

Óleo de mamona como solvente na extração de astaxantina em resíduos de camarão

Diante da possibilidade de aproveitamento de resíduos ricos em compostos bioativos como a astaxantina aliado a técnicas para extração desta de forma simples e sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental foi proposto neste estudo a utilização de resíduos de camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), advindos do entreposto de pesca do município de Pirambu/SE, como matéria prima para extração desse carotenóide de alto valor comercial sugerindo uma alternativa de mitigar o seu despejo incorreto bem como complementar a renda para os atores sociais da comunidade pesqueira da região que dependem economicamente do processo de mariscagem. Para isso foi realizada uma técnica de extração da astaxantina do camarão utilizando um solvente nunca antes explorado para este fim, o óleo de mamona, obtido da semente de uma planta de fácil acesso e adaptação no nordeste brasileiro. O cálculo do rendimento da astaxantina por meio desta nova opção só foi possível graças a investigação do coeficiente de extinção do carotenóide para este óleo específico. A pesquisa indicou as melhores condições para otimização da técnica de extração apontadas estatisticamente por meio de superfície de resposta, chegando a um rendimento máximo de extrato de 14,22µg.g⁻¹ resíduo na temperatura de 80°C no período de 10 horas.

Palavras-chave: Mamoeiro; Mariscagem; Desperdício; Carotenóides; Coeficiente de Extinção.

Castor oil as a solvent in the extraction of astaxantin in shrimp residues

In view of the possibility of using residues rich in bioactive compounds such as astaxanthin combined with techniques for extracting it in a simple and sustainable manner from an economic, social and environmental point of view, the use of shrimp residues sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) from the fishery depot was proposed in this study of the city of Pirambu/SE, as raw material for extraction of this carotenoid of high commercial value suggesting an alternative to mitigate its incorrect eviction as well to complement in the income for the social actors of the fishing community of the region that depend economically on the shellfish process. For this, a technique of extracting the astaxanthin from the shrimp was carried out using a solvent never explored for this purpose, the castor oil obtained from the seed of a plant of easy access and adaptation in the Brazilian northeast. The calculation of the astaxanthin yield through this new option was only possible thanks to the investigation of the extinction coefficient of the carotenoid for this specific oil. The research indicated the best conditions for optimization of the extraction technique statistically indicated by means of response surface, reaching a maximum extract yield of 14.22 µg.g⁻¹ residue at the temperature of 80°C over the 10 hour period.


Keywords: Castor Plant; Shellfish Process; Waste; Carotenoids; Extinction Coefficient.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **10/02/2018**

Approved: **24/03/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Thaciana Vieira de Oliveira 

Universidade Federal de Sergipe, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4297691199169313>
<http://orcid.org/0000-0002-3541-1710>
thaci_engenheira@yahoo.com.br

Anita Maria de Lima 

Universidade Federal de Sergipe, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9805293444879480>
<http://orcid.org/0000-0002-0851-2815>
anita.lima@gmail.com

Roberto Rodrigues de Souza 

Universidade Federal de Sergipe, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0292200610294281>
<http://orcid.org/0000-0001-8919-2675>
rrsouza.br@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0021

Referencing this:

OLIVEIRA, T. V.; LIMA, A. M.; SOUZA, R. R.. Óleo de mamona como solvente na extração de astaxantina em resíduos de camarão. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.3, p.264-274, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0021>

INTRODUÇÃO

Os carotenóides como a astaxantina despertam interesse de pesquisadores em áreas multidisciplinares devido as diversas funções que exercem tanto relacionadas a saúde humana, como também nas áreas de alimentos, farmacêutica e de ração animal. Na indústria de alimentos essa importância está relacionada a sua utilidade como corante com o objetivo de repor a cor de alguns alimentos que é perdida durante o processamento e armazenamento (AKSU et al., 2007), também são considerados potenciais antioxidantes atuando na prevenção da oxidação de alimentos ricos em gordura (BREWER, 2011). Na área farmacêutica sua funcionalidade é explorada na forma de suplemento alimentar baseado em estudos recentes que apontam seu benefício à saúde por apresentarem atividades biológicas importantes com efeitos anticarcinogênico, imunomodulador, antioxidante e preventivos às doenças cardiovasculares (HUSSEIN et al., 2006; GUERIN et al., 2003). Na indústria de ração animal a astaxantina é utilizada como pigmento, principalmente de salmão e camarões cultivados que só adquirem a coloração característica vermelho-alaranjado por meio da dieta (HIGUERA-CIAPARA et al., 2006).

Geralmente, os carotenóides utilizados industrialmente são de origem sintética obtidos por via química ou pela extração por solventes orgânicos. Porém, a crescente preocupação e acesso à informação da população de um modo geral em relação ao uso de aditivos químicos e seus malefícios ao organismo desperta o interesse em pesquisas no sentido de evidenciar técnicas de obtenção natural, seja por meio de processos biotecnológicos ou pela utilização de solventes considerados verdes. Além disso, os métodos originais de obtenção deste composto podem ser apontados como não sustentáveis por serem dispendiosos do ponto de vista energético e financeiro, além de ambientalmente agressivos devido o descarte de solventes tóxicos.

Processos de extração que podem ser consideradas sustentáveis do ponto de vista produtivo devem ser fundamentadas em técnicas simples em que os resíduos gerados recolhidos sejam aproveitados utilizando o mínimo possível de energia além de não sobrecarregar o ambiente com nenhum descarte de qualquer outro tipo de resíduo. Capra (1996) faz uma crítica as comunidades humanas em relação aos sistemas industriais produtivos quando declara que um dos principais desacordos entre a economia e a ecologia deriva do fato de que a natureza é cíclica, enquanto que nossos sistemas industriais são lineares, em que as atividades comerciais extraem recursos, transformam em produtos e em resíduos e vendem os produtos para os consumidores, que descartam ainda mais resíduos depois de ter consumido os produtos. O mesmo indica que os padrões sustentáveis de produção e de consumo precisam ser cíclicos, imitando os processos cíclicos da natureza e para conseguir esses padrões precisa replanejar num nível fundamental as atividades comerciais e nossa economia.

Uma das fontes naturais de astaxantina com potencial para exploração é o camarão estando presente em maior quantidade nas partes que geralmente são descartadas após seu processamento como a carapaça, cabeça e cauda. No estado de Sergipe, o município de Pirambu se destaca como um dos maiores produtores de camarão e sua comercialização e beneficiamento compõem uma principais bases da sua economia.

Entretanto, o camarão beneficiado no entreposto, bem como em pequenas empresas são comercializados em sua forma *in natura* ou na forma de filé e seus rejeitos despejados no leito do rio Japarutuba que banha a cidade.

Na extração de astaxantina são utilizadas várias técnicas que buscam reduzir custos e causar menos impactos ao meio ambiente, dentre eles o emprego de processos biotecnológicos como biocatálise e biotransformação com enzimas e micro-organismos (MAO et al., 2017; GILDBERG et al., 2001; SILA et al., 2012; HOLANDA et al., 2006; ARMENTA-LÓPEZ et al., 2002); aplicação de fluidos supercríticos como o CO₂ (MEZZOMO et al., 2013; MEIRELES, 2003; SANCHEZ-CAMARGO et al., 2011) e alta pressão (HERRERO et al., 2015; STRATI et al., 2014), além do uso de óleos vegetais como solventes que tem sido amplamente estudado por diversos autores, a exemplo dos óleo de girassol, amendoim, gergelim, mostarda, soja, coco, farelo de arroz (SACHINDRA et al., 2005); óleo de linhaça (HANDAYANI et al., 2008) e óleo de palma (PU et al., 2010).

Entretanto, alguns aspectos característicos dos óleos são necessários para avaliação do rendimento de astaxantina extraída, como a obtenção do coeficiente de extinção tido como parâmetro essencial para avaliação do potencial extrator de um óleo vegetal. Um carotenóide isolado pode ser identificado pelas posições dos máximos de absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) e suas características espectrais, descrito por coeficiente de extinção sendo os espectros de absorção de carotenóides reconhecidos como dependendo dos grupos funcionais do cromóforo de polietileno, bem como sobre o solvente particularizado (GOODWIN, 1976; CHEN et al., 1984). A literatura não reporta valores do coeficiente de extinção específico da astaxantina em alguns óleos, como para o óleo de mamona, o que inviabilizaria sua utilização em estudos na extração deste carotenóide, sobretudo, existe um método que permite o cálculo para sua descoberta como é apresentado neste estudo.

A alternativa proposta na pesquisa aqui relatada é a de aliar a necessidade de dar um destino a resíduos com alta carga orgânica e rico do ponto de vista biológico na obtenção de um carotenóide com alto valor comercial como a astaxantina. Para isso é sugerido a opção de uma nova técnica de extração utilizando um óleo obtido da semente da mamoneira, uma planta oleaginosa resistente que necessita de pouco uso de agrotóxico e se adapta perfeitamente as zonas semiáridas, sendo uma cultura de elevado valor socioeconômico para o nordeste apresentando-se como uma fonte de renda alternativa para pequenos produtores com mão-de-obra familiar (BELTRÃO, 2004; FERNANDES NETO et al., 2008).

O óleo da mamona, também conhecido como óleo de rícino, tem inúmeras aplicações, cita-se entre elas a fabricação de tintas, vernizes e isolantes, uso como lubrificante na aeronáutica, além de se constituir como base na manufatura de alguns cosméticos, drogas farmacêuticas e produtos alimentares. É um óleo bastante estável em variadas condições de pressão e temperatura, apresentando também boa estabilidade a oxidação (COSTA et al., 2004; SAVY FILHO et al., 1999).

Estudos realizados pela EMBRAPA (BELTRÃO et al., 2007) ressaltam ainda a importância da cultura da mamona na minimização dos impactos ambientais em comparação a outras oleaginosas em relação a mitigação à mudanças climáticas comprovando sua elevada capacidade de captar dióxido de carbono do ar via fotossíntese podendo chegar a mais de 35t de CO₂/hectare para a fitomassa total (1g de fitomassa = 1,5g

de dióxido de carbono = 0,4g de carbono = 17 KJ = 3,4 cal de energia), contribuindo de forma relevante para o combate ao efeito estufa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação dos resíduos de camarão

Resíduos do beneficiamento do camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) composta de cabeça, cauda e carapaça foram coletadas no entreposto de pescado município de Pirambu, SE. Estes resíduos foram transportados para o Laboratório de Biotecnologia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe acondicionados em caixa térmica com gelo, logo após lavados e em seguida moidos em aparelho mixer comercial.

Extração da astaxantina dos resíduos de camarão

Foi utilizado o método modificado de Chen e Meyers (1982) para extração do carotenóide astaxantina usando óleo de mamona comercial como solvente. Em que dez gramas de resíduo homogeneizado foi misturado com 20mL de óleo e aquecido em banho-maria a diferentes temperaturas durante um período de tempo determinado. Logo em seguida essa mistura foi filtrada utilizando um tecido tipo musseline e esse filtrado obtido centrifugado a 3000g durante 10 minutos. A camada pigmentada de óleo a partir do sobrenadante foi separada utilizando um funil de separação e o volume de óleo recuperado pigmentado foi anotado.

Rendimento de astaxantina no óleo pigmentado

O conteúdo de carotenóide diluído em óleo de mamona foi medido em espectrofotometro Kasuaki modelo II-226 em $\lambda_{\text{máx}}$ para a astaxantina de acordo o resultado obtido pelo método prescrito por Sachindra e Mahendrakar (2005) e a concentração de astaxantina obtida em ($\mu\text{g/g}$ resíduo) foi calculada pela Equação 1:

$$\text{Astaxantina } (\mu\text{g. g}^{-1} \text{ de resíduo}) = \frac{A \times V \times D \times 10^6}{100 \times P \times E}$$

Equação 1: Equação para cálculo da concentração de astaxantina

Em que, A = absorvância em $\lambda_{\text{máx}}$, V = volume de óleo pigmentado recuperado, D = fator de diluição, P = peso de resíduos em gramas e E = coeficiente de extinção do óleo.

Determinação do coeficiente de extinção

Por ser inédito um experimento utilizando o óleo de mamona como solvente para extração de astaxantina, a absorção máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) e o coeficiente de extinção ($E_{1\text{cm}}^{1\%}$) da astaxantina padrão em óleo de mamona teve que ser determinado. Para isso foi utilizado o método de Sachindra e Mahendrakar (2005), em que vinte e cinco microgramas de astaxantina em pó pura 100% *Haematococcus Pluviali* (SHAANXI UNDERSUN BIOMEDTECH) foi dissolvida em 5 mL de óleo de mamona vegetal (QUIMISUL) e seus espectros

de absorção foram determinados nos comprimentos de onda entre 400 e 600nm em espectrofotômetro de varredura (HACK, modelo DR-500) utilizando uma cubeta de quartzo de 1×10^{-2} m de comprimento. O coeficiente de extinção da astaxantina específico para óleo de mamona foi calculado pela medição da densidade óptica no $\lambda_{\text{máx}}$ e de acordo com a Equação 2 de Goodwin (1976):

$$E_{1\text{cm}}^{1\%} = A \times Y / 100 \times X$$

Equação 2: Equação para o cálculo do coeficiente de extinção

Em que A = absorvância em $\lambda_{\text{máx}}$, X = quantidade total (g) de pigmento utilizado e Y = volume total (mL) de solvente utilizado para dissolver o pigmento.

Teste de extração da astaxantina em resíduo de camarão

Uma vez definidos os coeficientes de extinção e os valores de absorvância máximo para o óleo de mamona, foram conduzidos experimentos para extração de astaxantina a partir de resíduos de camarão, considerando parâmetros como temperatura e tempo e análises complementares avaliando a agitação com valores de temperatura e tempo fixos.

Na avaliação estatística desse estudo foi aplicado um planejamento fatorial simples 2^2 com duas variáveis independentes, tempo (X_1) e temperatura (X_2) de extração incluindo três pontos centrais, tendo como variável dependente a concentração astaxantina, seguido de uma avaliação com pontos rotacionais usando o delineamento composto central rotacional (DCCR) 2^2 definido pelo software STATISTICA (Statsoft. Inc) cuja matriz codificada está apresentada na Tabela 1. Os limites inferiores e superiores das variáveis independentes temperatura e tempo mostrados foram definidos com base nos estudos de Sachindra et al. (2005), Handayani et al. (2008), Parjikolaei et al. (2015) e Pu et al. (2010).

Tabela 1: Delineamento composto central rotacional 2^2 utilizando óleo de mamona para extração de astaxantina (variável dependente).

| Fatores | Códigos | Níveis | | | | |
|------------------|---------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | -1,414 | -1 | 0 | +1 | +1,414 |
| Tempo (h) | X_1 | 7,17 | 8,00 | 10,00 | 12,00 | 12,83 |
| Temperatura (°c) | X_2 | 65,86 | 70,00 | 80,00 | 90,00 | 94,14 |

O modelo de representativo do estudo envolvendo as interações entre os parâmetros para o tempo (X_1) e temperatura (X_2) foi o de segundo ordem expresso de forma geral pela Equação 3.

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \varepsilon$$

Equação 3: Modelo representativo do estudo com interações entre os parâmetros tempo e temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção máxima e coeficiente de extinção da astaxantina padrão em óleo de mamona

Na Figura 1 está representada a curva resultante da varredura para a determinação da absorvância máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) de astaxantina padrão que foi identificada no comprimento de onda de 435,8nm e o

coeficiente de extinção do óleo de mamona encontrado ficou em 3056. Chen et al. (1984) relataram que a astaxantina possui um coeficiente de extinção de 2155 em óleo de soja refinado a 485nm e indicou que esses valores dependem do nível de refinação e grau de pureza do óleo. No estudo de Sachindra et al. (2005) o coeficiente de extinção do óleo de soja ficou em 2145 para astaxantina a 487nm e o coeficiente de extinção mais elevado foi o do óleo de amendoim 2440 na absorção máxima de astaxantina a 487nm.

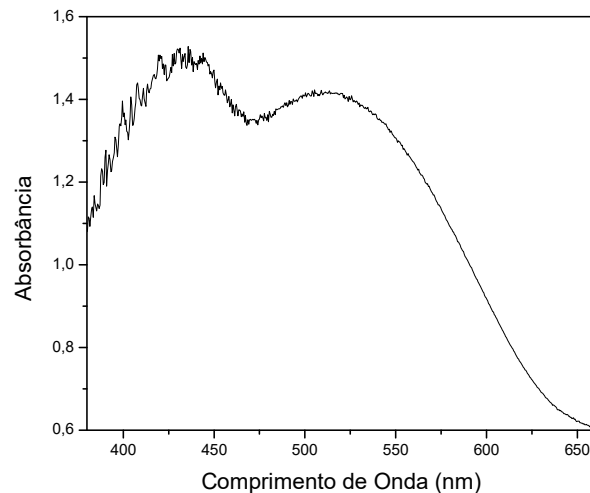


Figura 1: Curva da varredura para determinação do $\lambda_{\text{máx}}$ da amostra padrão de astaxantina em óleo de mamona.

Rendimento de astaxantina no óleo de mamona pigmentado

O Gráfico de Pareto (Figura 2) obtido por meio da análise de variância realizada a partir do delineamento experimental proposto indica que as duas variáveis do processo, tempo (X_1) ($p \leq 0,05$) e temperatura de aquecimento (X_2) ($p \leq 0,05$) apresentaram efeito significativo quanto ao rendimento na extração de astaxantina. O tempo se apresentou como o fator mais relevante no estudo e a interação entre os dois fatores também apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$) no rendimento da extração da astaxantina nas condições testadas.

O modelo gerado pela avaliação estatística em função do delineamento experimental (Equação 4), indica que o rendimento de extração do carotenóide (astaxantina) é influenciado pelos parâmetros lineares para o tempo (X_1) e temperatura (X_2). Os efeitos quadráticos ajustam a curvatura do modelo com maior influência para o parâmetro tempo cujo coeficiente de regressão assume o valor de -0,283, no entanto o termo quadrático para a temperatura apresentou cujo valor foi de -0,0098 indica que há pouca influência nos valores extraídos, o coeficiente de regressão associado a interação entre os parâmetros com valor de -0,019 também interfere pouco no rendimento, mesmo assim propiciam o ajuste do modelo na predição dos valores de rendimento de astaxantina na faixa de tempo (7,17h a 12,83h) e temperatura (65,96°C a 94,14°C).

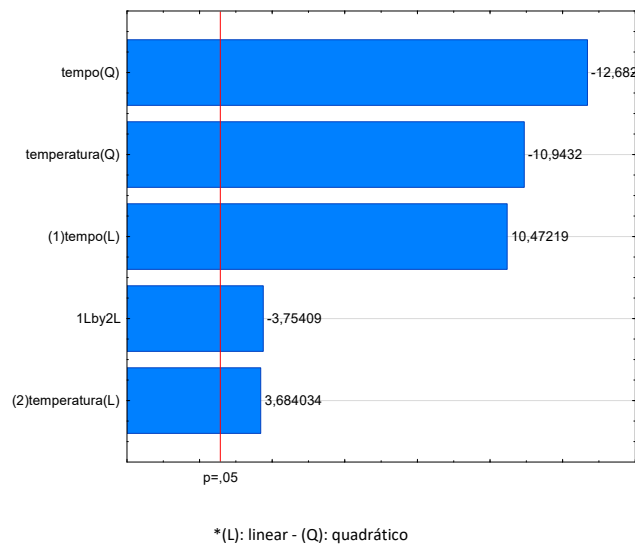


Gráfico 2: Gráfico de Pareto para o rendimento de astaxantina (Y) em função do tempo (X_1), e temperatura (X_2) de extração e suas interações.

$$Y = -98,479 + (7,63X_1) + (1,787X_2) + (-0,283X_1^2) + (-0,0098X_2^2) + (-0,019X_1 * X_2)$$

Equação 4: Modelo estatístico gerado em função do delineamento experimental

O modelo apresentado (Equação 4), permitiu a predição de valores que quando comparados com os valores obtidos experimentalmente nos ensaios correspondentes indicam que os a correlação entre eles é elevada com $r^2 = 0,986$. A Figura 3 ilustra essa comparação, demonstrando o quão próximos ficaram os valores observados dos previstos validando o modelo encontrado nas condições avaliadas neste estudo.

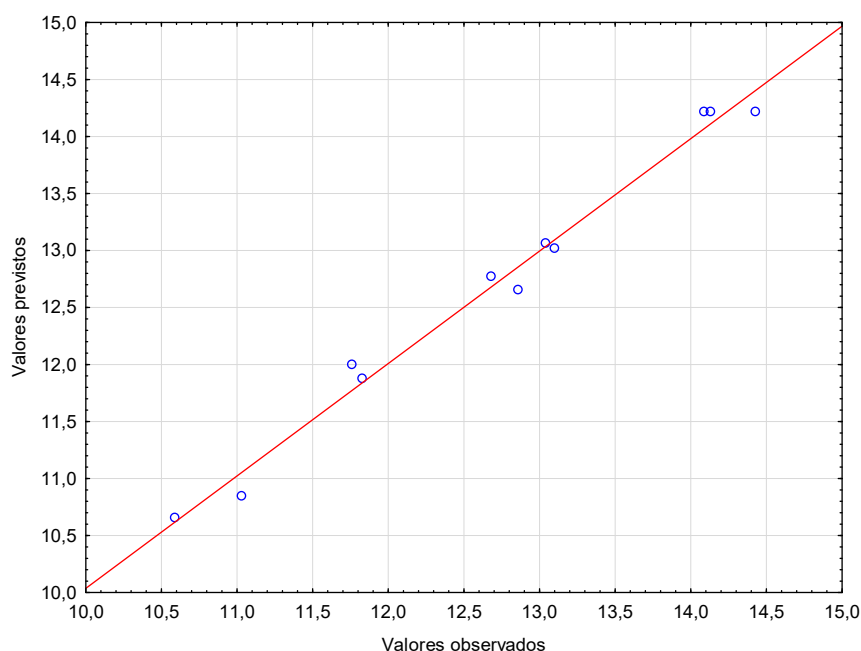


Gráfico 2: Representação gráfica dos valores observados e previstos estatisticamente em relação ao rendimento de astaxantina extraída com óleo de mamona.

Otimização de condições para extração de astaxantina em óleo de mamona

Os gráficos de superfície de resposta (Figuras 2 e 3) obtidos no estudo de otimização do processo de obtenção da astaxantina utilizando óleo de mamona como solvente indicam o efeito das duas variáveis

independentes na variável dependente, ou seja, a influência do tempo e temperatura no seu rendimento. A otimização do processo é indicada pelo topo da superfície em que nível de astaxantina chega ao seu máximo na temperatura de 80°C com o tempo de 10 horas, alcançando o valor de 14,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ resíduo, aproximando-se, portanto, dos valores críticos calculados pelo Statistica que indicaram os pontos que levam ao máximo do rendimento de astaxantina (14,54 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) em um tempo de 10,86h e uma temperatura de 80,06°C.

Em pesquisas realizadas por Sachindra et al. (2005) valores próximos de extração de astaxantina utilizando óleo de mostarda ficaram próximas ao encontrado no estudo em questão, chegando a um valor de 16,1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Uma das possíveis causas de uma extração mais baixa seria a alta viscosidade do óleo de mamona que na temperatura de 20°C fica 992mPa.se a medida que a temperatura aumenta, chega a um nível de 25,6mPa.s a 80°C (CONCEIÇÃO, et al., 2005), aproximando-se mais de outros óleos vegetais como o de girassol que apresenta viscosidade de 12,6 mPa.s a 70°C (BROCK et al., 2008).

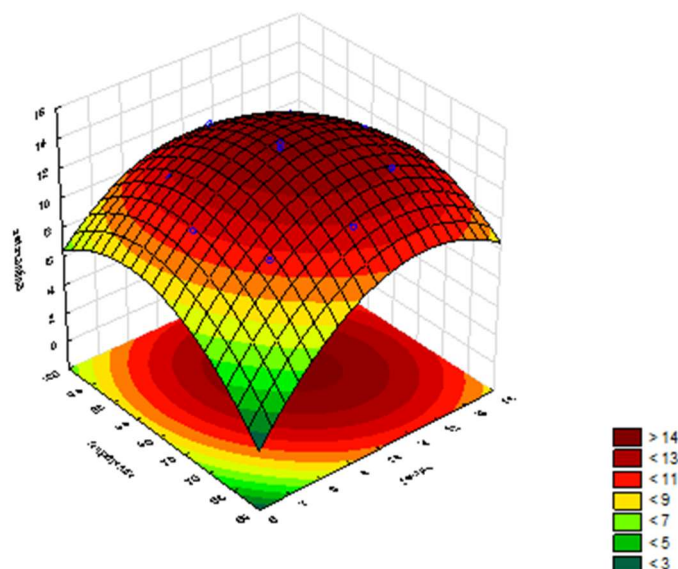


Figura 2: Gráfico de superfície de resposta para o rendimento de astaxantina a partir de resíduos de camarão em função do tempo e temperatura de extração.

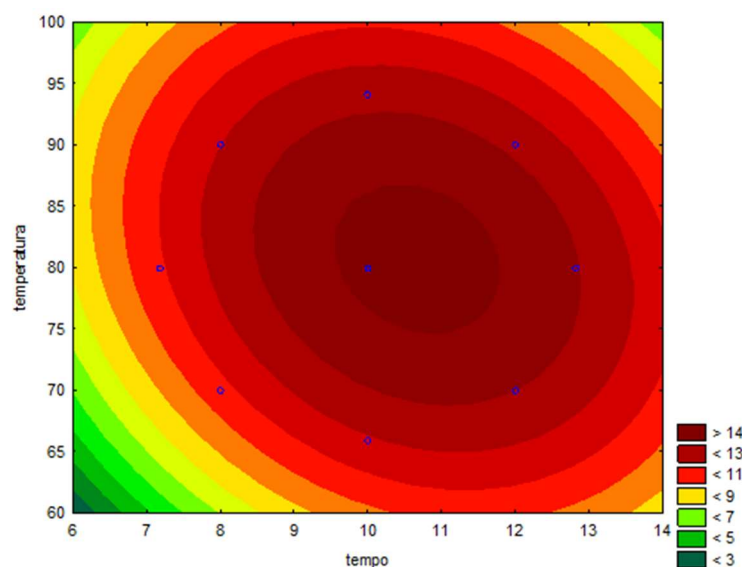


Figura 3: Curvas de nível do gráfico de superfície de resposta para o rendimento de astaxantina a partir de resíduos de camarão em função do tempo e temperatura de extração.

O perfil que relaciona o nível desejável de 1 (numa escala entre 0 e 1) para o melhor rendimento de astaxantina, neste estudo (Figura 4), aponta uma temperatura ótima de 80°C, valores acima desse limite influenciam de forma negativa na concentração de astaxantina obtida no extrato oleoso. Em relação ao tempo para obter o melhor rendimento, o valor máximo indicado foi de 10 horas, sendo mantido até o período aproximado de 11 horas. Os valores reais alcançados no experimento comprovaram a eficácia destas condições para a otimização do processo de extração de astaxantina chegando ao seu nível máximo.

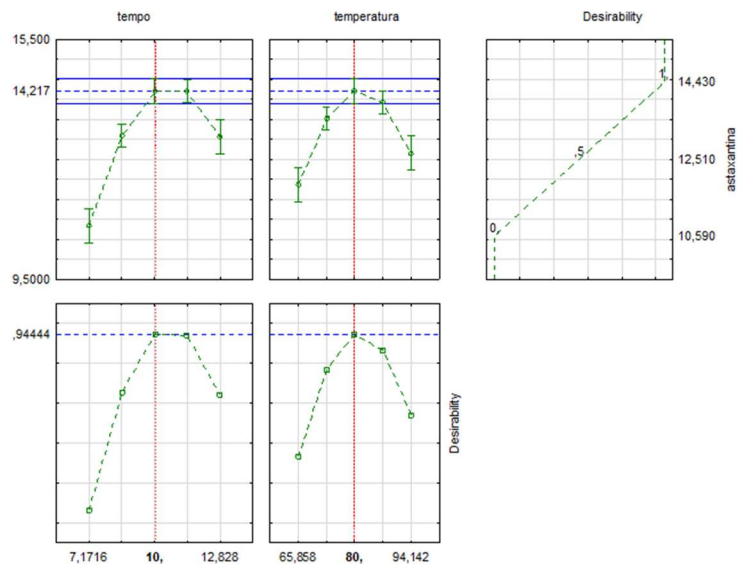


Figura 4: Perfis para o rendimento predito de astaxantina e o nível desejável dos fatores tempo e temperatura para extração ótima de astaxantina no óleo de mamona.

CONCLUSÕES

Os valores de comprimento de onda ($\lambda_{\text{máx}}$) e coeficiente de extinção específico (E) para o óleo de mamona foram de 435,8nm e 3056, respectivamente. A pesquisa destes parâmetros possibilitou o cálculo do rendimento da astaxantina por meio do uso desse novo solvente, propondo uma alternativa na exploração deste carotenóide.

A otimização do processo de extração de astaxantina dos resíduos de camarão sete-barbas utilizando óleo de mamona resultaram em valores de $14,22\mu\text{g.g}^{-1}$, no tempo de 10 horas e temperatura 80°C. Portanto, a utilização destes resíduos para obtenção do extrato de astaxantina empregando óleo de mamona como solvente desponta como uma boa opção ao desperdício deste na obtenção de um composto de alto valor agregado tornando-se também uma possibilidade de incremento na renda para os trabalhadores que dependem da pesca ou beneficiamento, além de contribuir com a mitigação dos danos ambientais causados pelo descarte incorreto deste material com alta carga orgânica.

REFERÊNCIAS

AKSU, Z.; EREN, A. T.O. Production of carotenoids by isolated yeast of *Rhodotorula glutinis*. **Biochemical Engineering Journal**, v.35, n.2, p.107-113, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.01.004>

ARMENTA-LÓPEZ, R.; GUERRERO, L. I.; HUERTA, S.. Astaxanthin extraction from shrimp waste by lactic fermentation and enzymatic hydrolysis of the caroteno protein complex. **Journal of Food Science**, v.67, n.3, p.1002-1006, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09443.x>

BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S.. **Balço Energético e 'Sequestro' de Carbono em Culturas Oleaginosas**. Campina Grande: Embrapa Algodão Documentos, 2007.

BREWER, M. S.. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.10, p.211-247, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>

BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V.. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.564-570, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>

CAPRA, F.. **A teia da Vida**: Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. 11 ed. São Paulo: Cultrix, 1996.

CHEN, H. M.; MEYERS, S. P.. Extraction of astaxanthin pigment from crawfish waste using a soy oil process. **Journal of Food Science**, v.47, p.892-896, 1982. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb12739.x>

CHEN, H. M.; MEYERS, S. P.. A rapid quantitative method for determination astaxanthin pigment concentration in oil extracts. **JAACS**, v.61, n.6, 1984. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02636215>

CONCEIÇÃO, M. M.; CANDEIA, R. A.; DANTAS, H. J.; SOLEDADE, L. E. B.; FERNANDES JR, V. J.; SOUZA, A. G.. Rheological behavior of castor oil biodiesel. **Energy & Fuels**, v.19, n.5, p.2185-2188, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ef050016g>

COSTA, H. M.; RAMOS, V. D.; ABRANTES, T. A. S.. Effects from the castor oil on silica-filled natural rubber compounds. **Polímeros**, v.14, n.1, p.46-50, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282004000100013>

FERNANDES NETO, S.; ABREU, B. S.; BARACUHY NETO, MOURA, G.; ARAÚJO, P. S.; BARACUHY J. G. V.. Impacto ambiental – agroindústria processadora de óleo de mamona/PB. **Ciência e Natura**, v.30, p.141-154, 2008.

GILDBERG, A.; STENBERG, E.. A new process for advanced utilisation of shrimp waste. **Process Biochemistry**, v.36, n.8-9, p.809-812, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00278-8](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00278-8)

GOODWIN, T. W.. **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. 2 ed. New York: Cambridge University Press, 1976.

GUERIN, M.; HUNTLEY, M. E.; OLAIZOLA, M.. Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition. **Trends Biotechnology**, v.5, n.21, p.210-216, 2003. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799\(03\)00078-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799(03)00078-7)

HANDAYANI, A. D.; SUTRISNO, N. I.; ISMADJI, S.. Extraction of astaxanthin from giant tiger (*Panaeus monodon*) shrimp waste using palm oil: Studies of extraction kinetics and thermodynamic. **Bioresource Technology**, v.99, n.10,

p.4414-4419, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.028>

HERRERO, M.; SANCHEZ-CAMARGO, A. P.; CIFUENTES, A.; IBANEZ, E.. Plants, seaweeds, microalgae and food by-products as natural sources of functional ingredients obtained using pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. **Trends in Analytical Chemistry**, v.71, p.26-38, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.01.018>

HOLANDA, H. D. D.; NETTO, F. M.. Recovery of componentes from shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis. **Journal of Food Science**, v.5, n.71, 298-303, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00040.x>

HUSSEIN, G.; GOTO, H.; ODA, S.. Antihypertensive potential and mechanism of action of astaxanthin: III. Antioxidant and histopathological effects in spontaneously hypertensiverats. **Biological Pharm Bull**, v.29, n.4, p.684-688, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1248/bpb.29.684>

MAO, X.; GUO, N.; SUN, J.; XUE, C.. Comprehensive utilization of shrimp waste based on biotechnological methods: A review. **Journal of Cleaner Production**, v.143, p.814-823, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.042>

MEIRELES, M. A. A.. Supercritical extraction from solid: process design data (2001-2003). **Solid State and Material Science**, v.7, n.4-5, p.321, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2003.10.008>

MEZZOMO, N.; MARTÍNEZ, J.; MARASCHIN, M.; FERREIRA, S. R. S.. Pink shrimp (*P. brasiliensis* and *P. paulensis*) residue: Supercritical fluid extraction of carotenoid fraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v.74, p.22-33, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.11.020>

PARJIKOLAEI, B. R.; EL-HOURI, R. B.; FRETTE, X. C.; CHRISTENSEN, K. V.. Influence of green solvent extraction on carotenoid yield from shrimp (*Pandalus borealis*) processing waste. **Journal of Food Engineering**, v.155, p.22-28, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.009>

PU, J.; BECHTEL, P. J.; SATHIVEL, S.. Extraction of shrimp astaxanthin with flaxseed oil: effects on lipid oxidation and astaxanthin degradation rates. **Biosystems Engineering**, v.107, n.4, p.364-371, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.10.001>

SACHINDRA, N. M.; MAHENDRAKAR, N. S.. Process optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils. **Bioresource Technology** v.96, n.10, p.1195-1200, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.018>

SANCHEZ-CAMARGO, A. P.; MARTINEZ-CORREA, H. A.; PAVIANI, L. C.; CABRA, F. A. Supercritical CO₂ extraction of lipids and astaxanthin from brazilian red spotted shrimp waste (*Farfanta penaeus paulensis*). **The Journal of Supercritical Fluids**, v.56, n.2, p.164-173, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.12.009>

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V.; BARBOZA, M. Z.; MIGUEL, A. M. R. O.; NAZARIO, L. H.; CARVALHO, L. O.; RIBEIRO, F. M..

Oleaginosas no Estado de São Paulo: análise e diagnóstico - MAMONA. Documento Técnico Cati n.107. 1999.

SILA, A.; NASRI, M.; BOUGATEF, A.. Isolation and characterisation of caroteno proteins from deep-water pink shrimp processing waste. **International Journal of Biological**

Macromolecules, n.51, v.5, p.953-959, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.07.011>

STRATI, I. F.; OREOPOULOU, V.. Recovery of carotenoids from tomato processing by-products - a review. **Food Research International**, v.65, p.311-320, 2014. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.032>

A CBPC – **Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03)** detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.