

# Produção de etanol a partir dos subprodutos de cenoura

## Ethanol production from carrot by-products

Flávia Regina Passos\*, Lucélia Cristina Alves, Fabrícia Queiroz Mendes, Kátia Rodrigues de Oliveira Rocha, Lorena Ribeiro, Samarina Gabrielle de Fátima Pereira, Thaís Oliveira da Silva e Válter de Castro Alcântara

Universidade Federal de Viçosa Campus de Rio Paranaíba, Instituto de Ciências Agrárias, Rodovia MG 230 – Km 07, Caixa Postal 22, 38810-000, Rio Paranaíba, MG, Brasil.

(\*E-mail: flaviapassos1@yahoo.com.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA16047>

Recebido/received: 2016.04.12

Recebido em versão revista/received in revised form: 2016.06.27

Aceite/accepted: 2016.06.28

### RESUMO

A cenoura (*Daucus carota* L.), planta da família das umbelíferas, caracteriza-se como uma das mais importantes olericulturas. Os subprodutos dos lavadores e das indústrias processadoras de cenoura podem ser valorizados com fins alimentares ou para obtenção de extratos para posterior utilização. O extrato de carotenóide da cenoura é o precursor de vitamina A, especialmente o  $\beta$ -caroteno, além de possuir função antioxidante. Os subprodutos gerados após a extração de carotenóides apresentam alto teor de biomassa lenhocelulósica, susceptível à produção de etanol de segunda geração. O desenvolvimento desta tecnologia permite o pleno aproveitamento dos subprodutos de cenoura, aumentando a produção de etanol. A presente revisão consiste em discutir a utilização da cenoura para a extração de carotenóides e o aproveitamento do resíduo gerado dessa extração para produção de etanol de segunda geração.

**Palavras-chave:** biomassa, carotenóides, *Daucus carota* L., etanol de segunda geração

### ABSTRACT

Carrot (*Daucus carota* L.) plant of the family umbelliferae, is characterized as one of the most important olericulture. The by-products of scrubbers and processing industries carrot can be valued by food purposes or for obtaining extracts for later use. Carotene extract carrot it is a precursor of vitamin A, especially  $\beta$ -carotene, as well as having antioxidant function. The by-products generated after the carotenoid extraction at high lignocellulosic biomass content, likely to produce second-generation ethanol. The development of this technology allows full use of the carrot products, increasing the production of ethanol. The present review is to discuss the use of carrot for carotenoid extraction and the use of the waste generated from this extraction for second-generation ethanol production.

**Keywords:** biomass, carotenoids, *Daucus carota* L., second generation ethanol

### INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma hortaliça popularmente cultivada em clima temperado, originária da Ásia Central, pertencente à família Apiaceae. Caracteriza-se como uma das mais importantes olerícolas, pela sua produção e consumo mundial, pela extensão de área plantada e pela alta relevância socioeconômica (Hadley e Fordham, 2015).

As perdas pós-colheita de cenoura são de grande magnitude. Ocorre quando as cenouras estão fora

do padrão comercial no que se refere tamanho ou forma, ou cujo valor econômico não é suficiente para compensar custos de colheita e transporte. Embora sejam utilizadas para alimentação animal, estas cenouras ainda possuem propriedades físico-químicas e características nutricionais quase idênticas àquelas cenouras destinadas à comercialização (Aimaretti e Ybalo, 2012). Assim, essas cenouras podem ser utilizadas industrialmente e reinseridas na cadeia produtiva, como por exemplo, empregá-las na extração de carotenóides.

A cenoura representa a principal fonte de origem vegetal em carotenóides pró-vitamínicos A, especialmente o  $\alpha$  e o  $\beta$ -caroteno, sendo, também, uma grande fonte de fibra dietética, antioxidantes e minerais (Contado *et al.*, 2010; Sharma *et al.*, 2012). Estes pigmentos são responsáveis pelas cores laranja, amarela e vermelha e são biossintetizados por bactérias, leveduras, algas, fungos filamentosos, para além das plantas (Uenojo *et al.*, 2007; Jaswir *et al.*, 2011; Baranski *et al.*, 2012).

O método mais usado para a extração de carotenóides é a extração com solventes. Os principais solventes de extração utilizados são acetona, éter de petróleo e hexano. A extração de carotenóides gera resíduos de alto teor de matéria orgânica, que podem oferecer risco potencial ao ambiente se não tratado apropriadamente. Assim, estes resíduos podem ser utilizados na produção de etanol de segunda geração (bioetanol).

A produção de etanol de segunda geração requer pré-tratamentos, incluindo processos físicos (temperatura) e químicos (ácidos), normalmente seguidos de hidrólise (enzimática) da celulose e da hemicelulose de resíduos de origem vegetal. Este processo libera os açúcares simples (hexoses e pentoses), que posteriormente podem ser convertidos a etanol por fermentação, seguida de destilação (Balat *et al.*, 2008; Aimaretti *et al.*, 2012). Essa nova geração representa uma alternativa para o uso energético da biomassa, apresentando vantagens ambientais e econômicas, por ser o etanol produzido a partir de lenhocelulose, presente em resíduos agroindustriais (Thangavelu *et al.*, 2016).

Este artigo pretende discutir a utilização da cenoura para a extração de carotenóides e o aproveitamento do resíduo gerado dessa extração para produção de etanol de segunda geração.

## CENOURA E SUBPRODUTOS

A cenoura é a principal hortaliça da família das apiáceas cultivada no mundo. A produção mundial de cenoura em 2013 foi de 34,2 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de 1,18 milhões de hectares, o que proporcionou produtividade média de 30,2 t ha<sup>-1</sup> (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015).

A raiz de cenoura é constituída por um miolo interno ou núcleo composto por xilema e um córtex externo composto em grande parte de floema. A maior qualidade da cenoura está associada às raízes compostas em grande parte de córtex de coloração laranja intensa (Baranski *et al.*, 2012; Hadley e Fordham, 2015).

A cultura da cenoura é uma das mais eficientes na acumulação de biomassa (Diamantopoulou *et al.*, 2011) e é uma das poucas plantas que acumulam açúcares livres em vacúolos (40-60% de carboidratos totais) como reserva (Aimaretti *et al.*, 2012). Segundo Aimaretti *et al.* (2012) os açúcares livres correspondem a 95%, compostos por sacarose, frutose e glucose, estando os açúcares redutores (frutose e glucose) estão presentes numa quantidade equimolar. A relação entre sacarose e açúcares redutores aumenta quando a planta atinge a maturidade, intensificando o sabor doce da cenoura (Yoon *et al.*, 2005; Baranski *et al.*, 2012).

A cenoura constitui fonte privilegiada de  $\alpha$ - e  $\beta$ -caroteno (20% e 50%, respectivamente), correspondendo aproximadamente a 70% de carotenóides, ambos considerados a principal fonte vegetal de provitamina A e associados à pigmentação laranja da raiz (Uenojo *et al.*, 2007; Jaswir *et al.*, 2011; Baranski *et al.*, 2012). Além dos carotenóides, a cenoura é fonte de vários outros antioxidantes lipofílicos, como licopeno e luteína (Jaswir *et al.*, 2011; Koley *et al.*, 2014). Acresce à sua riqueza em compostos bioativos a sua composição fenólica, particularmente em ácidos hidroxicinâmicos, a vitamina E (tocoferol), os minerais e elevados teores de fibra dietética (Sharma *et al.*, 2012).

Estes compostos bioativos têm uma gama de funções e um impacto significativo sobre a prevenção de várias doenças, degenerativas e crónicas, incluindo doenças cardiovasculares, danos no tecido oxidativo, degeneração macular e cancro de vários órgãos (Uenojo *et al.*, 2007; Contado *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2010; Sharma *et al.*, 2012). Os compostos bioativos, devido sua atividade antioxidante, previnem a oxidação lipídica por eliminação das espécies reativas de oxigénio e são responsáveis pela fotoproteção cutânea (Rodríguez-Amaya, 2010). Estas características justificam a oferta de cenoura *in natura* e sob diversos tipos de processamento tecnológico.

A cultura e o processamento da cenoura podem gerar um grande volume de resíduos, como desperdícios de mercado, desperdícios de seleção (defeitos físicos) e resíduos de processamento. Estudos realizados por Aimaretti e Ybalo (2012) em Santa Fé, Argentina, relataram que o rendimento médio de cenoura nesta província é de 40 t ha<sup>-1</sup>, sendo que apenas 6000 t ano<sup>-1</sup> de cenouras são comercializadas, gerando aproximadamente 50 t dia<sup>-1</sup> de cenouras descartadas. Esta quantidade de cenouras que são descartadas diariamente, geralmente, está fora do padrão comercial e é direcionada para alimentação animal.

Lana *et al.* (2002) avaliaram as perdas pós-colheita de cenoura em 4 lojas de uma rede de supermercados de Brasília, Brasil, pelo período de um ano. Segundo os autores, as principais causas de descarte foram danos mecânicos (37,4 ± 2,5%), defeitos de formato (32,0 ± 2,6%) e sobrematuração (7,6 ± 1,6%).

O processamento de sumo comercial de cenoura gera 30 a 50% de resíduos (Bao e Chang, 1994). Até 50% do caroteno pode ser perdido com estes resíduos (Stoll, 2004).

As cenouras descartadas muitas vezes têm níveis ótimos de nutrientes e frescura, e/ou os resíduos gerados durante o processamento contêm grandes quantidades de compostos valiosos, tais como carotenóides, fibra dietética, ácidos urônicos e açúcares neutros (Sharma *et al.*, 2012). Esses subprodutos são descartados constantemente nos lavadores e indústrias processadoras de cenoura, podendo ocasionar sérios problemas ambientais, além de representar perdas importantes de biomassa e nutrientes. Dessa forma, os subprodutos de cenoura representam fontes promissoras de compostos com propriedades bioativas que podem ser explorados no desenvolvimento de ingredientes e suplementos alimentares, como os carotenóides (Uenojo *et al.*, 2007; Jaswir *et al.*, 2011).

## CAROTENÓIDES E EXTRAÇÃO COM SOLVENTES

A denominação carotenóides é derivada do nome científico da cenoura, *Daucus carota*, primeira fonte de caroteno ( $\beta$ -caroteno) isolada por Wackenroder

em 1831 (Goodwin, 1980). Os carotenóides pertencem a um grupo de mais de 700 pigmentos lipossolúveis e uma bioprodução anual de 100 milhões de toneladas torna os carotenóides uma das classes de pigmentos mais difundidas na natureza (Jaswir *et al.*, 2011; Lerfall, 2016). De entre as estruturas de carotenóides, aproximadamente 50 possuem atividade biológica e deste total cerca de 40 podem ser encontradas em alimentos (Fraser e Bramley, 2004).

Os carotenóides, do ponto de vista químico, são compostos polisoprenóides e podem ser divididos em carotenos e xantofilas. Os carotenos apresentam apenas carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos), podendo ser acíclicos, como o licopeno, ou cíclicos, como o  $\alpha$ -caroteno e o  $\beta$ -caroteno, sendo estes dois últimos, precursores de vitamina A. As xantofilas são derivados oxigenados dos carotenos e contêm pelo menos uma função hidroxil, ceto, epóxi, metóxi ou ácido carboxílico. Os substituintes mais comuns são luteína, zeaxantina, astaxantina,  $\beta$ -criptoxantina e violaxantina (Quirós e Costa, 2006).

Os carotenóides são compostos extremamente susceptíveis às reações oxidativas, em razão do alto grau de insaturação das ligações. Nas frutas e vegetais *in natura*, a estrutura celular e a complexação com proteína conferem-lhe certa estabilidade (Contado *et al.*, 2010).

O teor de carotenóides na cenoura é influenciado por diversos fatores, tais como cultivar, condições edáfo-climáticas, maturidade, parte da raiz da amostra, bem como método de ensaio utilizado para a sua determinação (Oliveira *et al.*, 2010; Koley *et al.*, 2014). O total de carotenóides na porção comestível da cenoura pode variar de 6.000 a 54.800  $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  (Simon e Wolff, 1987), sendo o  $\beta$ -caroteno o carotenóide majoritário na raiz (entre 40% a 80% do total de carotenóides), seguindo-se o  $\alpha$ -caroteno e a luteína (Oliveira *et al.*, 2010). Os carotenóides como  $\beta$ -criptoxantina, zeaxantina e licopeno também estão presentes na cenoura, mas em quantidades vestigiais (Desorby *et al.*, 1998). Num trabalho realizado por Heinonea (1990), verificou-se que o conteúdo de carotenóides em cenoura no verão variou de 2600 a 5500  $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ . Southon e Faulks (2003) obtiveram concentração de  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e luteína de 7.975, 2.186 e 271  $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  de massa fresca, respectivamente, em cenouras. Contado *et al.* (2010) ao avaliarem dois

processos de extração de  $\beta$ -caroteno em cenoura, fluido super crítico e convencional encontraram teor de  $\beta$ -caroteno de 2.457 e 2.485  $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  de massa fresca, respectivamente.

O conteúdo total de caroteno encontrado nos resíduos de processamento de sumo de cenoura pode ser de até 2  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca, dependendo das condições de processamento (Singh *et al.*, 2006). Os resíduos de processamento de cenoura contêm 17 e 31-35% de  $\alpha$ - e  $\beta$ -caroteno, respectivamente, tanto nos resíduos de extrato clarificado como naquelas sem clarificação (Bao e Chang, 1994).

A extração com solventes orgânicos constitui o método mais utilizado para a obtenção de carotenóides. Devido à estrutura complexa dos carotenóides, não há um método específico para extraí-los (Quirós e Costa, 2006). Uma vez que os carotenóides são pigmentos lipossolúveis não saponificáveis, é comum realizar uma etapa de saponificação para remover os lipídeos que possam interferir nos procedimentos de extração com solventes apolares (Silva *et al.*, 2010).

Diversos solventes ou misturas de solventes têm sido empregados na extração de carotenóides em cenoura. Dentre eles podem ser citados: acetona e éter de petróleo (Contado *et al.*, 2010; Koley *et al.*, 2014), mistura de n-hexano:acetona (Englert *et al.*, 2015), acetona e éter naftol (Baranski *et al.*, 2012), éter de petróleo, metanol ou mistura de ambos (Zeraik e Yariwake, 2008). Tracionalmente, os solventes apolares como o éter de petróleo e o éter etílico são mais utilizados para a extração de carotenóides. Há outros, porém, apresentam muitas desvantagens como serem inflamáveis, tóxicos e degradarem rapidamente os carotenóides. Os solventes menos apolares como acetona, metanol e etanol são bons extratores quando se trata das xantofilas. Deste modo, misturas de solventes têm sido preferidas (Rodríguez-Amaya, 2010).

A extração de carotenóides deve ser feita rapidamente, evitando a exposição à luz, oxigênio e temperaturas elevadas, a fim de minimizar a auto-oxidação e isomerização trans-cis (Contado *et al.*, 2010; Stutz *et al.*, 2015). O processo comumente utilizado na extração de carotenóides é a extração líquido-líquido que consiste na separação do pigmento da cenoura em um determinado solvente, através

de agitação com um segundo solvente (Quirós e Costa, 2006; Contado *et al.*, 2010).

A baixa seletividade, a utilização de solventes orgânicos tóxicos, bem como a geração de resíduos constituem fatores limitantes no uso de solventes orgânicos no processo de extração de carotenóides. Os resíduos orgânicos gerados por este método de extração podem ser utilizados como fonte de matéria prima para a fabricação de etanol de segunda geração (bioetanol).

## ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Tendo em conta as crescentes preocupações acerca do aquecimento global e a volatilidade dos preços do petróleo e de outros combustíveis fósseis, as opções de energia renovável surgem como soluções sustentáveis. Em decorrência, tem sido proposto um complexo fabril similar ao de uma refinaria de petróleo e que vem sendo chamado de “biorrefinaria” para produzir produtos químicos e energia a partir de biomassa (Zhang, 2008). Entende-se de biorrefinaria uma unidade industrial que gera e utiliza matéria-prima de origem vegetal e renovável, operando de forma totalmente integrada, e que através de processos físicos, químicos ou enzimáticos transformam estas matérias em subprodutos que atendam às necessidades do consumo moderno, de forma sustentável e com o mínimo de impacto ambiental (Zhang, 2008; Rodrigues, 2011).

A busca por combustíveis alternativos levou alguns países a optar por biocombustíveis, devido principalmente ao interesse na energia de biomassa, o que gerou combustíveis líquidos, tais como o etanol (Ogeda e Petri, 2010). O etanol, ao contrário dos combustíveis fósseis, é uma energia de fonte renovável, produzido através da fermentação de açúcares e é amplamente utilizado como um substituto, parcial ou total, da gasolina. O etanol apresenta elevado índice de octano, alto calor de vaporização, baixa pressão de vapor, facilmente miscível, além de ser usado como parte oxigenada na gasolina (Thangavelu *et al.*, 2016). As emissões de gases com efeito de estufa com a queima do etanol são da ordem de 60% menores se comparadas às emissões da queima da gasolina (Santos *et al.*, 2012).

O etanol de primeira geração é produzido pela fermentação de açúcares simples, principalmente, da cana-de-açúcar, do milho, da beterraba, da mandioca, entre outras fontes (Ogeda e Petri, 2010; Ruele *et al.*, 2014). Outra via para a produção de etanol é pela hidrólise de biomassa lenhocelulósica, como bagaço de cana, capim, palha de arroz, restos de madeira e resíduos agroindustriais em geral. Esta via resulta da hidrólise de açúcares complexos (polissacarídeos, particularmente sob a forma de celulose) em açúcares simples, para subsequente fermentação, produzindo etanol de segunda geração (Ogeda e Petri, 2010; Santos *et al.*, 2012; Ruele *et al.*, 2014). Esta via tecnológica difere daquela utilizada na produção de etanol de primeira geração, principalmente pela complexidade da estrutura da matéria prima.

Os resíduos agrícolas, em sua maioria contendo materiais lenhocelulósicos, ocupam lugar de destaque entre a biomassa disponível, sobretudo em função da sua abundância e do caráter renovável (Gupta e Verma, 2015; Thangavelu *et al.*, 2016). Menon e Rao (2012) calcularam que o rendimento mundial de biomassa lenhocelulósica corresponde, anualmente, cerca de  $1,5 \times 10^{11}$  ton e normalmente são derivados de resíduos agrícolas.

A biomassa lenhocelulósica é composta, basicamente, por 40 a 50% de celulose (polímero de glucose), 25 a 30% de hemicelulose (heteropolímero formado por pentoses e hexoses) e 15 a 20% de lenhina (macromolécula) (Gupta e Verma, 2015). Esta composição varia em função do tipo de biomassa. Segundo Zhang (2008), mil milhões de toneladas de biomassa seca produz entre 300-500 mil milhões de litros de etanol. Contudo, a produção de etanol de segunda geração consiste em determinar a melhor opção de disponibilizar a glucose a partir da hidrólise da biomassa lenhocelulósica em sistema economicamente viável e sustentável, incluindo rendimento de hidrólise, em glucose, e de fermentação, em etanol.

O processo de produção de etanol de segunda geração envolve as etapas de pré-tratamento das matérias-primas, hidrólise, fermentação e destilação (Balat *et al.*, 2008; Gírio *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2012). O pré-tratamento compreende o processo de deslenhificação com a separação das frações de

celulose e hemicelulose.. Posteriormente, a celulose e a hemicelulose são submetidas à hidrólise ácida (processo químico) ou hidrólise enzimática (processo biotecnológico) para conversão destas frações em açúcares simples e solúveis (Gírio *et al.*, 2010). A hidrólise da hemicelulose fornece pentoses (xilose e arabinose) e hexoses (glucose, manose e galactose), enquanto a celulose é hidrolisada em glucose.

O processo de fermentação consiste em converter os açúcares simples em etanol de segunda geração através de bactérias, leveduras ou fungos (Gírio *et al.*, 2010). Uma das leveduras mais eficientes é a *Saccharomyces cerevisiae* (Kasavi *et al.*, 2012). Esta levedura apresenta vantagens no que se refere à alta produção de bioetanol a partir de hexoses e à alta tolerância ao etanol produzido e a outros componentes inibidores nos hidrolisados ácidos de biomassa lenhocelulósica (Balat *et al.*, 2008). Porém, *S. cerevisiae* não é eficiente na fermentação de pentoses (Balat *et al.*, 2008; Gírio *et al.*, 2010). A levedura *Scheffersomyces (Pichia) stipitis* e a bactéria *E. coli* são conhecidas por possuir este tipo de metabolismo, mas não são suficientemente competentes na produção de etanol de segunda geração se comparadas a *S. cerevisiae* (Gírio *et al.*, 2010). Na atualidade a tendência é construir estirpes recombinantes de *S. cerevisiae*, introduzindo os genes que codificam para o metabolismo de pentoses de bactérias ou fungos filamentosos (Menon e Rao, 2012).

O produto proveniente da fermentação é uma mistura de bioetanol, massa celular e água. O bioetanol é recuperado em uma coluna de destilação, onde a maioria da água fica junto com a parte sólida no fundo da coluna. O produto (37% de bioetanol) é concentrado em uma coluna de retificação a 95%. O produto remanescente no fundo é levado à coluna de lavagem para remover a água adicional. A recuperação de bioetanol nas colunas de destilação na fábrica é fixada em 99,6% para reduzir as perdas (Balat *et al.*, 2008).

Os resíduos vegetais com alto teor de biomassa lenhocelulósica são susceptíveis de serem utilizados como matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração. Dentre estas matérias-primas podem ser citados os resíduos de cenoura gerados após a extração de carotenóides.



A fibra bruta da cenoura com base em seu peso seco é composta em sua grande parte por fibra insolúvel; o teor de celulose corresponde em 80%, a hemicelulose ocupa uma fração de aproximadamente 10% e, a lenhina perfaz cerca de 2%, enquanto a fibra solúvel, principalmente a pectina, representa aproximadamente 7% (Nawirska e Kwasniewska, 2005). Yoon *et al.* (2005) determinaram a composição de fibra solúvel e insolúvel de resíduos de polpa de cenoura oriundo do processamento industrial de sumo. Os autores encontraram um valor inicial de fibra insolúvel de 3,3 g 100 g<sup>-1</sup> para 41,7 g 100 g<sup>-1</sup> de polpa de cenoura, após 96 h de reação. A fibra insolúvel continha ramnose, arabinose, manose, galactose, glucose e uma pequena quantidade de xilose. Monossacarídeos (glucose, frutose, galactose, arabinose), oligossacarídeos de células (cellopentaose, cellotetraose, celotriose, celobiose), e galacto-oligosacarídeos (galactotetraose, galactotriose) foram detectados na fibra solúvel.

Estes resíduos, por apresentarem percentagem considerável de hidratos de carbono, assumem um papel importante no fornecimento de energia. Kasavi *et al.* (2012) avaliaram a capacidade de utilização de diferentes estirpes de *S. cerevisiae* no processo de produção de etanol a partir de resíduos de casca de cenoura, tomate e batata. Concentrações mais elevadas de etanol foram alcançadas com os resíduos de casca de cenoura, seguido de casca de tomate e casca de batata, atingindo concentrações máximas de etanol de 37,0 g L<sup>-1</sup>; 27,0 g L<sup>-1</sup> e 17,0 g L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Aimaretti e Ybalo (2012) ao utilizar os resíduos de cenoura na produção de etanol observaram que um inóculo de 10<sup>11</sup> células por litro de *S. cerevisiae* e o pH inicial ajustado para 4,5 permitiu aumentar o rendimento na produção de etanol (Yps = 0,408 g g<sup>-1</sup>) e a produtividade (10,4 g L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) sem a necessidade de diluição do mosto de cenoura, bem como adição de iões.

Ao avaliar a produção de etanol de segunda geração a partir de hidrólise enzimática, Aimaretti *et al.* (2012) obtiveram 77,5 L de etanol de segunda geração usando 1 ton de resíduos de cenoura como matéria-prima. Os autores ressaltam que, o rendimento de etanol por tonelada de cenoura é menor

em relação a outras culturas tradicionais. Porém, o rendimento elevado de biomassa de cenoura por hectare de área cultivada gera um rendimento de 3100 L ha<sup>-1</sup> de etanol de segunda geração, semelhante aos rendimentos de milho e sorgo, 2960 L ha<sup>-1</sup> e 3010 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Sánchez e Cardona, 2008).

Resíduos de cenoura gerados após a extração de carotenóides podem constituir uma boa matéria-prima para a produção de etanol uma vez que fornecem balanço apropriado de C:N para a fermentação (Aimaretti e Ybalo, 2012). Ainda, segundo os mesmos autores, o ajuste de pH e a utilização de levedura apropriada permite aumentar o rendimento do etanol.

## CONCLUSÕES

As cenouras descartadas nos lavadores e indústrias processadoras podem gerar subprodutos de grande valor econômico. A extração de carotenóides de subprodutos cenoura é uma alternativa de revelação de compostos nutracêuticos, como o β-caroteno que além de agir como precursor da vitamina A, também atua como um potente antioxidante.

A procura crescente de etanol cumprindo padrões de sustentabilidade pode ser alcançada pela introdução de novas biomassas residuais de composição lenhocelulósica. A revalorização dos resíduos gerados após a extração de carotenóides de cenoura pode contribuir significativamente para o aumento da produção. A matéria-prima é acessível, o que é um incentivo para seu aproveitamento na produção de etanol de segunda geração, conduzindo a produção de energia sustentável com melhores desempenhos ambientais e econômicos.

Espera-se que as biorrefinarias sejam capazes de revitalizar o setor agrícola. Muitas podem combinar seu fluxo de matérias-primas para atingir uma completa utilização de todos os componentes de biomassa. Os carotenóides de cenoura extraídos previamente por uma biorrefinaria podem ser aproveitados por outras indústrias, formando sistemas integrados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aimaretti, N.R. e Ybaló, C. (2012) – Valorization of carrot and yeast discards for the obtention of ethanol. *Biomass and Bioenergy*, vol. 42, n. 1, p. 18-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.022>
- Aimaretti, N.R.; Ybaló, C.V.; Rojas, M.L.; Plou, F.J. e Yori, J.C. (2012) – Production of bioethanol from carrot discards. *Bioresource Technology*, vol. 123, p. 727-732. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.035>
- Anuário Brasileiro de Hortaliças 2015. (2015) – *Brazilian Vegetable Yearbook*. Santa Cruz do Sul, Editora Gazeta Santa Cruz, 104 p.
- Balat, M.; Balat, M. e Öz, C. (2008) – Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 34, n. 5, p. 551-573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.peecs.2007.11.001>
- Bao, B. e Chang, K.C. (1994) – Carrot pulp chemical composition, colour and water-holding capacity as affected by blanching. *Journal of Food Science*, vol. 59, n. 6, p. 1159-1161. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb14666.x>
- Baranski, R.; Allender, C. e Klimek-Chodacka, M. (2012) – Towards better tasting and more nutritious carrots: Carotenoid and sugar content variation in carrot genetic resources. *Food Research International*, vol. 47, n. 2, p. 182-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.006>
- Contado, E.W.N.F.; Patto, L.S.; Rocha, D.A.; Abreu, C.M.P.; Corrêa, A.D. e Santos, C.D. (2010) – Estudo dos métodos de extração de carotenoides em cenoura por fluido supercrítico (EFS) e convencional. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 34, n. spe., p. 1617-1623. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000700005>
- Desorby, S. A.; Netto, F. M. e Labuza, T. P. (1998) – Preservation of  $\beta$ -carotene from carrots. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 38, n. 5, p. 381-396. <http://dx.doi.org/10.1080/10408699891274255>
- Diamantopoulou, L.K.; Karaoglanoglou, L.S. e Koukios, E.G. (2011) – Biomass cost index: mapping biomass-to-biohydrogen feedstock costs by a new approach. *Bioresource Technology*, vol. 102, n. 3, p. 2641-2650. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.102>
- Englert, M.; Hammann, S. e Vetter, W. (2015) – Isolation of  $\beta$ -carotene,  $\alpha$ -carotene and lutein from carrots by countercurrent chromatography with the solvent system modifier benzotrifluoride. *Journal of Chromatography A*, vol. 1388, p. 119-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2015.02.020>
- Fraser, P.D. e Bramley, P.M. (2004) – The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*, vol. 43, n. 3, p. 228-265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plipres.2003.10.002>
- Gírio, F.M.; Fonseca, C.; Carvalheiro, F.; Duarte, L.C.; Marques, S. e Bogel-Lukasik, R. (2010) – Hemicelluloses for fuel ethanol: a review. *Bioresource Technology*, vol. 101, n. 13, p. 4775-4800. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.088>
- Goodwin, T.W. (1980) – *The biochemistry of the carotenoids*. vol. I: Plants. 2.<sup>a</sup> ed. London, Chapman and Hall. 377 p.
- Gupta, A. e Verma, J.P. (2015) – Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, p. 550-567. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.032>
- Hadley, P. e Fordham, R. (2015) – Carrot, parsnip and beetroot. In: Caballero, B., Trugo, L. e Finglas, P. (Eds.) – *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 2.<sup>a</sup> ed. Salt Lake, Academic Press, p. 5941-5945.
- Heinonea, M.I. (1990) – Carotenoids and provitamin A activity of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol. 38, n. 3, p. 609-612. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00093a005>
- Jaswir, I.; Noviendri, D.; Hasrini, R.F. e Octavianti, F. (2011) – Carotenoids: Sources, medicinal properties and their application in food and nutraceutical industry. *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 5, n. 33, p. 7119-7131. <http://dx.doi.org/10.5897/JMPRX11.011>
- Kasavi, C.; Finore, I.; Lama, L.; Nicolaus, B.; Oliver, S.G.; Oner, E.T.; Kirdar, B. (2012) – Evaluation of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains for ethanol production from biomass. *Biomass and Bioenergy*, vol. 45, n. 1, p. 230-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.013>
- Koley, T.K.; Singh, S.; Khemariya, P.; Sarkar, A.; Kaur, C.; Chaurasia, S.N.S. e Naik, P.S. (2014) – Evaluation of bioactive properties of Indian carrot (*Daucus carota* L.): a chemometric approach. *Food Research International*, vol. 60, n. 1, p. 76-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.006>
- Lana, M.M.; Moita, A.W.; Nascimento, E.F.; Souza, G.S. e Melo, M.F. (2002) – Identificação das causas de perdas pós-colheita de cenoura no varejo, Brasília-DF. *Horticultura Brasileira*, vol. 20, n. 2, p. 241-245. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362002000200026>

- Lerfall, J. (2016) – Carotenoids: occurrence, properties and determination. *In: Smithers, G. (Ed.) – Reference module in food science: encyclopedia of food and health*. Cambridge, Elsevier, p. 663-669.
- Menon, V. e Rao, M. (2012) – Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals and biorefinery concept. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38, n. 4, p. 522-550. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2012.02.002>
- Nawirska, A. e Kwaniewska, M. (2005) – Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, vol. 91, n. 2, p. 221-225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.005>
- Ogeda, T.L. e Petri, D.F.S. (2010) – Hidrólise enzimática de biomassa. *Química Nova*, vol. 33, n. 7, p. 1549-1558. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000700023>
- Oliveira, V.E.; Castro, H.V.; Edwards, H.G.M. e Oliveira, L.F.C. (2010) – Carotenes and carotenoids in natural biological samples: a Raman spectroscopic analysis. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 41, n. 6, p. 642-650. <http://dx.doi.org/10.1002/jrs.2493>
- Quirós, A.R. e Costa, H.S. (2006) – Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, n. 2-3, p. 97-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.004>
- Raele, R.; Boaventura, J.M.G.; Fischmann, A.A. e Sarturi, G. (2014) – Scenarios for the second generation ethanol in Brazil. *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 87, n. 1, p. 205-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.12.010>
- Rodrigues, J.A.R. (2011) – Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química Nova*, vol. 34, n. 7, p. 1242-1254. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422011000700024>
- Rodriguez-Amaya, D.B. (2010) – Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids – a review. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 23, n. 7, p. 726-740. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.008>
- Sánchez, O.J. e Cardona, C.A. (2008) – Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, vol. 99, n. 13, p. 5270-5295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.013>
- Santos, F.A.; Queiróz, J.H.; Colodette, J.L.; Fernandes, S.A.; Guimarães, V.M. e Rezende, S.T. (2012) – Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, vol. 35, n. 5, p. 1004-1010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>
- Sharma, K.D.; Karki, S.; Thakur, N.S. e Attri, S. (2012) – Chemical composition, functional properties and processing of carrot – a review. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, n. 1, p. 22-32. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7>
- Silva, M.L.C.; Costa, R.S.; Santana, A.S. e Koblitz, M.G.B. (2010) – Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 31, n. 3, p. 669-682. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n3p669>
- Simon, P. e Wolff, X.Y. (1987) – Carotene in typical and dark orange carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 35, n. 6, p. 1017-1022. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00078a038>
- Singh, B.; Panesar, P.S. e Vikas, N. (2006) – Utilization of carrot pomace for the preparation of a value added product. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, vol. 1, n. 1, p. 22-27.
- Southon, S. e Faulks, R. (2003) – Carotenoids in food: bioavailability and functional benefits. *In: Johnson, I. e Williamson, G. (Eds.) – Phytochemical functional foods*. Cap. 7. Chicago, Woodhead Publishing Limited & CRC Press. p. 107-127.
- Stoll, T. (2004) – *Recovery, characterization and application of a functional food ingredient containing carotenes and oligogalacturonic acids from carrot pomace*. Herzogenrath, Shaker Verlag GmbH, 131 p.
- Stutz, H.; Bresgen, N. e Eckl, P.M. (2015) – Analytical tools for the analysis of  $\beta$ -carotene and its degradation products. *Free Radical Research*, vol. 49, n. 5, p. 650-680. <http://dx.doi.org/10.3109/10715762.2015.1022539>
- Thangavelu, S.K.; Ahmed, A.S. e Ani, F.N. (2016) – Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, p.820-835. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.089>
- Uenojo, M.; Maróstica Junior, M.R. e Pastore, G.M. (2007) – Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. *Química Nova*, vol. 30, n. 3, p. 616-622. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000300022>



- Yoon, K.Y.; Cha, M.; Shin, S.R. e Kim, K.S. (2005) – Enzymatic production of a soluble-fibre hydrolyzate from carrot pomace and its sugar composition. *Food Chemistry*, vol. 92, n. 1, p. 151-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.014>
- Zeraik, M.L. e Yariwake, J.H. (2008) – Extração de  $\beta$ -caroteno de cenouras: uma proposta para disciplinas experimentais de química. *Química Nova*, vol. 31, n. 5, p. 1259-1262. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000500058>
- Zhang, Y.H. (2008) – Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 35, n. 5, p. 367-375. <http://dx.doi.org/10.1007/s10295-007-0293-6>