (índice Munoo-Liisa Vitality; MLV), conforme metodologias EN 16086-2:2011 e EN 12579:2013, foram realizadas com amostras frescas não perturbadas. Foi realizada análise estatística ANOVA de um fator e regressão simples, por meio de Statgraphics Plus 2.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características iniciais dos materiais utilizados na compostagem estão apresentadas no Quadro 1. A Figura 1 indica a variação da T ambiente nas 7 pilhas durante a compostagem e as setas indicam os 4 dias de revolvimento nas pilhas BA+, BABF+,

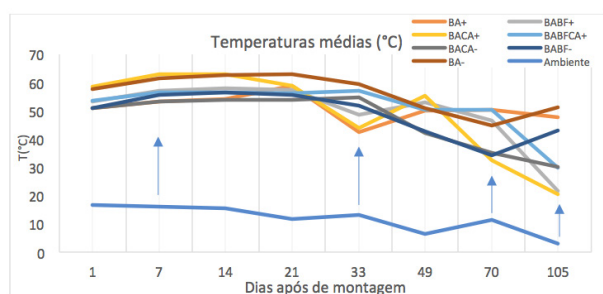


Figura 1 - Temperatura diária média das pilhas e do ambiente ao longo do processo de compostagem de 105 dias. As setas indicam os dias em que foi realizado revolvimento das pilhas.

Quadro 1 - Características iniciais dos materiais utilizados na preparação das pilhas de compostagem

	Densidade* (p.f.) g/cm ³	Humidade (%)	pH	CE (mS. cm ⁻¹)	C (%)	N (%)	H/C	O/C	C/N	Cinzas (%)
BA	1,08	65,0	6,7	8,28	51,0	1,1	1,52	0,52	52	5,55
BF	0,22	25,5	6,05	0,77	38,3	1,71	1,38	0,77	30	15,8
CA	0,59	15,0	-	-	49,0	0,31	1,45	0,67	158	1,01

*p.f.: peso fresco.

BACA+ e BABFCA+. Percebe-se que, poucos dias após a montagem, as pilhas atingem T superiores a 50°C, indicando início da fase termofílica (Kiehl, 2002). O mesmo acontece após os revolvimentos, já que o arejamento permite a introdução de ar e libera o ar saturado de CO₂ contido na pilha, resultado da respiração dos microrganismos (Kiehl, 2002).

Em Albuquerque *et al.* (2006), que utilizaram ar forçado e realizaram 3 revolvimentos, foi verificada uma duração de 2 meses de fase termofílica para compostagem de BA de duas fases, usando como estruturantes as folhas de oliveira e engaço de uva (alta C/N). No presente estudo, em cada revolvimento e humedecimento das pilhas foi possível perceber a reativação e consequente aumento de T das pilhas (+). Também é importante ressaltar que este ensaio (Figura 1) foi desenvolvido durante o período de outono/inverno, tendo-se verificado temperaturas ambiente abaixo de 10°C em parte do ensaio, o que pode ter limitado a atividade microbiana. O efeito de AE (CA, BF) e revolvimento (+/-) podem ser observados nos valores médios de pH, cinzas, fitotoxicidade e Nt, apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Com relação ao efeito do AE (Figura 2) nota-se que as pilhas constituídas apenas por BA possuem maior teor de Nt e menor teor de cinzas e MLV (mais fitotóxicas). Pilhas com CA têm valores superiores de pH, cinzas e MLV (menos fitotóxicas), enquanto BF tem valores reduzidos de cinzas e MLV e teor alto de Nt. Com relação ao pH, as pilhas com BF apresentaram diferenças significativas com BA e CA. Este comportamento não foi verificado nos outros parâmetros, onde reportaram-se diferenças significativas nas variáveis cinzas, MLV e Nt entre as pilhas 100% BA e as pilhas com AE (CA ou BF). Com relação ao Nt, Albuquerque *et al.* (2009) identificaram em seus estudos que pilhas com maiores teores de N apresentaram menor taxa de decomposição de MO, dada a maior imobilização do N e menor formação e volatilização de amoníaco. Esses resultados indicariam que a BF pode substituir a CA, o qual pode ter um impacto económico positivo, tendo em conta que a CA tem com alto preço de mercado (70€/t), enquanto a BF possui um menor custo (10€/t), além de maior oferta.

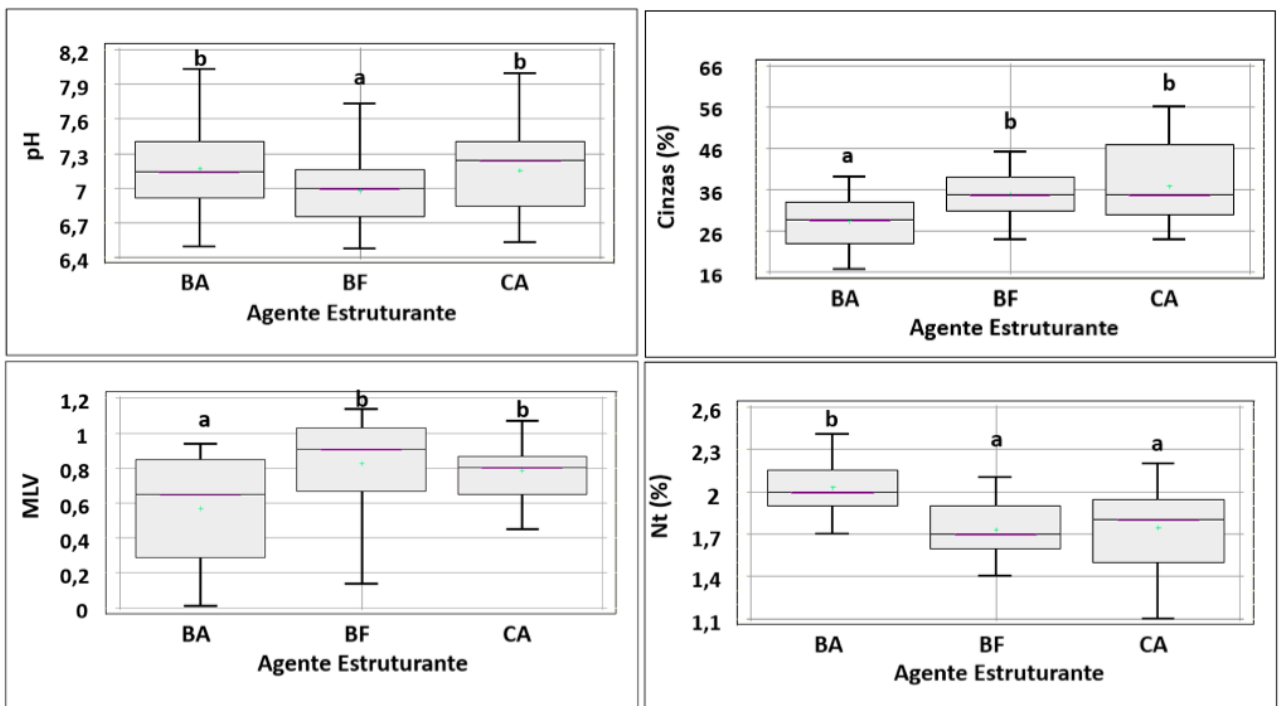


Figura 2 - Valores médios obtidos para pH, cinzas, MLV e Nt ao longo do processo. Letras diferentes indicam diferenças significativas (p -valor < 0,05); número de amostras analisadas (n) para pH e cinzas: 144; MLV: 100; Nt: 120. Outliers: $1,5 \times$ intervalo entre quartis.

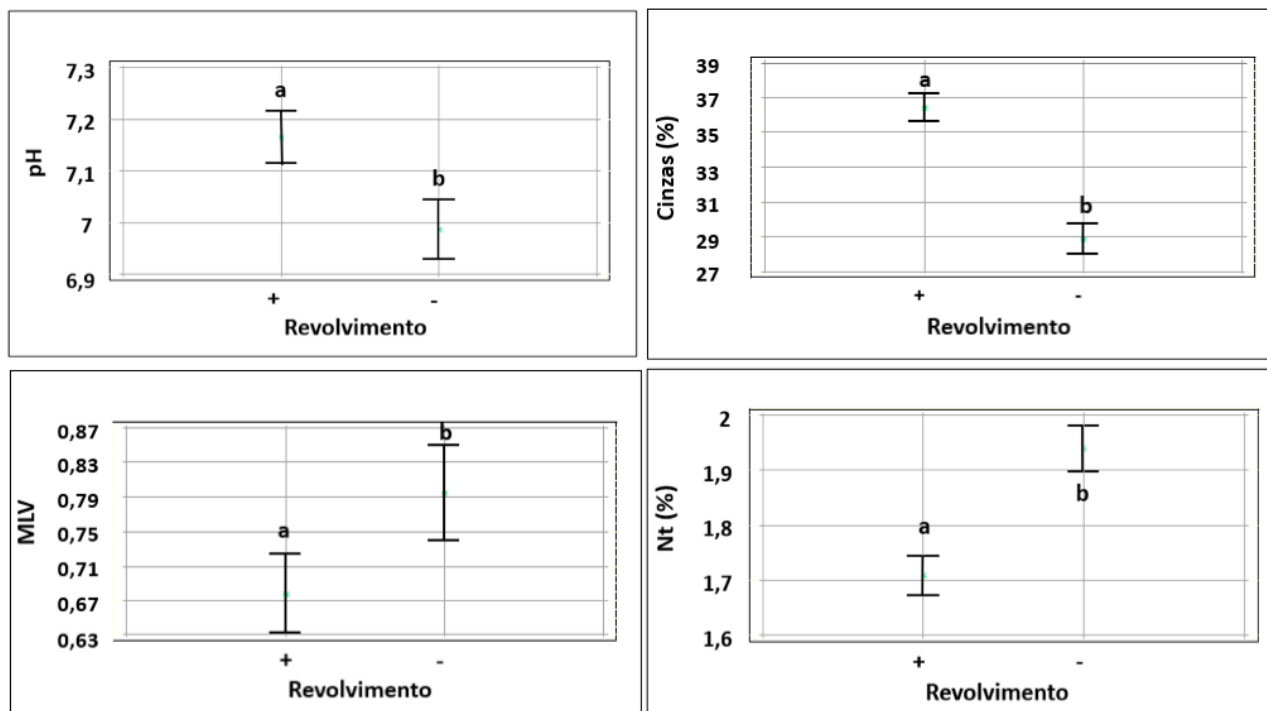


Figura 3 - Valores médios obtidos para pH, cinzas, MLV e Nt ao longo do processo. Letras diferentes indicam diferenças significativas (p -valor < 0,05); número de amostras (n) para pH e cinzas: 168; MLV: 117; Nt: 140. Outliers: 1,5*intervalo entre quartis.

Por fim, para o MLV a presença ou não de AE não foi determinante, visto que todas as pilhas perderam fitotoxicidade em 105 dias. Hernández *et al.* (2022) observaram perda de fitotoxicidade das pilhas com BA e CA após 6 meses de compostagem. Tal diferença pode estar relacionada ao uso de um BA 'esgotado' neste ensaio, ou seja, o BA utilizado não se tratava de um BA fresco.

Observa-se, na Figura 3, que as pilhas (+) apresentam maior pH e teor de cinzas e menor MLV e Nt. Paralelamente, as pilhas (-) apresentam menor pH e teor de cinzas e maior MLV e Nt. Tal comportamento indica que o revolvimento pode acelerar a degradação bioquímica do material e promover maior perda de peso, embora as pilhas(-) concentrem N e percam menos peso, e ainda apresentaram maior MLV, ou seja, menor fitotoxicidade.

Valores superiores de pH relacionados ao revolvimento também foram observados por Albuquerque *et al.* (2006), por conta da maior presença de oxigênio e, conseqüentemente, maior oxidação do material, resultando em uma compostagem mais

acelerada. Da mesma forma, o maior teor de cinzas em pilhas (+) indica maior perda de peso e maior taxa de decomposição da MO. Nem sempre um alto teor de cinzas é proporcionalmente benéfico ao composto, visto que, além dos nutrientes disponíveis, as cinzas indicam também minerais insolúveis que reduzem a qualidade do composto (Kiehl, 2002).

Com relação ao MLV, nota-se que as pilhas (-) apresentaram valores significativamente superiores quando comparadas com pilhas (+). Considerando que todas as pilhas perderam a fitotoxicidade, a ausência de necessidade de revolvimento para esse parâmetro se faz positivo, já que revolver as pilhas encarece o processo, por conta da necessidade de mão de obra e máquinas. As pilhas (-) também apresentaram maiores teores de Nt, que pode indicar menores perdas por volatilização do amoníaco. Ainda, de forma a avaliar possíveis relações entre os parâmetros analisados, foi realizado um modelo linear de regressão simples considerando COT e pH, resultando em:

$$COT = 132,58 - 14,289 * pH \quad (1)$$

(1) Relação significativa: n amostral= 139 p-valor<0,01, e coeficiente de correlação R2=-0,650

A equação (1) apresenta o coeficiente de correlação moderadamente forte entre si, o que indica que o pH é um bom indicador de fácil medição no processo de compostagem, além de ser possível obter os teores de COT preditos a partir de pH para este processo de compostagem.

CONCLUSÕES

A partir deste trabalho foi possível confirmar a hipótese de que é possível compostar um resíduo altamente fitotóxico como o BA com diferentes AE. De forma geral não houve diferenças significativas

entre o tipo de AE (CA ou BF), possibilitando a escolha do AE de maior disponibilidade e menor custo monetário. Também foi possível testar o comportamento de pilhas 100% BA, que também apresentaram resultados favoráveis para sua implementação. Com relação à tecnologia de ar difuso, as pilhas (-), quando comparadas às pilhas (+), apresentaram teores superiores de Nt e de MLV (ausência de fitotoxicidade). Tais resultados mostram maior eficiência do processo de compostagem por ser mais rentável economicamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Acushla, à equipa do More, ao Instituto Politécnico de Bragança e ao Projeto BIOMA (POCI-01-0247-FEDER-046112) pelo suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J.A.; González, J.; García, D. & Cegarra, J. (2004) - Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, vol. 91, n. 2, p. 195-200. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00177-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00177-9)
- Albuquerque, J.A.; González, J.; García, D. & Cegarra, J. (2006) - Effects of bulking agents on the composting of ‘alperujo’, the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry*, vol. 41, n. 1, p. 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.06.006>
- Albuquerque, J.A.; González, J.; Tortosa, G.; Baddi, G. A. & Cegarra, J. (2009) - Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation*, vol. 20, p. 257-270. <https://doi.org/10.1007/s10532-008-9218-y>
- Ameziane, H.; Nounah, A.; Khamar, M. & Zouahri, A. (2020) - Composting olive pomace: evolution of organic matter and compost quality. *Agronomy Research*, vol. 18, n. 1, p. 5–17. <https://doi.org/10.15159/AR.20.004>
- APA (2015) - *Resíduos excluídos do âmbito de aplicação do RGGR. Biomassa na aceção do REI. Conceitos de Biorresíduos e Resíduos Biodegradáveis. Versão 3: Julho de 2015.* Agência Portuguesa do Ambiente. [cit. 2023.04.28]. <https://apambiente.pt/sites/default/files/2021-05/Res%C3%ADduos%20exclu%C3%ADdos%20do%20%C3%A2mbito%20de%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20RGGR%20Biomassa%20na%20ace%C3%A7%C3%A3o%20do%20REI.pdf>
- Borja, R.; Rincón, B.; Raposo F.; Alba, J. & Martín, A. (2002) - A study of anaerobic digestibility of two-phases olive mill solid waste (OMSW) at mesophilic temperature. *Process Biochemistry*, vol. 38, n. 5, p. 733-742. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00202-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00202-9)
- Brito, L.M. (2017) - *Compostagem, fertilização do solo e substratos.* 1ª ed. Publindústria, Edições Técnicas. Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão, 159 p.
- Diacono, M.; Ferri, D.; Ciaccia, C.; Tittarelli, F.; Ceglie, F.; Verrastro, V.; Ventrella, D.; Vitti, C. & Montemurro, F. (2012) – *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science*, vol. 62, n. 6, p. 510-518. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.663785>
- EDIA (2022) – *Unidades de Recirculação de Subprodutos de Alqueva (URSA), Compostagem.* Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas de Alqueva, S.A. [cit. 2023.04.28]. <http://www.edia.pt/ursa/>
- INE (2022) - *Superfície das principais culturas agrícolas (ha) por Localização geográfica (Região agrícola) e Espécie; Anual (1).* Instituto Nacional de Estatística. [cit. 2023.04.28]. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000019&contexto=bd&selTab=tab2
- INE (2023) - *Campanha oleícola de 2022 é a quarta melhor de sempre, apesar da redução de 40% da produção de azeite.* Instituto Nacional de Estatística. [cit. 2023.06.19]. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=581118399&DESTAQUESmodo=2
- GPP (2020) – *Análise Setorial – Azeite.* Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral. [04.05.2023]. https://www.gpp.pt/images/PEPAC/Anexo_NDICE_ANLISE_SETORIAL___AZEITE.pdf
- Hernández, Z.; Figueiredo, D.; Royer, A. C.; Fonseca, F.; Almendros, G. & Figueiredo, T. (2022) - Qualidade da matéria orgânica e perda de fitotoxicidade em estágios progressivos da compostagem de bagaço de azeitona. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 45, n. 4, p. 262-266. <https://doi.org/10.19084/rca.28423>
- Kiehl, E.J. (2002) – *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.* 3ª edição, Piracicaba, Editado pelo autor. Divisão de Biblioteca e Documentação Campus “Luiz de Queiroz”/USP. 171 p.