

INCORPORAÇÃO DE EXTRATOS DE COUVE E COUVE-FLORES EM FIBRAS DE ZEÍNA PELA TÉCNICA DE *ELECTROSPINNING*

Helen Cristina dos Santos Hackbart¹
Marjana Radünz²
José Pedro Spies Nolibos³
Elessandra da Rosa Zavareze⁴

RESUMO: As hortaliças do gênero das Brassicas possuem em sua composição compostos exclusivos denominados glicosinolatos que apesar de possuírem diversos benefícios a saúde são termicamente instáveis sendo necessário o desenvolvimento de técnicas para a proteção destes, como a encapsulação por *electrospinning*. O objetivo do trabalho foi produzir fibras de zeína incorporadas com extratos de couve ou couve-flor pela técnica de *electrospinning*. Para isto foram preparados extratos hidroalcoólicos de couve e couve-flor e as fibras foram produzidas pela técnica de *electrospinning* utilizando como material de parede a zeína e estas foram avaliadas quanto a eficiência de encapsulação, comportamento térmico, perda de massa, estrutura e grupos funcionais. Após as avaliações observa-se que a fibra de zeína incorporada com extrato de couve apresentou maior eficiência de encapsulação e melhor estabilidade térmica do que a fibra de couve-flor. Conclui-se que a técnica de *electrospinning* é efetiva para a produção de fibras incorporadas com extratos de couve e couve-flor, além de promover a preservação destes, podendo ser aplicadas em alimentos.

Palavras-chave: Brassicas, encapsulação, glicosinolatos

INCORPORATION OF KALE AND CAULIFLOWER EXTRACTS IN ZEIN FIBERS BY THE ELECTROSPINNING TECHNIQUE

ABSTRACT: The vegetables of the genus Brassicas have in their composition exclusive compounds called glycosinolates that although they have several health benefits are thermally unstable and it is necessary to develop techniques for their protection, such as electrospinning encapsulation. The objective of the work was to produce zein fibers incorporated with cauliflower or cauliflower extracts by electrospinning technique. For this purpose, hydroalcoholic extracts of cauliflower and cauliflower were prepared and the fibers were produced by the electrospinning

- 1 Pós Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.
- 2 Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.
- 3 Iniciante Científico do Curso de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.
- 4 Professor Adjunto, Universidade Federal de Pelotas.

technique using as zein wall material and these were evaluated for encapsulation efficiency, thermal behavior, mass loss, structure and functional groups. After the evaluations, it was observed that the zein fiber incorporated with kale extract presented higher encapsulation efficiency and better thermal stability than cauliflower fiber. It is concluded that the electrospinning technique is effective for the production of fibers incorporated with extracts of cauliflower and cauliflower, besides promoting the preservation of these, and can be applied in food.

Keywords: Brassicas, encapsulation, glucosinolates.

INTRODUÇÃO

A família Brassicaceae apresenta várias espécies economicamente importantes para o uso como hortaliças e tem sido alvo de várias pesquisas devido às propriedades farmacológicas dos glicosinolatos, compostos de ocorrência exclusivas das Brassicas, derivados dos aminoácidos que possuem em sua estrutura química ésteres de (Z)-N-hidroximinosulfato unidos à β -D-glicopiranosose por enxofre e uma cadeia lateral de aminoácidos (Figura 1) (LELARIO et al., 2012; CLARKE, 2010; SONDERBY et al., 2010). Entretanto em condições estressoras, eles sofrem uma hidrólise por ação de enzimas mirosinases levando à perda do grupamento açúcar e formando isotiocianatos, tiocianatos, nitrilas, epitionitrilas e oxazolidine-2-thiones (WU et al., 2017).

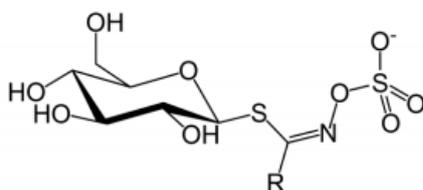


Figura 1. Estrutura dos glicosinolatos. Fonte: SONDERBY et al., 2010

Figure 1. Structure of glucosinolates. Source: SONDERBY et al., 2010

Os glicosinolatos promovem diversos benefícios para a saúde, tais como efeito quimioprotetor, efeito antidiabetogênico, efeito neuroprotetor e efeito antiaterosclerótico (TARROZZI et al., 2013; ARES et al., 2014; BAHADORAN et al., 2012). Apesar disto, estes compostos possuem baixa estabilidade a temperaturas elevadas, como o processo de cocção, sendo necessárias alternativas para a preservação destes compostos, entre estas destaca-se a encapsulação pela técnica de *electrospinning* (SONG et al., 2013; WU et al., 2014; WU et al., 2010).

A técnica de *electrospinning* consiste na encapsulação de compostos por meio de diferenças eletrostáticas. Esse processo envolve a aplicação de campo elétrico entre o polímero e um coletor metálico. Geralmente, o polímero, fundido ou em solução, está

contido em um reservatório com um tubo capilar (tipicamente, uma seringa hipodérmica e uma agulha), e é forçado a escoar por uma agulha por ação da gravidade ou com o auxílio de uma bomba de infusão. Quando se aplica uma alta tensão elétrica no tubo capilar, que está localizado à uma certa distância de um coletor (que pode ser plano e estacionário ou cilíndrico e rotativo), ocorre uma polarização nas moléculas do polímero. Quando a diferença de potencial elétrico entre o tubo capilar e o coletor ultrapassa um valor crítico, a força eletrostática atuando no polímero passa a ser maior do que a tensão interfacial da solução na ponta do tubo, formando o chamado cone de Taylor e acarretando a formação de um jato que é atraído em direção ao coletor. Neste ponto, o campo elétrico é responsável por alongar o jato, tornando-o cada vez mais fino, dando origem às fibras de diâmetros micro ou nanométricos (BHUSHANI & ANANDHARAMAKRISHNAN, 2014).

Em razão do potencial benefício dos glicosinolatos e sua baixa estabilidade térmica, o objetivo do trabalho foi produzir fibras de zeína incorporadas com extratos de couve ou couve-flor pela técnica de *electrospinning*.

MATERIAL E MÉTODOS

Aquisição da amostra

As amostras de couve e couve-flor foram adquiridas no comércio local do município de Pelotas – RS.

Preparo dos extratos

Cinco gramas de amostras de couve ou couve-flor liofilizadas e moídas foram homogeneizadas com 20 mL de uma solução de etanol:água (70:30; v:v) e submetidas a aquecimento em banho durante 5 min. Em seguida foram sonicadas em ultrassom por 15 min e centrifugadas a 8232 g a 10 min a uma temperatura de 4 °C. O sobrenadante foi recolhido e o resíduo ressuspendido em 5 mL de etanol:água (70:30 v:v) e centrifugada nas mesmas condições. Os sobrenadantes foram homogeneizados e armazenados a -80°C até a utilização.

Encapsulação

A encapsulação do extrato foi realizada pela técnica de *electrospinning* onde as condições da fonte foram de + 19 KV e – 3 KV de voltagem. Primeiramente foi

preparada uma solução de zeína na concentração de 30% dissolvida em etanol: água (70:30 v:v) com auxílio de um agitador magnético. Após o extrato de couve ou couve-flor foi homogeneizado com a solução de zeína proporção de 30:70 (extrato:zeína, v:v) e transferido para seringas de 1 ml acopladas em injetor com fluxo de 1,2 ml/h a uma distância de 25 cm.

Eficiência de encapsulação (EE%)

As EE (%) das fibras de zeína incorporada com os extratos de couve ou couve-flor foi determinada em razão da quantidade de compostos fenólicos, segundo o método proposto por Rutz et al. (2013) com modificações. Uma mg de fibras foi homogeneizada em 200 µL de etanol:água (70:30) com auxílio de um vortex e após centrifugadas a 8232 x g, a 4°C por 5 min. O sobrenadante foi retirado para a análise de teor de compostos fenólicos totais pelo método de Folin-Ciocalteu com modificações. A EE% expressa conforme a Equação 1.

$$EE\% = \frac{FB - FF}{FB} \quad (\text{Equação 1})$$

em que: EE% = eficiência de encapsulação em %; FB = conteúdo de compostos fenólicos da Brassica (couve ou couve-flor); FF = conteúdo de compostos fenólicos da fibra

Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

A análise do comportamento térmico das amostras foi realizada na Central Analítica do Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas (CCQFA, UFPel). Para isto, foram pesadas uma mg de amostra em cadinhos de alumínio fechados. Posteriormente as amostras foram aquecidas com uma taxa de 0,5 °C min⁻¹, na faixa de 30 a 250 °C sob fluxo de nitrogênio (50 mL min⁻¹).

Análise termogravimétrica (TGA)

As propriedades térmicas das amostras foram avaliadas com auxílio de um equipamento termogravimétrico (TGA, TA-60WS, Shimadzu, Kyoto, Japão). Para isto foram pesadas em cápsula de platina 0,5 e 1 mg e após submetidas a aquecimento até

750°C com uma taxa de aquecimento de 50°C.min⁻¹ e fluxo de nitrogênio de 50mL.min⁻¹. Para controle foi utilizada uma cápsula de platina vazia.

Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR foi realizada na Central Analítica do Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas (CCQFA, UFPel) utilizando um espectrômetro FTIR IRAffinity-1, Shimadzu, resolução 400 – 4000 cm com 32 varreduras.

RESULTADOS

Eficiência de encapsulação

A fibra incorporada com extrato de couve apresentou eficiência de encapsulação superior a fibra incorporada com extrato de couve-flor (Tabela 1).

Tabela 1. Eficiência de encapsulação das fibras de extrato hidroalcolólico de couve e couve-flor
Table 1. Efficiency of encapsulation of hydroalcoholic extract fibers of kale and cauliflower

Amostra	Eficiência de encapsulação (%)
Fibra incorporada com extrato de couve	98,9 ^A
Fibra incorporada com extrato de couve-flor	86,3 ^B

Médias seguidas letras diferentes diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As amostras de couve e couve-flor em pó, a fibra de zeína sem incorporação de extrato e as fibras de zeína incorporadas com extrato de couve ou couve-flor apresentaram apenas um evento endotérmico referente a desidratação. Entre as fibras produzidas, observa-se que a fibra incorporada com extrato de couve apresentou melhor estabilidade térmica.

Tabela 2. Comportamento térmico das fibras de zeína incorporadas com extrato de couve e couve-flor
Table 2. Thermal behavior of zein fibers incorporated with kale and cauliflower extract

Amostra	ΔT (°C)	Temp(°C)	ΔH (J/g)
Fibra de zeína	5,49	197,74	43,29
Couve em pó	17,39	159,10	102,44
Couve-flor em pó	50,74	166,07	299,67
Fibra incorporada com extrato de couve-flor	8,42	204,34	3,51
Fibra incorporada com extrato de couve	7,6	170,58	91,30

ΔT – variação de temperatura do evento endotérmico; Temp – temperatura média onde ocorreu o evento endotérmico; ΔH – energia necessária para a realização do evento endotérmico

Análise termogravimétrica (TGA)

Pela análise termogravimétrica observa-se que a fibra de couve possui uma perda de massa menor e uma temperatura de degradação maior, sendo considerada, portanto mais estável termicamente do que a fibra de couve-flor, isto possivelmente se deve a presença de cálcio na couve.

Tabela 3. Perda de massa das fibras de zeína incorporadas com extrato couve e couve-flor

Table 3. Mass loss of zein fibers incorporated with kale and cauliflower extract

Amostra	Δm (mg)	Temperatura	ΔT	Perda de massa%	Resíduo (%)
Fibra de zeína	0,24	460,41	194,87	30,3	69,7
Couve em pó	1,21	308,65	177,18	63,6	36,4
Couve-flor em pó	1,98	321,18	191,69	62,0	38
Fibra incorporada com extrato de couve	0,27	461,88	181,8	37,6	62,4
Fibra incorporada com extrato de couve-flor	0,91	283,33	171,55	95,6	4,4

Δm – perda de massa em mg; Temperatura – temperatura média da perda de massa; ΔT – variação de temperatura do processo de perda de massa

Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A amostra de couve-flor liofilizada apresentou bandas em 3294 cm^{-1} ($\nu\text{O-H}$), $2923\text{--}2853\text{ cm}^{-1}$ ($\nu\text{sC-H}$; $\nu_{\text{assC-H}}$), 1742 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) presentes em ácidos carboxílicos, 1644 cm^{-1} ($\nu\text{C=N}$) juntamente com a banda 1546 cm^{-1} ($\nu_{\text{assN-O}}$) referentes as vibrações de iminas ou oximas (C=N-O), 1393 cm^{-1} em conjunto com banda forte em 1024 cm^{-1} ($\nu_{\text{assS=O}}$; $\nu\text{sS=O}$) característico de sulfonas, ainda é possível observar a banda em 1235 cm^{-1} ($\nu\text{C-O-C}$) da cadeia (Figura 2A).

A fibra de zeína pura apresentou bandas em 3299 cm^{-1} ($\nu\text{O-H}$) sobreposto a banda ($\nu\text{N-H}$) da amida A, $2955\text{--}2929\text{ cm}^{-1}$ ($\nu\text{sC-H}$; $\nu_{\text{assC-H}}$), 1649 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) dos grupos peptídeos da amida I e, 1535 cm^{-1} ($\nu\text{C-N}$ sobreposto ao $\delta\text{N-H}$) característicos da das ligações da amida II. As bandas de amida I e II, nesta região, indicam a predominância

de estruturas secundárias α e β da zeína. Ainda é observada a banda em 1449 cm^{-1} respectiva as vibrações ($\nu\text{C-O}$ sobreposta a $\delta\text{O-H}$) (Figura 2 B).

A fibra de zeína incorporada com extrato de couve-flor na proporção 30:70 extrato:zeína (p:p) apresentou bandas em 3288 cm^{-1} ($\nu\text{O-H}$ sobreposto a $\nu\text{N-H}$), $2962\text{-}2923\text{ cm}^{-1}$ ($\nu_{\text{s}}\text{C-H}$; $\nu_{\text{ass}}\text{C-H}$), características da couve-flor e da zeína, ainda observou-se o deslocamento da banda dos grupos peptídeos da amida I da zeína em 1644 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) antes observada em 1649 cm^{-1} e o desaparecimento da banda 1742 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) característico dos grupos carboxílicos de lipídios, antes observada na couve-flor. Outras bandas referentes à zeína em 1535 cm^{-1} ($\nu\text{C-N}$ sobreposto ao $\delta\text{N-H}$) característicos da das ligações da amida II e a banda em 1449 cm^{-1} ($\nu\text{C-O}$ sobreposta a $\delta\text{O-H}$) de ácidos carboxílicos são observadas. Por fim, a banda fraca em 1040 cm^{-1} referente à vibração ($\nu_{\text{s}}\text{C-O}$) da cadeia é observada. A confirmação da formação da fibra incorporada com extrato hidroalcoólico de couve-flor (30:70 extrato:zeína p:p) se dá pela similaridade da região *fingerprint* ($800 < \text{cm}^{-1} < 1500\text{ cm}^{-1}$) com a mesma região observada na zeína pura (Figura 2C).

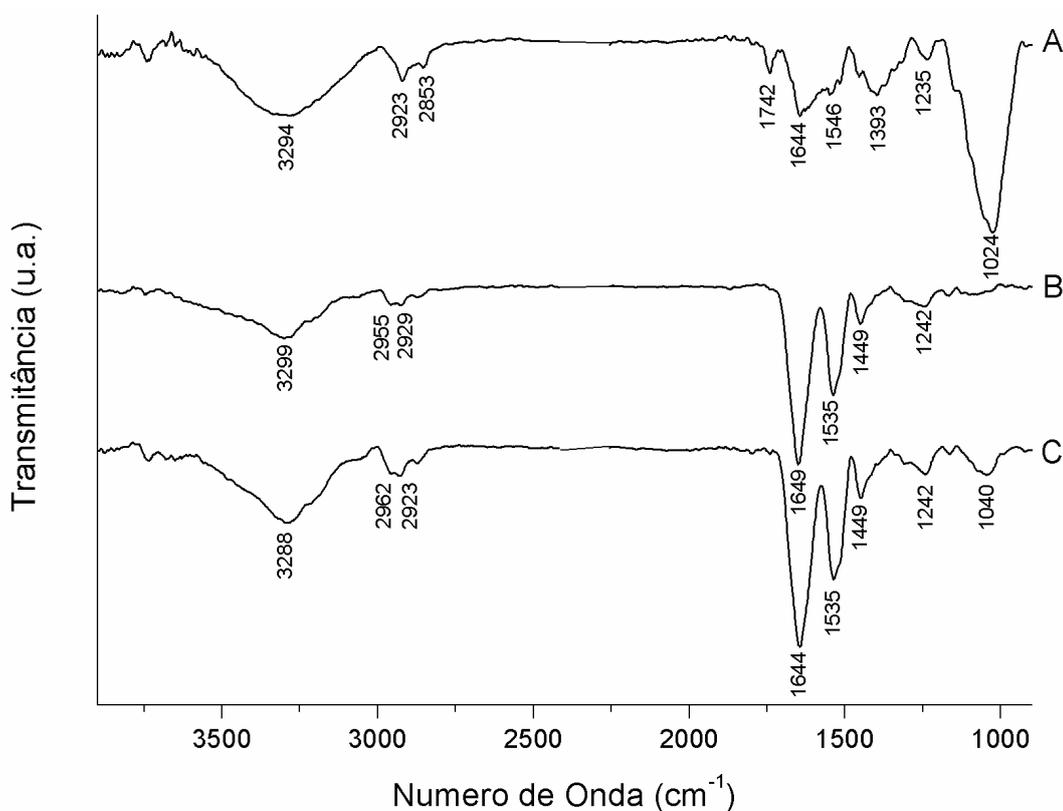


Figura 2. Espectro de infravermelho, onde A: couve-flor liofilizada; B: fibra de zeína; C: fibra de zeína incorporada com extrato de couve-flor

Figure 2. infrared spectroscopy , where A: freeze-dried cauliflower; B: zein fiber; C: zein fiber incorporated with cauliflower extract

A amostra de couve liofilizada apresentou bandas em 3315 cm^{-1} ($\nu\text{O-H}$), $2923\text{-}2853\text{ cm}^{-1}$ ($\nu_{\text{s}}\text{C-H}$; $\nu_{\text{ass}}\text{C-H}$), 1742 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) presentes em ácidos carboxílicos, 1644 cm^{-1} ($\nu\text{C=N}$) juntamente com a banda 1541 cm^{-1} ($\nu_{\text{ass}}\text{N-O}$) referentes as vibrações de iminas ou oximas (C=N-O), 1400 cm^{-1} em conjunto com banda forte em 1050 cm^{-1} ($\nu_{\text{ass}}\text{S=O}$; $\nu_{\text{s}}\text{S=O}$) característico de sulfonas (Figura 3A).

A fibra de zeína pura apresentou bandas em 3299 cm^{-1} ($\nu\text{O-H}$) sobreposto a banda ($\nu\text{N-H}$) da amida A, $2955\text{-}2929\text{ cm}^{-1}$ ($\nu_{\text{s}}\text{C-H}$; $\nu_{\text{ass}}\text{C-H}$), 1649 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) dos grupos peptídeos da amida I e, 1535 cm^{-1} ($\nu\text{C-N}$ sobreposto ao $\delta\text{N-H}$) característicos da das ligações da amida II. As bandas de amida I e II, nesta região, indicam a predominância de estruturas secundárias α e β da zeína. Ainda é observada a banda em 1449 cm^{-1} respectiva as vibrações ($\nu\text{C-O}$ sobreposta a $\delta\text{O-H}$) (Figura 3B).

A fibra de zeína incorporada com extrato de couve na proporção 30:70 e:z (p:p) apresentou bandas em 3288 cm^{-1} ($\nu\text{O-H}$ sobreposto a $\nu\text{N-H}$), $2962\text{-}2923\text{ cm}^{-1}$ ($\nu_{\text{s}}\text{C-H}$; $\nu_{\text{ass}}\text{C-H}$), características da couve e da zeína, ainda observou-se o deslocamento da banda dos grupos peptídeos da amida I da zeína em 1639 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) antes observada em 1649 cm^{-1} e o desaparecimento da banda 1742 cm^{-1} ($\nu\text{C=O}$) característico dos grupos carboxílicos de lipídios, antes observada na couve. Outras bandas referentes à zeína em 1535 cm^{-1} ($\nu\text{C-N}$ sobreposto ao $\delta\text{N-H}$) característicos da das ligações da amida II e a banda em 1449 cm^{-1} ($\nu\text{C-O}$ sobreposta a $\delta\text{O-H}$) de ácidos carboxílicos são observadas. Por fim, a banda fraca em 1040 cm^{-1} referente à vibração ($\nu_{\text{s}}\text{ C-O}$) da cadeia é observada. A confirmação da formação da fibra incorporada com extrato hidroalcoólico de couve (30:70 extrato:zeína p:p) se dá pela similaridade da região *fingerprint* ($800 < \text{cm}^{-1} < 1500\text{ cm}^{-1}$) com a mesma região observada na zeína pura (Figura 3C).

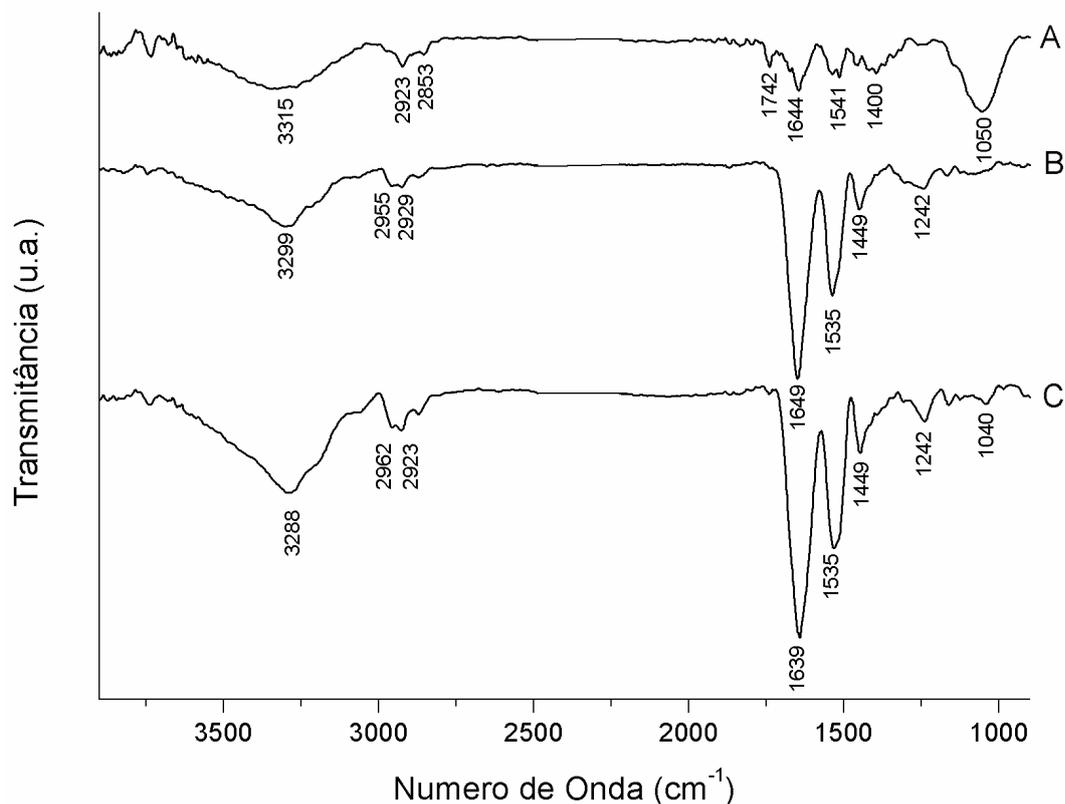


Figura 3. Espectro de infravermelho, onde A: couve liofilizada; B: fibra de zeína; C: fibra de zeína incorporada com extrato de couve

Figure 3. Infrared spectroscopy, where A: freeze-dried cabbage; B: zein fiber; C: zein fiber incorporated with kale extract

DISCUSSÃO

Eficiência de encapsulação

A EE% é influenciada pelo material de parede e pelo método de encapsulação. As fibras de zeína incorporadas com extrato de couve e de couve-flor apresentaram eficiência de encapsulação superiores a 86%. Este resultado corrobora com a alta eficiência de encapsulação (acima de 90%) de compostos bioativos promovida pela técnica de *electrospinning* utilizando zeína como material de parede (WANG et al., 2016; MOOMAND & LIM et al., 2015; NEO et al., 2013; WU et al., 2013).

Calorimetria Diferencial de Varredura

Todas as amostras avaliadas apresentaram eventos endotérmicos em temperaturas entre 100 e 200°C associados a perda de água da estrutura. A ausência de outros eventos na fibra de zeína sem incorporação de extrato é devido a degradação de sua estrutura ocorrer em temperaturas superiores a 300°C (LUO et al., 2011).

Análise Termogravimétrica

A fibra de zeína sem incorporação de extrato apresentou perda de massa em 460°C relativa a degradação térmica de sua estrutura, que ocorre em temperaturas superiores a 300° (TORRES-GINER & LAGARON, 2010). Enquanto a couve e a couve-flor em pó apresentaram perdas de massa superiores a 60%, que possivelmente sejam dos compostos de interesse, pois estes são instáveis a temperaturas elevadas (CISKA et al., 2015).

A diminuição da perda de massa da fibra de zeína incorporada com extrato de couve em relação a ambos os materiais ocorre devido a interação entre a estrutura do material de parede e os compostos presentes na couve, principalmente o elevado conteúdo de cálcio, que promove uma maior estabilidade térmica da amostra. Já a elevada perda de massa da fibra de zeína incorporada com extrato de couve-flor ocorre devido a fracas interações entre o extrato e a zeína.

Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR da fibra de zeína comprova o resultado presente na literatura, onde a zeína possui vibrações de alongamento de N-H em 3291 cm^{-1} , vibrações de estiramento C-H nos números de onda 2957 cm^{-1} , 2871 cm^{-1} , 2927 cm^{-1} e 2850 cm^{-1} e bandas em 1644 cm^{-1} referente a amida I devido a vibrações do estiramento C=O e bandas em 1527 cm^{-1} referente a amida II derivada das vibrações do estiramento de C-N e da curvatura de N-H (NEO et al, 2013). As amostras de couve-flor e couve em pó apresentaram bandas em número de onda similares, onde a presença das bandas sulfonas S=O é característica da presença de glicosinolatos na estrutura (WU et al., 2014; WU et al., 2013; WU et al., 2010). Por fim a confirmação da incorporação dos extratos é comprovada pela similaridade da região *fingerprint* ($800 < \text{cm}^{-1} < 1500 \text{ cm}^{-1}$) com a mesma região observada na zeína pura.

CONCLUSÕES

A produção de fibras de extrato de couve e couve-flor pela técnica de *electrospinning* foi efetiva, apresentando elevada eficiência de encapsulação e estabilidade térmica em temperaturas superiores a 280°C. Entretanto, novos estudos

devem ser realizados para avaliar a estabilidade as fibras produzidas na aplicação de alimentos com o objetivo de agregar compostos a estes.

REFERÊNCIAS

ARES, A.M.; NOZAL, M.J.; BERNAL, J.L.; BERNAL, J. Optimized extraction, separation and quantification of twelve intact glucosinolates in broccoli leaves. **Food Chemistry**, v. 152, p. 66-74, 2014.

BAHADORAN, Z.; TOHIDI, M.; NAZERI, P.; MEHRAN, M.; AZIZI, F.; MIRMIRAN, P. Effect of broccoli sprouts on insulin resistance in type 2 diabetic patients: a randomized double-blind clinical trial. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63, p. 767-771, 2012.

BHUSHANI, J.A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Electrospinning and electrospraying techniques: Potential food based applications. **Food Science & Technology**, v. 38, n.1, p. 1-13, 2014.

CISKA, E., DRABINSKA, N., NARWOJSZ, A., HONKE, J. Stability of glucosinolates and glucosinolate degradation products during storage of boiled white cabbage. **Food Chemistry**, v. 203, p. 340-347, 2016.

CLARKE, D.B. Glucosinolate, structures and analysis in food. **Analytical Methods**, v. 2, p. 310-325, 2010.

LUO, Y.; ZHANG, B.; WHENT, M.; YU, L.; WANG, Q. Preparation and characterization of zein/chitosan complex for encapsulation of-tocopherol, and its in vitro controlled release study. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 85, n. 2, p. 145-152, 2011.

MOOMAND, K.; LIM, L.T. Effects of solvent and n-3 rich fish oil on physicochemical properties of electrospun zein fibres. **Food Hydrocolloids**, v. 46, p. 191-200, 2015.

NEO, Y.P.; RAY, S.; GIZDAVIC-NIKOLAIDIS, M.; NIEUWOUDT, M.K.; LIU, D.; QUEK, S.Y. Encapsulation of food grade antioxidant in natural biopolymer by electrospinning technique: a physicochemical study based on zein-gallic acid system. **Food Chemistry**, v. 136, n. 2, p. 1013-1021, 2013.

RUTZ, J.K.; ZAMBIAZI, R.C.; BORGES, C.D.; KRUMREICH, F.D.; LUZ, S.R.; HARTWIG, N.; ROSA, C.G. Microencapsulation of purple Brazilian cherry juice in

xanthan, tara gums and xanthan-tara hydrogel matrixes. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, p. 1256-1265, 2013.

SONDERBY, I. E.; GEU-FLORES, F.; HALKIER, B. A. Biosynthesis of glucosinolates—gene discovery and beyond. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 5, p. 283–290, 2010.

TARROZZI, A.; ANGELONI, C.; MALAGUTI, M.; MORRONI, F.; HRELIA, S.; HRELIA, P. Sulforaphane as a potential protective phytochemical against neurodegenerative diseases. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2013, p. 1-10, 2013.

TORRES-GINER, S.; LAGARON, J.M. Zein-based ultrathin fibers containing ceramic nanofillers obtained by electrospinning. I. Morphology and thermal properties. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 118, p. 778-789, 2010.

WANG, H.; HAO, L.; NIU, B.; JIANG, S.; CHENG, J.; JIANG, S. Kinetics and Antioxidant Capacity of Proanthocyanidins Encapsulated in Zein Electrospun Fibers by Cyclic Voltammetry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 15, p. 3083-3090, 2016.

WU, H.; LIANG, H.; YUAN, Q.; WANG, T.; YAN, X. Preparation and stability investigation of the inclusion complex of sulforaphane with hydroxypropyl- β -cyclodextrin. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, p. 613-617, 2010.

WU, Y.; MAO, J.; MEI, L.; LIU, S. Kinetic studies of the thermal degradation of sulforaphane and its hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complex. **Food Research International**, v. 53, p. 529-533, 2013.

WU, Y.; ZOU, L.; MAO, J.; HUANG, J.; LIU, S. Stability and encapsulation efficiency of sulforaphane microencapsulated by spray drying. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, p. 497-503, 2014.

