

# OBTENÇÃO DE EXTRATOS DE PLANTAS MEDICINAIS: UMA REVISÃO DE ESCOPO DOS MÉTODOS EXTRATIVOS MODERNOS EM COMPARAÇÃO AO MÉTODO CLÁSSICO POR SOXHLET

*THE OBTAINING OF MEDICINAL PLANT EXTRACTS: A  
SCOPING REVIEW OF MODERN EXTRACTIVE METHODS  
COMPARED TO CLASSICAL METHOD SOXHLET*

**Resumo:** Esta *scoping review* teve como objetivo reunir informações científicas que comparam a eficiência dos métodos extrativos modernos, aplicados a plantas medicinais, com o método tradicional Soxhlet. O intuito é auxiliar as tomadas de decisões quanto a escolha de métodos extrativos mais eficientes, simples, baratos, seguros e sustentáveis. Para tanto, foram estabelecidos: a questão norteadora da pesquisa, os descritores, as bases de dados, e os critérios de elegibilidade para a seleção e análise dos artigos. De 407 resultados identificados pela pesquisa, 35 estudos preencheram os critérios de inclusão. Os estudos evidenciaram que, mesmo que a extração em aparato de Soxhlet apresente uma alta eficiência extrativa de compostos bioativos em plantas medicinais, parâmetros como o tempo elevado e o alto consumo de energia, fazem com que o uso de processos modernos, como a extração assistida por ultrassom e micro-ondas, sejam alternativas baratas, simples e sustentáveis, com eficiência extrativa semelhante ou superior.

**Palavras-chave:** extração, fluido supercrítico, ultrassom, micro-ondas, sustentabilidade.

**Abstract:** This *scoping review* aimed to gather scientific information comparing the efficiency of modern extractive methods applied to medicinal plants with the traditional Soxhlet method. The purpose is to help decision-making on the choice of more efficient, simple, cheap, safe and sustainable extraction methods. To this end, the following were established: the guiding question of the research, the descriptors, the databases, and the eligibility criteria for the selection and analysis of the articles. Of 407 results identified by the research, 35 studies met the inclusion criteria. Studies have shown that even if the extraction in Soxhlet apparatus presents a high extraction efficiency of bioactive compounds in medicinal plants, the modern extractive processes, such as ultrasound- and microwave-assisted extraction are cheap, simple, and sustainable alternatives with similar or higher extractive efficiency.

**Keywords:** extraction, supercritical fluid, ultrasound, microwave, sustainability.


Rafaella Ribeiro Souza<sup>1</sup> 

Pabline Silva Gasparoti<sup>1</sup> 

Joelma Abadia Marciano de Paula<sup>1</sup> 

1- Universidade Estadual de Goiás;

E-mail: rafaella.ribeiro.11@gmail.com

10.31668/movimenta.v15i1.12870 

**Recebido em:** 10/02/2022

**Revisado em:** 02/03/2022

**Aceito em:** 30/03/2022



Copyright: © 2022. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve uma clara reavaliação do uso de plantas medicinais em todo o mundo. Segundo dados publicados pelo Ministério da Saúde, cerca de 80% da população faz uso de práticas tradicionais, incluindo o uso de plantas medicinais. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato dos consumidores, nesse período, terem maior acesso à informação, com consequente mudanças de hábitos. Como resultado, nota-se um crescente interesse da indústria farmacêutica por compostos naturais farmacologicamente ativos e também o desenvolvimento de novas pesquisas científicas voltadas para a validação do uso de várias plantas medicinais, criando condições para que possam ser transformadas em medicamentos<sup>1,2</sup>.

Na pesquisa e desenvolvimento de medicamentos fitoterápicos, a escolha do método de extração a ser utilizado no material vegetal é de suma importância. A crescente demanda por extrair compostos biologicamente ativos de plantas tem incentivado a busca contínua por métodos de extração eficientes e sustentáveis<sup>3,4</sup>.

Dentre os métodos de extração de compostos bioativos de plantas medicinais destaca-se a extração sólido-líquida (ESL), que é um processo de separação de um ou mais compostos presentes em uma matriz sólida, solúveis em um determinado solvente<sup>5</sup>. O mecanismo da ESL inclui umedecer a superfície sólida com um solvente, penetrar o solvente no sólido, dissolver substâncias extraíveis, transportar o soluto do interior para a superfície sólida e dispersar o soluto no solvente em torno das partículas sólidas por difusão e agitação<sup>6</sup>.

Diferentes métodos podem ser empregados na ESL, com diferentes perfis de eficiência extrativa. Alguns permitem extração parcial dos compostos (sem esgotamento do material vegetal), como a maceração e suas variáveis. Outros processos possuem alta eficiência extrativa (permitem o esgotamento do material vegetal), como a percolação ou lixiviação e suas variáveis<sup>7</sup>.

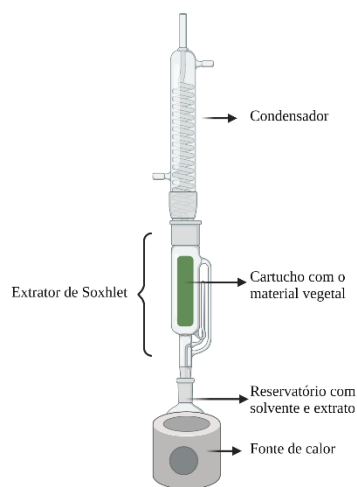
Dentre os métodos mencionados a extração por Soxhlet (SOX) (Figura 1), em nível laboratorial, se enquadra como um processo extrativo exaustivo e com alta eficiência, por ser uma espécie de percolação cíclica com destilação e reaproveitamento do solvente<sup>8</sup>. Historicamente, este tipo de extração é usada para extrair compostos orgânicos, incluindo pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e fenóis de várias matrizes vegetais e se tornou referência em termos de eficiência extrativa<sup>9</sup>. O dispositivo de extração consiste em um recipiente de solvente, um corpo de extração, uma fonte de aquecimento elétrica e um condensador de refluxo resfriado por água<sup>10</sup>.

Embora seja altamente eficiente, a extração por Soxhlet apresenta algumas desvantagens, como alto consumo energético, tempo elevado de extração e limitação de uso em materiais com compostos termolábeis, devido ao aquecimento contínuo do extrato no reservatório de solvente. Essas limitações impulsionaram estudos que resultaram em importantes avanços, com o desenvolvimento de modernas técnicas de extração consideradas mais limpas, simples e sustentáveis<sup>9</sup>.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi reunir criticamente informações científicas que

comparam a eficiência dos métodos extrativos modernos com o método tradicional Soxhlet, considerado padrão, por meio de uma revisão de escopo. Os resultados poderão auxiliar nas

tomadas de decisões quanto a escolha de métodos extrativos mais eficientes, simples, baratos, seguros e sustentáveis a serem utilizados em materiais vegetais.



Criado com BioRender.com

**Figura 1-** Desenho esquemático de um extrator Soxhlet

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho teve início com a seguinte pergunta norteadora: Os métodos modernos de extração de compostos em materiais vegetais podem ser tão ou mais eficientes que o método tradicional de Soxhlet?

Para responder à pergunta a estratégia de revisão da literatura escolhida foi a revisão de escopo (*scoping review*). Trata-se de uma abordagem metodologicamente robusta para sintetizar a literatura relevante em torno de uma pergunta norteadora, de forma a responder questões abrangentes e mapear evidências para uma tomada de decisão prática em pesquisa <sup>11</sup>.

As buscas foram realizadas em bancos de dados como Scielo, PubMed, Google acadêmico e ScienceDirect a partir das palavras-chave: "soxhlet and", "Comparison soxhlet and" e "Soxhlet extraction and" sem restrição de data. No entanto os artigos que

atenderam aos critérios de inclusão e exclusão, selecionados para a presente revisão, foram publicados de 1999 a 2021.

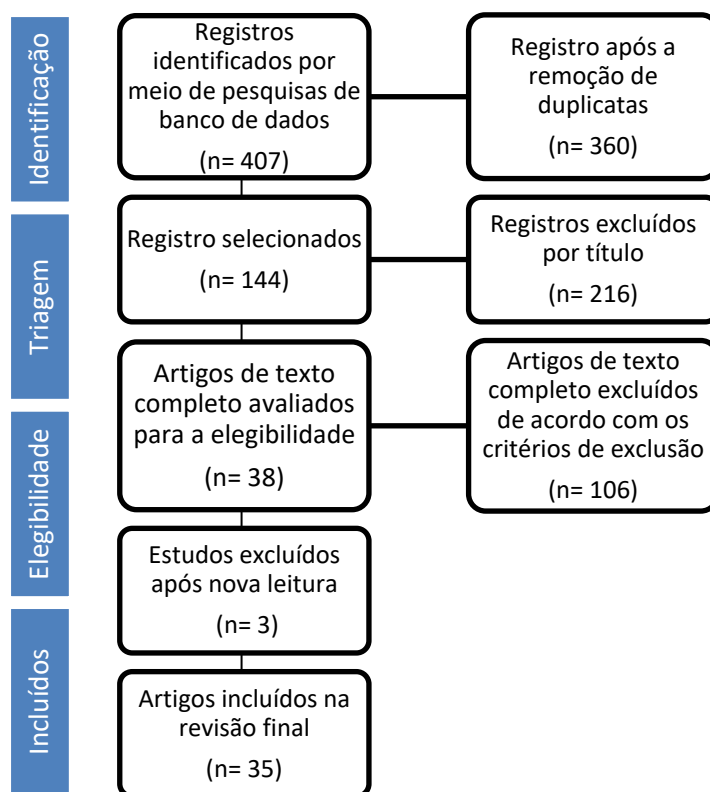
A partir da pergunta norteadora, estabeleceram-se os critérios de inclusão e exclusão de artigos. Para inclusão, o artigo deveria estar em língua portuguesa, inglesa ou espanhola, apresentar ensaio prático e de cunho comparativo da extração por Soxhlet com outros métodos modernos de extração e apresentar resultados quantitativos.

Foram excluídos artigos escritos em língua que não fossem a portuguesa, inglesa ou espanhola, artigos que não comparassem a extração de material vegetal por Soxhlet com um método moderno e artigos que abordassem outros métodos extrativos tradicionais que não Soxhlet, artigos incompletos, publicações parciais que não apresentassem resultados, artigos de revisão e artigos sem resumo.

Após a pesquisa, os artigos foram transferidos para o software ZOTERO, um gerenciador de referências. O primeiro passo foi excluir artigos duplicados, em seguida foi realizada a seleção de acordo com o título e o resumo, conforme os critérios de inclusão e exclusão. A organização dos dados obtidos após a análise e leitura na íntegra dos trabalhos remanescentes foi feita a partir de uma planilha do Excel, contendo dados dos autores, título do trabalho, métodos de extração utilizados e resultados quantitativos referentes à eficiência extrativa de cada método.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 2 apresenta o fluxograma da seleção dos artigos. Foram encontrados 407 artigos. Após a exclusão dos artigos duplicados restaram 360. Após as análises dos títulos e resumos dos trabalhos, seguindo os critérios de inclusão e exclusão, restaram 144 artigos. Após a leitura completa dos mesmos, restaram 38 artigos. E como último passo, após nova leitura, excluíram-se ainda 3 trabalhos que não obedeciam a todos os parâmetros definidos na pesquisa. Portanto, foram incluídos 35 artigos que comparam a extração por Soxhlet com outros processos extrativos.



**Figura 2:** Fluxograma do processo de seleção dos artigos

A Tabela 1 apresenta as principais informações dos estudos como: autor; espécie

vegetal e sua parte utilizada; método de extração comparado com Soxhlet; e resultados

dos processos extrativos, expressos como percentual de eficiência extrativa em relação ao Soxhlet, total de substâncias extraíveis (TSE) ou teores dos compostos de interesse. Ademais,

foram expostas também as principais condições utilizadas no processo de extração, como temperatura, tempo e pressão.

**Tabela 1.** Síntese dos estudos incluídos na *scoping review*.

Material vegetal	Parte do vegetal	Método de extração	Compostos de interesse Total substâncias extraíveis (TSE)	Resultado da extração/método investigado	Resultado da extração/Método Soxhlet (SOX)	Condições de extração	Referências
<i>Matricaria chamomilla</i> L. (Asteraceae)	Flores	Extração por fluido supercrítico (EFS)	Flavonoides	71,4% a mais que Soxhlet	-	EFS=30min/200 atm./40 °C SOX= 6h	Scalia, Giuffreda, Pallado <i>et al.</i> <sup>25</sup>
<i>Lecythis pisonis</i> C. Cambess. (Lecythidaceae)	Noz	Extração por fluido supercrítico	Óleo	93% eficiente	+ -	EFS=333K e 10Mpa solvente:Propano	Teixeira <i>et al.</i> <sup>13</sup>
<i>Tetraclinis articulata</i> V. (Cupressaceae)	Folhas	Extração por fluido supercrítico	TSE	1,6 g/kg	27,4 g/kg	SOX=8h EFS=30min.	Herzi <i>et al.</i> <sup>19</sup>
<i>Euphorbia macroclada</i> B. (Euphorbiaceae)	Folhas	Extração por fluido supercrítico	Hidrocarbonetos	5,8%	1,1%	SOX=8h	Ozcan, Özcan <sup>24</sup>
<i>Myristica fragrans</i> H. (Myristicaceae)	Castanha	Extração por fluido supercrítico	TSE	38,8% g/g	34% g/g	EFS=60 °C/41,4 Mpa SOX=6h	Al-Rawi <i>et al.</i> <sup>17</sup>
<i>Cannabis sativa</i> L. (Moraceae)	Semente	Extração por fluido supercrítico	Óleo	21,20% p/p	30,00% p/p	SOX=8h EFS=300 bar/ 40 °C/4 h	Porto, Natolino, Decortii <sup>45</sup>
<i>Eucommia ulmoides</i> Oliv. (Eucommiaceae)	Semente	Extração por fluido supercrítico	Aucubina	8,174%	7,406%	SOX=3h EFS=2h	Li <i>et al.</i> <sup>23</sup>
<i>Brassica napus</i> L. (Brassicaceae)	Semente	Extração por fluido supercrítico	Fitoesteróis	81%	24%	SCF=95% CO <sub>2</sub> + 5% etanol	Asl <i>et al.</i> <sup>22</sup>
<i>Catharanthus roseus</i> L. (Apocynaceae)	Folhas	Extração por fluido supercrítico	Alcaloides	177,9 µg/g	198,8 µg/g	EFS=20–60min SOX=16h	Verma <i>et al.</i> <sup>26</sup>
<i>Helichrysum italicum</i> G. (Asteraceae)	Don Flores	Extração por fluido supercrítico	TSE	4,85%	4,95%	SOX=8h EFS=90min	Molnar <i>et al.</i> <sup>20</sup>
<i>Hibiscus cannabinus</i> L. (Malvaceae)	Semente	Extração por fluido supercrítico	TSE	20,18%	24,81%	EFS=150min SOX= 12h	Chan e Ismail <sup>18</sup>
<i>Glycine max</i> L. (Fabaceae)	Semente	Extração assistida por ultrassom (EAU)	TSE	1,04 µmol/g	1,01 µmol/g	EAU=80%/acetona/3min/40W SOX= metanol/4h/80 °C	Chung <i>et al.</i> <sup>46</sup>
<i>Olea europaea</i> L. (Oleaceae)	Frutos	Extração assistida por ultrassom	Óleo	6,2%	12%	-	Borges <i>et al.</i> <sup>47</sup>
<i>Vitis vinifera</i> L. (Vitaceae)	Semente	Extração assistida por ultrassom	Óleo	14%	14%	SOX=6h EAU=30min	Porto, Porretto, Decortii <sup>21</sup>
<i>Matricaria recutita</i> L. (Asteraceae)	Folhas	Extração assistida por ultrassom	Genistein	3,6 µg/g	7,4 µg/g	EAU=40min SOX= 9h	Bajer <i>et al.</i> <sup>48</sup>
<i>Curcuma longa</i> L. (Zingiberaceae)	Rizomas	Extração assistida por ultrassom	Curcumina	9,18 mg/g	12,75 mg/g	EAU=1h/35 °C SOX=8h/72 °C	Shirsath <i>et al.</i> <sup>49</sup>
<i>Vanilla planifolia</i> F. (Orchidaceae)	Vagem	Extração assistida por ultrassom	Vanilina	25,92 mg/g	21,03 mg/g	SOX=8h EAU=40min	Valdez-Flores, Cañizares-Macías <sup>50</sup>

<i>Acer saccharum</i> M. (Aceraceae)	-	Extração circulante ultrassônica	Óleo	11,72%	11,97%	ECU=36min SOX=4h	Chen <i>et al</i> <sup>29</sup>
<i>Vigna radiata</i> L. (Fabaceae)	Semente	Extração assistida por ultrassom	Antioxidantes	33,91g	19,96g	EAU=46min/70 °C SOX=4h/95 °C	Zhou <i>et al</i> <sup>51</sup>
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. (Fabaceae)	Flores	Extração assistida por ultrassom	Fenóis	3,12g	3,22g	EAU=30min/59 °C	Savic <i>et al</i> <sup>52</sup>
<i>Limonium sinuatum</i> L. (Plumbaginaceae)	Flores	Extração assistida por ultrassom	Antioxidantes	483,01 µmol/g	228,32 µmol/g	EAU=40 °C/9,8min SOX=95 °C/4h	Xu <i>et al</i> <sup>53</sup>
<i>Rosmarinus officinalis</i> (Lamiaceae)	L. Folhas	Extração por líquido pressurizado (ELP)	Antioxidantes	46,20%	27,91%	SOX=300 ml/8h	Hirondart <i>et al</i> <sup>54</sup>
<i>Piper gaudichaudianum</i> K. (Piperaceae)	Folhas	Extração por líquido pressurizado	TSE	25,52 mg/g	20,34 mg/g	ELP=20min SOX=48h	Péres <i>et al</i> <sup>38</sup>
<i>Macleaya microcarpa</i> (Papaveraceae)	M. Raízes	Extração por líquido pressurizado	Alcaloides	1,72 mg/g	1,69 mg/g	ELP=30min SOX=21h	Urbanová <i>et al</i> <sup>55</sup>
<i>Carthamus tinctorius</i> (Asteraceae)	L. -	Extração por líquido pressurizado	Óleo	25,62%	36,53%	ELP=40 °C/100bar/60m in SOX=70 °C/ 4h	Conte <i>et al</i> <sup>56</sup>
<i>Opuntia ficus- indica</i> (Cactaceae)	L. Fibras	Extração por líquido pressurizado	A-caroteno	305 ug/g de extrato	142 ug/g de extrato	ELP=17min SOX=6h	Cardenas- Toro <i>et al</i> <sup>57</sup>
<i>Anthemis cotula</i> L. (Asteraceae)	Folhas	Extração acelerada com solvente	TSE	11,96%	15,9%	-	Sut <i>et al</i> <sup>58</sup>
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (Fabaceae)	Grãos	Extração assistida por micro-ondas (EAM)	Fenitrotiona	89,8%	88,4%	SOX=24h	Diagne, Foster, Khan <sup>34</sup>
<i>Nothapodytes foetida</i> (Icaciniaceae)	M. Folhas	Extração assistida por micro-ondas	Camptotecina (CPT) e 9- metoxicamptot ecina (9-Me- CPT)	CPT=2,7% 9-Me- CPT=1,0%	CPT=2,5% 9-Me- CPT=0,8%	SOX=70 °C/180min EAM=100 W/ 3min	Fulzele e Satdive <sup>35</sup>
<i>Quercus robur</i> L. (Fagaceae)	L. Fruto	Extração com Soxhlet, com foco em micro- ondas (ESFM)	Óleo	9,22%	9,32%	SOX=16h ESFM=30min	Pérez- Serradilha <i>et al.</i> <sup>38</sup>
<i>Curcuma longa</i> L. (Zingiberaceae)	L. Rizomas	Extração assistida por micro-ondas	TSE	100%	78,73%	SOX=24h EAM=10min	Mandal, Mohan, Hemalatha <sup>36</sup>
<i>Heterophyllaea pustulata</i> Hook (Rubiaceae)	F. Caule	EAU + EAM	Antraquinonas	0,0239 g/g	0,0034 g/g	SOX=16h/36ml de solvente. EAU + EAM=1,25h/20 ml de solvente.	Barrera- Vázquez <i>et al</i> <sup>37</sup>
<i>Pseuderanthemum palatiferum</i> (Nees) Radlk.	Folhas	Extração por água subcrítica (EAS)	TSE	0,31 g/g	0,13 g/g	SOX=7h EAS=15min	Ho e Chun <sup>42</sup>
<i>Vitis vinifera</i> L. (Vitaceae)	L. Semente	Extração por hexano superaqueci do (EHS)	Ácidos graxos	11,6%	13,9%	EHS=10min/80 °C/40 bars SOX=24h	Luque- Rodríguez, Castro, Pérez-Juan <sup>59</sup>
<i>Camellia sinensis</i> var <i>assamica</i> L. (Theaceae)	L. Folhas	Extração simultânea por destilação e solvente (ESDS)	A-Terpeneol	59,04 µg/mL	51,62 µg/mL	SOX e ESDS=2h	Gu <i>et al</i> <sup>60</sup>

Legenda: Mpa= Mega pascal = 1 milhão de Pascal = 10,1972 Kgf/cm<sup>2</sup> (unidade de pressão e tensão).

W = watt (unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades).

bar = (unidade de pressão e equivale a exatamente 100 000 Pascals).

Como pode ser observado na Tabela 1, os métodos de extração modernos comparados com Soxhlet nos artigos foram: extração por fluido supercrítico, extração assistida por ultrassom, extração por líquido pressurizado, extração assistida por micro-ondas, extração por água subcrítica, extração simultânea por destilação e solvente, e extração por hexano superaquecido.

O método de extração por fluido supercrítico (EFS) foi o mais utilizado nos trabalhos, representando 31,4% do total de artigos (n=11). Em 6 (seis) destes estudos, a EFS apresentou eficiência extrativa superior ao Soxhlet, três foram menos eficientes e dois apresentaram eficiência semelhante. Em todos os estudos o tempo de extração foi consideravelmente menor na EFS. Em conjunto, a EFS demonstrou inúmeras vantagens, como redução drástica do tempo de extração, com consequente aumento do rendimento do extrato, menor uso de solventes e redução da temperatura do processo, sendo esta de suma importância para aplicação do método na extração de produtos termossensíveis, como descafeinação ou na obtenção de óleos voláteis<sup>12,13</sup>. A EFS é amplamente utilizada em produtos naturais, seja para a obtenção de substâncias isoladas ou frações de classes químicas específicas<sup>2</sup>.

A extração por fluido supercrítico se baseia na utilização de uma substância em um estado acima de seu ponto crítico, um ponto em que a densidade do líquido e do vapor se igualam e não é possível distinguir as fases líquidas e gasosas, ou seja, a temperatura e a

pressão estão em estado crítico<sup>14,15</sup>. Assim, as propriedades físicas desse fluido são intermediárias entre os dois estados, podendo esse ter uma densidade que varia entre as exibidas por gases até valores de densidade dos líquidos, apenas com a modificação da pressão exercida sobre ele. Um fluido supercrítico mais denso é capaz de dissolver vários materiais de forma semelhante a um líquido convencional, tornando-se um solvente. Além disso, por ter característica de gás é capaz de encher um recipiente de forma completa e uniforme<sup>14</sup>. Embora muitos gases possam ser utilizados como fluidos supercríticos, o mais utilizado é o CO<sub>2</sub>, pois possui pressão e temperatura críticas moderadas, é inerte, não inflamável, não explosivo e menos poluente. Também é de fácil obtenção, barato e, ao término da extração, é espontaneamente separado do extrato, à temperatura ambiente e sem deixar resíduos<sup>16</sup>.

Vários estudos comprovam a utilização desse método para obtenção de compostos oriundos de material vegetal, seja na extração total de compostos<sup>17,18,19,20</sup>; extração de óleos<sup>21,13</sup>; ou outros metabólitos, como fitosteróis, hidrocarbonetos, flavonoides, etc.<sup>22,23,24,25,26</sup>.

O segundo método mais utilizado nos trabalhos foi a extração assistida por ultrassom (EAU), representando 28,6% do total de artigos (n=10), sendo que em 4 (quatro) estudos a eficiência da EAU foi semelhante à do Soxhlet, em 3 estudos foi superior e em outros 3 estudos foi inferior. Em todos os trabalhos o tempo gasto na EAU foi inferior ao Soxhlet.

**Tabela 2.** Tempo médio (minutos) da extração assistida por ultrassom (EAU) levando em consideração 8 experimentos dos trabalhos analisados nesta *scoping review*.

TEMPO DE EXTRAÇÃO (min)	REFERÊNCIA
3	Chung <i>et al</i> <sup>46</sup>
30	Porto <i>et al</i> <sup>12</sup>
40	Bajer <i>et al</i> <sup>48</sup>
60	Shirsath <i>et al</i> <sup>49</sup>
40	Valdez-flores e Cañizares-Macías <sup>50</sup>
46	Zhou <i>et al</i> <sup>51</sup>
30	Savic <i>et al</i> <sup>52</sup>
10	Xu <i>et al</i> <sup>53</sup>
Média: 32,375	

A EAU tem se mostrado uma excelente escolha dentre os métodos extrativos, pois tem baixo gasto de solvente, menor tempo de extração (Tabela 2), custo do equipamento menor em relação a outros métodos modernos e rendimento semelhante ou superior à da extração por Soxhlet.

As ondas ultrassônicas se referem a um grupo de ondas eletromagnéticas com uma frequência superior à da capacidade auditiva humana, 20 kHz. A extração ultrassônica utiliza alta potência, que produz cavitação acústica e causa a ruptura de células e tecidos, colocando os componentes do material vegetal em contato imediato com o solvente <sup>27,2</sup>. Seus principais efeitos na extração são: o aumento da permeabilidade da parede celular e a geração de cavitação, ou seja, a formação de bolhas no líquido quando este se encontra abaixo de seu ponto de ebulição, resultando em forte estresse dinâmico. Portanto, o método é capaz de simplificar a expansão e hidratação do material, aumentar o tamanho dos poros e otimizar o processo de difusão e transferência de massa <sup>27,2</sup>. Essas características permitem a utilização de menor quantidade de solvente,

menor tempo de extração, menor custo energético, portanto atendem a critérios de sustentabilidade ambiental com alta eficiência extrativa, o que eleva seu leque de aplicações <sup>28</sup>.

Em um processo de EAU típico, conforme descrito no tópico anterior, o campo de ultrassom é limitado a um espaço rígido, onde o material a ser extraído não se move, permanecendo assim durante o processo. Portanto, a interação entre as ondas ultrassônicas e o material é bastante restrita. Ao contrário, na extração por circulação ultrassônica, o controlador de circulação de refluxo é usado para promover o movimento relativo entre o material e o campo ultrassônico. Como resultado, a eficiência de trabalho do campo ultrassônico pode ser bastante melhorada. Há relatos do uso deste método de extração na literatura para a obtenção de óleo de *Acer saccharum* Marshall (Sapindaceae) <sup>29</sup>.

A extração por líquido pressurizado (ELP) ou extração acelerada com solvente também tem sido muito utilizada para a extração de compostos naturais. No presente trabalho, 17,1% dos artigos encontrados utilizaram este



método (n=6). Em comparação ao método por Soxhlet, a ELP foi mais eficiente em três trabalhos, apresentou eficiência extrativa inferior em dois trabalhos e em um deles a eficiência foi semelhante à de Soxhlet. Observa-se que além das vantagens já citadas, o método utiliza menos solvente, resultando na diminuição nos custos de extração e conseqüente economia. É muito comum utilizar a água como solvente nesses processos extrativos, isso agrega sustentabilidade ao processo, uma vez que este é um solvente inerte, não tóxico, não agressivo ao ambiente, barato, de fácil acesso e amplamente disponível.

A ELP utiliza um solvente em alta temperatura e alta pressão aplicado a uma célula de extração contendo uma quantidade conhecida de amostra. O solvente é mantido aquecido durante todo o tempo de extração. Ao final da extração, o extrato é liberado por um gás inerte e a amostra é lavada com uma determinada quantidade do mesmo solvente utilizado na extração<sup>30</sup>. O processo de extração é realizado a uma temperatura mais elevada que o ponto de ebulição do solvente, o que leva à utilização de alta pressão para mantê-lo no estado líquido. Este processo aumenta a solubilidade, a razão de difusão e a transferência de massa, pois a viscosidade e a tensão superficial são menores que na temperatura ambiente. A alta pressão ainda é capaz de favorecer a penetração do solvente na matriz<sup>30</sup>.

A extração assistida por micro-ondas (EAM) foi utilizada em 14,3% dos artigos selecionados neste trabalho (n=5), sendo que em três deles sua eficiência extrativa foi superior à da extração por Soxhlet. Mesmo quando os

rendimentos de extração foram semelhantes (n=2), o método mostrou-se extremamente rápido, simples e o equipamento empregado é barato e de fácil acesso. A principal vantagem desse método é sua alta eficiência em gerar aquecimento em recipientes fechados, aumentando o poder de extração. Ademais, o volume de solvente gasto nesse processo chega a ser 10 vezes menor em comparação a outros métodos convencionais de extração e sua reprodutibilidade é maior<sup>31</sup>.

A EAM consiste em uma extração sólido-líquido com auxílio de ondas de baixa frequência [300 MHz (100 cm) a 300 GHz (0,1 cm)], as quais aquecem de forma simultânea a matriz (material vegetal) e o solvente. Para uso em laboratório, a frequência apropriada é de 2,45 Ghz, pois esta tem profundidade de penetração adequada para essas condições, e faixas além de 30 Ghz se sobrepõem à faixa de frequência de rádio<sup>2,32</sup>. Este método tem sido utilizado principalmente para a extração de óleos essenciais<sup>33</sup>, mas também pode ser aplicada à extração de outros compostos como, fenitrotona de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae)<sup>34</sup>, camptotecina e 9-metoxicamptotecina das folhas de *Nothapodytes foetida* (Wight) Sleumer (Icacaceae)<sup>35</sup> e compostos totais de *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae)<sup>36</sup>.

Um recente estudo demonstra que os pesquisadores combinaram dois processos extrativos: a extração assistida por micro-ondas (EAM) e a extração assistida por ultrassom (EAU)<sup>37</sup>. Os resultados, em comparação com à EAU de forma isolada, mostraram aumento de cerca de duas vezes no rendimento da extração. A combinação foi feita através de um

pré-tratamento da amostra em EAU com benzeno, seguida por EAM com acetato de etila, em potência constante. A associação de ambos os processos, além da drástica redução de tempo, resultou no aumento do conteúdo extrativo em aproximadamente sete vezes se comparada à extração por Soxhlet (Tabela 1).

Em outro estudo os pesquisadores combinaram a extração por aparelho de Soxhlet com um pré-tratamento da amostra por irradiação de micro-ondas, para obtenção de óleo do fruto de *Quercus robur* L. (Fagaceae). O resultado foi a obtenção dos analitos alvo em 30 minutos, tempo bem menor se comparado a outros métodos utilizados no mesmo trabalho (Soxhlet - 16 horas; método de referência de extração *Folch* - 56 horas)<sup>38</sup>.

Esses exemplos demonstram que a utilização de métodos combinados pode ser satisfatória, aumentando o rendimento e diminuindo o tempo de extração.

Outros métodos como a extração com água subcrítica (EAS), extração simultânea por destilação e solvente (ESDS) e a extração por hexano superaquecido (EHS), embora menos citadas dentre os trabalhos selecionados para esse estudo (8,6%, n=3), apresentaram resultados promissores em comparação à extração por Soxhlet.

Na EAS, semelhante à extração por líquido pressurizado, a água é exposta a uma temperatura entre 100 e 374 °C e pressão suficientemente alta para manter o estado líquido. Dentre os trabalhos incluídos na presente análise, apenas uma pesquisa adotou este método, comparando-a à extração por Soxhlet. No entanto, outros trabalhos têm utilizado este processo extrativo como, na extração de

compostos fenólicos de *Annona muricata* L. (Annonaceae)<sup>39,40</sup>, compostos bioativos da casca de *Passiflora edulis* Sims (Passifloraceae)<sup>41</sup>, e extração total dos compostos de *Pseuderanthemum palatiferum* (Nees) Radlk (Acanthaceae)<sup>42</sup>.

A EAS pode ser proposta em seis etapas sequenciais: Entrada rápida do líquido, dessorção do soluto da matriz, difusão do soluto através do material orgânico, difusão de soluto em materiais porosos através de fluido estático, difusão de soluto através da camada externa de partículas do fluido estagnado e eluição do soluto através do volume de fluxo do fluido<sup>43</sup>.

A EAS pode ser seletiva para a extração de classes diferentes de compostos, de acordo com a temperatura utilizada. Temperaturas mais altas são capazes de retirar compostos menos polares, ao passo que temperaturas mais baixas serão mais efetivas na extração de compostos mais polares. Esta seletividade permite que a variável temperatura seja manipulada a fim de diferenciar as composições dos extratos apenas alterando os parâmetros operacionais<sup>39</sup>.

De acordo com os resultados apresentados nesta *scoping review*, pode-se afirmar que os métodos modernos de extração podem ser mais ou tão eficientes quanto a extração por Soxhlet, sobretudo em aplicações em escala laboratorial. Ademais, muitas delas atendem diversos requisitos de sustentabilidade ambiental e podem gerar economia devido à diminuição de energia gasta no processo. Embora a extração por Soxhlet seja um processo amplamente aceito devido a sua eficiência, e por isso foi selecionado como método de referência nas pesquisas, o mesmo apresenta desvantagens, como: elevado tempo de

extração, que pode ser um problema quando há necessidade de um grande número de extrações; uso de solventes tóxicos para o homem e meio ambiente; uso de temperaturas elevadas, que podem impactar substâncias termossensíveis; e alto gasto energético <sup>44</sup>.

O método mais citado nos artigos selecionados, a extração por fluido supercrítico, embora reúna vantagens, como alto rendimento e a possibilidade de extração em temperaturas mais baixas, apresenta desvantagem referente ao alto custo do equipamento. Os métodos de extração assistida por ultrassom e extração assistida por micro-ondas, além de todos os benefícios já citados, exigem equipamentos de menor custo.

São muitas as variáveis que podem ser modificadas na investigação desses novos métodos: pressão, temperatura, tempo, solvente, proporção droga/solvente, etc. A mudança de uma ou mais destas variáveis abre novos campos a serem abordados e modificam consideravelmente uma extração <sup>44</sup>.

## CONCLUSÃO

Para ser considerado eficiente um processo extrativo precisa, além de ter bom rendimento, ser rápido, fácil de executar, ter reprodutibilidade, gastar menos energia e ser sustentável. Nas pesquisas analisadas nesta *scoping review*, mesmo nos casos em que a extração por Soxhlet apresentou um alto rendimento, o tempo elevado, a utilização de solventes tóxicos e o alto gasto energético fizeram compensar o uso de outros métodos, considerados mais modernos. Os avanços tecnológicos e científicos trouxeram métodos extrativos que, dentre outras qualidades,

podem ser mais sustentáveis, rápidos, simples e econômicos.

Dentre as lacunas apontadas neste estudo, ressalta-se a necessidade de ampliar as pesquisas sobre os métodos de extração emergentes a uma maior diversidade de espécies vegetais, para investigar a eficiência na extração de uma gama maior de compostos naturais. Um outro ponto é a necessidade de realizar estudos de escalonamento dos processos extrativos, já que nos trabalhos analisados eles foram empregados em escala laboratorial. É importante investigar a viabilidade do uso desses processos em escalas maiores, como a industrial, com vistas à sustentabilidade e exequibilidade financeira, dentre outros aspectos.

## REFERÊNCIAS

- 1- BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 971 de 03 de maio de 2006. Aprova a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- 2- Simões CMO, Schenkel EP, Mello JCP, Mentz LA, Petrovick PR. Farmacognosia: do produto natural ao medicamento. São Paulo: Artmed Editora, 2017. 502 p
- 3- Azmir J, Zaidul ISM, Rahman MM, Sharif KM, Mohamed A, Sahena F, Omar AKM. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. J. Food Eng.2013; 117 (4): 426-436.
- 4- Gomes AKS. Otimização e validação de método espectrofotométrico para o doseamento de cumarinas na espécie *Amburana cearensis* (Fr. Allemão). 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Recife. 2020.
- 5- Wankat PC. Separation Process Engineering. 1. ed. USA: Pearson Education, 2007:765
- 6- Berk Z. Food Process Engineering and Technology. 3. ed. London: Academic press, 2018:742
- 7- Bassani VL, Petrovick PR. Desenvolvimento tecnológico de produtos farmacêuticos a partir de produtos naturais. In: SIMÕES CMO. et al. (Org.). Farmacognosia: do produto natural ao medicamento. Porto Alegre: Artmed, 2017:129-145.

- 8- Sonaglio D, Ortega GG, Petrovick PR, Bassani VL. Desenvolvimento tecnológico e produção de fitoterápicos. In: SIMÕES CMO. et al. (Org.). Farmacognosia: da planta ao medicamento. 6. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC, 2010:289-326.
- 9- Lima ARS, Conceição EC, Paula JAM. Tecnologias aplicadas ao desenvolvimento de fitoterápicos. In: Paula JAM, Amaral VCS. (Org.). Ciências da saúde: saberes e práticas interdisciplinares. Anápolis: Editora UEG, 2019. p. 59-80.
- 10- Dean JR. Extraction Techniques in Analytical Sciences. [S.L.]: John Wiley & Sons, 2010:281.
- 11- Munn Z, Peters MDJ, Stern C, Tufanaru C, Mcarthur A, Aromataris E. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. BMC Med. Res. Methodol.2018; 18:1-7.
- 12- Porto C, Porretto E, Decorti D. Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. Ultrason Sonochem.2013; 20(4):1076-1080.
- 13- Teixeira GL, Ghazani SM, Corazza ML, Marangoni AG, Ribani RH. Assessment of subcritical propane, supercritical CO<sub>2</sub> and Soxhlet extraction of oil from sapucaia (*Lecythis pisonis*) nuts. J. Supercrit Fluids.2018;133: 122-132.
- 14- Maul AA, Wasicky R, Bacchi, EM. Extração por fluido supercrítico. Rev. Bras. Farmacogn, v. 5, n. 2, p. 185-200, 1996
- 15- Santos JC. Extração com fluido supercrítico e suas aplicações na obtenção de produtos naturais. 2011. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Farmácia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- 16- Alfonso FP, Rodríguez I, Nivia A, Castro H, Restrepo P. Aprovechamiento integral de la guayaba (*Psidium guajava* L.): obtención de extractos a partir de semillas utilizando como solvente CO<sub>2</sub> supercrítico. Scientia et Technica.2007;1(33):79-82.
- 17- Al-rawi SS, Ibrahim AH, Majid ASA, Abdul Majid AMS.; Kadir MOA. Comparison of yields and quality of nutmeg butter obtained by extraction of nutmeg rind by soxhlet and supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>). J. Food Eng.2013;119 (3):595-601
- 18- Chan KW, Ismail M. Supercritical carbon dioxide fluid extraction of *Hibiscus cannabinus* L. seed oil: a potential solvent-free and high antioxidative edible oil. Food Chem.2009; 114 (3):970-975.
- 19- Herzi N, Bouajila J, Camy S, Romdhane M, Condoret JS. Comparison of different methods for extraction from *Tetraclinis articulata*: Yield, chemical composition and antioxidant activity. Food chem.2013;141(4):3537-3545
- 20- Molnar M, Jerković I, Suknović D, Bilić Rajs B, Aladić K, Šubarić D, Jokić S. Screening of six medicinal plant extracts obtained by two conventional methods and supercritical CO<sub>2</sub> extraction targeted on coumarin content, 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity and total phenols content. Molecules.2017;22(3):348.
- 21- Porto C, Porretto E, Decorti, D. Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. Ultrason Sonochem.2013;20(4):1076-1080.
- 22- Asl PJ, Niazmand R, Yahyavi F. Extraction of phytosterols and tocopherols from rapeseed oil waste by supercritical CO<sub>2</sub> plus co-solvent: A comparison with conventional solvent extraction. Heliyon. 2020; 6(3):03592.
- 23- Li H, Hu J, Ouyang H, Li Y, Shi H, Ma C, Zhang Y. Extraction of aucubin from seeds of *Eucommia ulmoides* Oliv. using supercritical carbon dioxide. Journal of AOAC International.2009;92(1):103-110.
- 24- Ozcan A, Özcan, AS. Comparison of supercritical fluid and Soxhlet extractions for the quantification of hydrocarbons from *Euphorbia macroclada*. Talanta. 2004; 64(2):491-495.
- 25- Scalia S, Giuffreda L, Pallado P. Analytical and preparative supercritical fluid extraction of chamomile flowers and its comparison with conventional methods. J. Pharm.Biomed.1999;21(3):549-558.
- 26- Verma A, Hartonen K, Riekkola ML. Optimisation of supercritical fluid extraction of indole alkaloids from *Catharanthus roseus* using experimental design methodology—comparison with other extraction techniques. Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques. 2008; 19(1):52-63.
- 27- Veggi PC. Obtenção de compostos fenólicos de plantas brasileiras via tecnologia supercrítica utilizando cossolventes e extração assistida por ultrassom. 2013. 190 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2013.
- 28- Bendicho C, De la calle I, Pena F, Costas M, Cabaleiro N, Lavilla I. Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. TrAC Trends in Analytical Chemistry.2012;31:50-60.
- 29- Chen F, Zhang Q, Fei S, Gu H, Yang L. Optimization of ultrasonic circulating extraction of samara oil from *Acer saccharum* using combination of Plackett–Burman design and Box–Behnken design. Ultrason. Sonochem.2017;35: 161-175.
- 30- Abad FC. Determinação multirresíduo de pesticidas em cenouras utilizando extração com líquido pressurizado e cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. 2006. 122f.

- Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- 31- Tsukui A, Rezende CM. Extração assistida por micro-ondas e química verde. *Rev. Virtual Quim.*2014;6(6):1713-1725.
- 32- Gaba M, Dhingra N. Microwave chemistry: general features and applications. *J. Pharm. Educ. Res.*2011;45(2):175-183.
- 33- Gupta D, Shah M, Shrivastav P. Microwave-assisted extraction of Eucalyptus citriodora oil and comparison with conventional hydrodistillation. *Middle-East J. Sci Res.*2013; 16(5):702-705.
- 34- Diagne RG, Foster GD, Khan SU. Comparison of Soxhlet and microwave-assisted extractions for the determination of fenitrothion residues in beans. *J. Agric.Food Chem.*2002; 50(11):3204-3207.
- 35- Fulzele DP, Satdive RK. Comparison of techniques for the extraction of the anti-cancer drug camptothecin from *Nothapodytes foetida*. *Journal of Chromatography A.*2005;1063(1-2):9-13.
- 36- Mandal V, Mohan Y, Hemalatha S. Microwave assisted extraction of curcumin by sample–solvent dual heating mechanism using Taguchi L9 orthogonal design. *J. Pharm. Biomed.*2008;46(2):322-327.
- 37- Barrera V, Comini LR, Martini RE, Montoya SN, Bottini S, Cabrera JL. Comparisons between conventional, ultrasound-assisted and microwave-assisted methods for extraction of anthraquinones from *Heterophyllaea pustulata* Hook f. (Rubiaceae). *Ultrason. Sonochem.*2014;21(2):478-484.
- 38- Pérez-serradilla JA, Ortiz MC, Sarabia L, Castro ML. Focused microwave-assisted Soxhlet extraction of acorn oil for determination of the fatty acid profile by GC–MS. Comparison with conventional and standard methods. *Anal. Bioanal. Chem.*2007;388(2):451-462.
- 39- Ibañez E, Kubátová A, Señoráns FJ, Cavero S, Reglero G.; Hawthorne SB. Subcritical water extraction of antioxidant compounds from rosemary plants. *J. Agric. Food Chem.*2003; 51(2):375-382.
- 40- Santos RKS. Utilização de água subcrítica e métodos convencionais de extração para a valorização de resíduos do processamento de graviola (*Annonamuricata*). 2018. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.
- 41- Souza CG, Soares M, Ribeiro P, Brito ES. Extração de compostos bioativos da casca de *Passiflora edulis* ssp com diferentes solventes. *Blucher Chemical Engineering Proceedings.*2015;1(2):3451-3457.
- 42- Ho TC, Chun BS. Extraction of bioactive compounds from *Pseuderanthemum palatiferum* (Nees) Radlk. using subcritical water and conventional solvents: A Comparison Study. *J. Food Sci.*2019; 84(5):1201-1207.
- 43- Asl AH, Khajenoori M. Subcritical water extraction. In: Nakajima, H. *Mass Transfer- Advances in sustainable energy and environment oriented numerical modeling.* [s.l.]: IntechOpen, 2013:459-487.
- 44- Chemat F, Abert-Vian M, Fabiano-Tixier AS, Strube J, Uhlenbrock L, Gunjevic V, Cravotto G. Green extraction of natural products. Origins, current status, and future challenges. *Trac Trends in Analytical Chemistry.*2019;118: 248-263.
- 45- Porto C, Natolino A, Decorti D. Effect of ultrasound pre-treatment of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed on supercritical CO<sub>2</sub> extraction of oil. *J. Food Sci. Technol.*2015; 52(3):1748-1753.
- 46- Chung H, Ji X, Canning C, Sun S, Zhou K. Comparison of different strategies for soybean antioxidant extraction. *J. Agric. Food Chem.*2010; 58(7): 4508-4512.
- 47- Borges A, José H, Homem V, Simões M. Comparison of Techniques and Solvents on the Antimicrobial and Antioxidant Potential of Extracts from *Acacia dealbata* and *Olea europaea*. *Antibiotics.*2020; 9(2):48.
- 48- Bajzer T, Adam M, Galla L, Ventura K. Comparison of various extraction techniques for isolation and determination of isoflavonoids in plants. *J. Sep. Sci.* 2007; 30(1):122-127.
- 49- Shirsath SR, Sable SS, Gaikwad SG, Sonawane SH, Saini DR, Gogate PR. Intensification of extraction of curcumin from *Curcuma amada* using ultrasound assisted approach: Effect of different operating parameters. *Ultrason Sonochem.*2017; 38:437-445.
- 50- Valdez-Flores C, Cañizares-Macías MP. On-line dilution and detection of vanillin in vanilla extracts obtained by ultrasound. *Food Chemistry.*2007;105(3): 1201-1208.
- 51- Zhou Y, Zheng J, Gan RY, Zhou T, Xu DP, Li HB. Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidants from the mung bean coat. *Molecules.*2017; 22(4): 638.
- 52- Savic GI, Savic I, Boskov I, Žerajić S, Markovic I, Gajic D. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) Flowers and Comparison with Conventional Methods. *Antioxidants.*2019; 8(8):248.
- 53- Xu DP, Zheng J, Zhou Y, Li Y, Li S, Li HB. Ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *Limonium sinuatum*: Optimization and comparison with conventional methods. *Food Chemistry.*2017;217:552-559.
- 54- Hirondart M, Rombaut N, Fabiano-Tixier AS, Bily A, Chemat F. Comparison between pressurized liquid extraction and conventional Soxhlet extraction for rosemary antioxidants, yield, composition, and environmental footprint. *Foods.*2020;9,(5):584.
- 55- Urbanová J, Pěnčíková K, Gregorová J, Hohnová B, Šťavíková L, Karásek P. Isolation of quaternary benzo [c] phenanthridine alkaloids from *Macleaya microcarpa* (maxim.) FEDDE: Comparison of

maceration, soxhlet extraction and pressurised liquid extraction. *Phytochem. Anal.*2012; 23(5):477-482.

56- Conte R, Gullich LM, Bilibio D, Zanella O, Bender JP, Carniel N, Priamo WL. Pressurized liquid extraction and chemical characterization of safflower oil: A comparison between methods. *Food Chemistry.*2016;213:425-430.

57- Cardenas-Toro FP, Alcázar-Alay SC, Coutinho JP, Godoy HT, Forster-Carneiro T, Meireles MA. Pressurized liquid extraction and low-pressure solvent extraction of carotenoids from pressed palm fiber: experimental and economical evaluation. *Food Bioprod. Process.*2015; 94:90-100.

58- Sut S, Dall'acqua S, Zengin G, Senkardes I, Bulut G, Cvetanović A, Mahomoodally F. Influence of different extraction techniques on the chemical profile and biological properties of *Anthemis cotula* L.: Multifunctional aspects for potential pharmaceutical applications. *J. Pharm. Biomed.*2019;173:75-85.

59- Luque-Rodríguez JM, Castro MDL, Pérez-Juan D. Extraction of fatty acids from grape seed by superheated hexane. *Talanta.*2005; 68(1):126-130.

60- Gu X, Zhang Z, Wan X, Ning J, Yao C, Shao W. Simultaneous distillation extraction of some volatile flavor components from Pu-erh tea samples—comparison with steam distillation-liquid/liquid extraction and soxhlet extraction. *International Journal of Analytical Chemistry.*2010;2009.