

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FÁBIO HENRIQUE ROCHA MARTINS**

**ÓLEOS ESSENCIAIS APLICADOS À INDÚSTRIA DE MANUFATURA**

**LONDRINA**

**2022**

**FÁBIO HENRIQUE ROCHA MARTINS**

**ÓLEOS ESSENCIAIS APLICADOS À INDÚSTRIA DE MANUFATURA**

**Essential oils applied to the manufacturing industry**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Profa. Dra. Janaina Fracaro de Souza Gonçalves.

**LONDRINA**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FÁBIO HENRIQUE ROCHA MARTINS**

**ÓLEOS ESSENCIAIS APLICADOS À INDÚSTRIA DE MANUFATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29/abril/2022

---

Janaina Fracaro de Souza Gonçalves  
Professora doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Cláudia Santos Fiuza Lima  
Professora doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Eduardo José Pitelli  
Professor doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2022**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Manuel e Adriana, não apenas por me proporcionarem a oportunidade de estudar numa das grandes universidades do país, mas também pelo suporte incondicional que fez com que eu chegasse até aqui.

À minha avó Maria de Lurdes (*in memoriam*) por todas as orações e apoio para que eu pudesse atingir meus objetivos.

À minha namorada Caroline por tudo que vivemos juntos e pelos conselhos dados em relação à graduação que foram fundamentais para que eu superasse as inúmeras situações de dificuldade enfrentadas.

À professora Janaina Fracaro de Souza Gonçalves pela excepcional orientação durante o desenvolvimento do trabalho, fornecendo as diretrizes e suporte necessários.

À coordenação do curso, pela cooperação, sobretudo na reta final da graduação.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Se você pensa que pode ou se pensa que não  
pode, de qualquer forma você está certo”  
(Henry Ford).

## RESUMO

Os óleos essenciais são produtos do metabolismo secundário das plantas aromáticas e podem ser encontrados em diversas partes de um mesmo vegetal como em flores, folhas, caules, sementes e raízes. São amplamente empregados na fabricação de cosméticos, perfumes, terapias medicinais e estão ganhando espaço como agentes antibacterianos na indústria alimentícia, na produção de biocombustíveis e em biolubrificantes. No sentido de recomendar a utilização do óleo essencial mais adequado como aditivo para fluidos de corte com função biocida entre as opções *Curcuma Indiana*, *Melaleuca alternifolia* e *Turmeric*, o presente trabalho lançou mão do método de tomada de decisão AHP para avaliação via critérios como preço do produto final, rendimento de extração do óleo essencial e custo de cultivo e produção. Uma vez verificado que a composição química do óleo extraído estava conforme indicações da literatura, as alternativas foram comparadas par a par entre si. As razões de consistência dos critérios e das alternativas foram validadas. O óleo essencial de *Melaleuca* mostrou-se como melhor opção perante as prioridades resultantes da matriz de julgamento e também numa primeira análise de sensibilidade, a qual simulou um cenário em que todos os critérios foram tomados como tendo pesos iguais. Já no segundo cenário de análise de sensibilidade em que foi atribuído 50% de importância para o critério rendimento e 25% para os demais, o óleo essencial de *Cúrcuma* foi apontado como sendo a melhor opção entre as alternativas avaliadas.

**Palavras-chave:** Fluidos de corte. Biocidas. Método AHP. Indústria de manufatura.

## ABSTRACT

Essential oils are products of the secondary metabolism of aromatic plants and can be found in different parts of the same plant, such as flowers, leaves, stems, seeds and roots. They are widely used in the manufacture of cosmetics, perfumes, therapies and are gaining notoriety as antibacterial agents in the food industry, in the production of biofuels and in biolubricants. In order to recommend the use of the most suitable essential oil as an additive for metalworking fluids with biocidal function among the options *Curcuma Indiana*, *Melaleuca alternifolia* and *Turmeric*, the present work used the AHP approach for evaluation via criteria such as price of the final product, essential oil extraction yield and cost of cultivation and production. Once verified that the chemical composition of the extracted oil was according to the literature, the alternatives were pairwise compared. The consistency ratio of criteria and alternatives were validated. *Melaleuca* essential oil proved to be the best option given the priorities resulting from the judgment matrix and also in a first sensitivity analysis, in which all criteria were considered with equal relevance. In the second sensitivity analysis scenario, 50% of importance was attributed to the essential oil extraction yield criterion and 25% to the others, *Curcuma Indiana* essential oil was identified as the best option among the evaluated alternatives.

**Keywords:** Metalworking fluids. Biocides. AHP method. Manufacturing industry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Os 18 principais óleos essenciais no mercado mundial .....	12
Figura 2 - Rizoma em pó de Curcuma Longa L. ....	19
Figura 3 - Destilação por arraste a vapor .....	21
Figura 4 - Aparelho de Soxhlet.....	22
Figura 5 - Diagrama de fases de uma substância simples. ....	23
Figura 6 - Equipamento para extração por fluido supercrítico .....	24
Figura 7 - Classificação dos óleos de corte convencionais .....	25
Quadro 2 - Principais aditivos empregados na formulação de óleos lubrificantes .....	26
Quadro 3 - Óleos essenciais como agentes biocidas em diversas áreas .....	28
Figura 8 - Estruturação dos critérios e alternativas .....	30
Quadro 4 - Escala de julgamento de Saaty .....	30
Figura 9 – Fluxograma geral do método AHP.....	33
Figura 10 - Estrutura hierárquica do problema.....	37
Figura 11 - Prioridade das alternativas para cada critério.....	42
Figura 12 - Resultado do problema global e análises de sensibilidade .....	44



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos índices de consistência randômicos .....	32
Tabela 2 - Composição química do óleo essencial de <i>Curcuma Indiana</i> .....	34
Tabela 3 - Composição química do óleo essencial de <i>Melaleuca</i> .....	34
Tabela 4 - Composição química do óleo essencial de <i>Turmeric</i> .....	35
Tabela 5 - Dados de rendimento das espécies .....	37
Tabela 6 - Dados de custo de cultivo e produção do óleo essencial das espécies .....	38
Tabela 7 - Matriz de decisão .....	38
Tabela 8 – Avaliação dos critérios .....	38
Tabela 9 - Normalização da matriz pareada .....	39
Tabela 10 - Autovetor .....	39
Tabela 11 - Pesos dos critérios.....	39
Tabela 12 - Somatório dos pesos dos critérios .....	40
Tabela 13 - Cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$ .....	40
Tabela 14 - Síntese dos valores dos elementos .....	40
Tabela 15 - Razão de consistência para o critério preço.....	41
Tabela 16 - Razão de consistência para o critério rendimento .....	41
Tabela 17 - Razão de consistência para o critério custo de produção.....	42
Tabela 18 - Resultado do objetivo global .....	43
Tabela 19 - Análise de sensibilidade para mesmo peso entre os critérios .....	43
Tabela 20 - Análise de sensibilidade para peso 50% do rendimento .....	44

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1. Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2. Objetivo específico</b> .....	<b>14</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1. Óleos essenciais</b> .....	<b>17</b>
4.1.1. Óleo essencial de <i>Curcuma Longa L.</i> .....	18
4.1.2. Óleo essencial de <i>Melaleuca alternifolia</i> .....	19
<b>4.2. Métodos de extração dos óleos essenciais</b> .....	<b>20</b>
4.2.1. Destilação por arraste a vapor .....	21
4.2.2. Extração com solventes orgânicos .....	21
4.2.3. Extração por CO <sub>2</sub> supercrítico .....	22
<b>4.3. Sustentabilidade de óleos de origem vegetal</b> .....	<b>24</b>
<b>4.4. Fluido de corte</b> .....	<b>25</b>
<b>4.5. Aditivos de base química para lubrificantes</b> .....	<b>26</b>
<b>4.6. Óleos essenciais como agentes biocidas</b> .....	<b>27</b>
<b>4.7. O método Analytic Hierarchy Process (AHP)</b> .....	<b>29</b>
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1. Fluxograma</b> .....	<b>33</b>
<b>5.2. Modelagem do processo de seleção pelo AHP</b> .....	<b>36</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A manutenção da integridade geométrica dos corpos e o melhor aproveitamento de energia são dois pontos importantes para a operação de sistemas mecânicos. A principal causa da perda de potência desses sistemas é o atrito. Visando mitigar os efeitos do desgaste e dissipação de energia devido ao contato entre as partes do equipamento, substâncias lubrificantes (líquidas ou sólidas) são utilizadas para proteger as superfícies do maquinário (SILVA, et al., 2015).

A lubrificação por meio de produtos ecologicamente corretos apresenta um crescente interesse para o desenvolvimento industrial e econômico mundial, em consequência do conhecimento fornecido por diversos estudos sobre lubrificantes comerciais à base de petróleo acerca do progressivo esgotamento das reservas mundiais de combustíveis fósseis, bem como a preocupação com os impactos ambientais (NOMÈDE-MARTYR et al., 2021).

Os lubrificantes convencionais são compostos de óleo base e aditivos sintéticos para conferir propriedades como oleosidade e lubricidade em condições de regime limítrofe, no qual ocorre atrito severo com altas temperaturas, elevadas cargas e velocidade de deslizamento. Óleos de origem natural desenvolvidos a partir de biomassa vegetal ou animal, podem apresentar melhor desempenho ao atrito e ao desgaste do que alguns óleos minerais (NOMÈDE-MARTYR et al., 2021; SILVA et al., 2015).

A explicação dessa vantagem dos óleos naturais frente aos óleos minerais vem de sua estrutura molecular. O crescente interesse por esses óleos deve-se à sua composição química com moléculas de triacilglicerol formadas por ésteres derivados do glicerol e longas cadeias de ácidos graxos polares. Os ácidos graxos são desejáveis na lubrificação limítrofe por sua capacidade de aderir a superfícies metálicas em função do seu grupo carboxila polar, o qual permanece compactado e cria um filme de monocamada que é eficaz na redução do atrito e desgaste, minimizando o contato metal-metal (REEVES *et. al.*, 2015).

Caso a utilização dos óleos vegetais como óleo base lubrificante na íntegra não seja economicamente viável, a adição de óleos de origem vegetal aos óleos minerais convencionais torna-se uma alternativa razoável com o objetivo de otimizar o desempenho tribológico dos lubrificantes e reduzir o impacto ambiental (NOMÈDE-MARTYR et al, 2021).

A fim de atender as exigências ambientais, há um incentivo às pesquisas que tenham como objetivo encontrar soluções para redução do descarte desses fluidos no meio ambiente por meio do prolongamento de sua vida útil, sem sacrificar seu desempenho técnico e contribuindo para uma manufatura ecologicamente correta (MARCELINO, 2013). Os óleos essenciais apresentam-se como uma alternativa.

A indústria dos óleos essenciais em território brasileiro teve início no século XX (1927) pela extração do óleo de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) com a intenção de substituir a produção franco-guianense que vinha se deteriorando em consequência da intensa exploração da árvore e se agravou ainda mais com a desorganização do comércio europeu em decorrência da guerra ao final da década de 30, colocando o Brasil como uma alternativa por possuir uma enorme riqueza natural e mão de obra barata (BARBOSA, 2013).

Num ranking a nível global de maiores produtores de óleos essenciais, o Brasil possui posição de destaque ao lado de Índia, China e Indonésia, os quais exportam para Estados Unidos e União Europeia. Tal posição deve-se ao fato de que o Brasil é detentor da maior floresta equatorial tropical úmida do mundo, com enorme potencial de, no futuro, tornar-se líder mundial na produção de matérias primas renováveis de interesse sintético ou biológico. Os óleos essenciais estão enquadrados neste contexto, pois constituem um dos grupos de grande importância para diversas indústrias (JACOB, 2016).

Aproximadamente 3000 óleos essenciais são conhecidos e algo em torno de 300 tipos estão disponíveis comercialmente. Os principais componentes dos óleos essenciais são os compostos terpenóides e fenólicos como o eugenol, timol e carvacrol, os quais são responsáveis pela atividade antimicrobiana (DEBIAGI, 2020).

Dos 300 óleos essenciais de importância comercial global, os 18 principais são destacados no quadro 1 (BIZZO, 2009).

Quadro 1 - Os 18 principais óleos essenciais no mercado mundial

<b>Óleo essencial</b>	<b>Espécie</b>
Laranja (Brasil)	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck
Menta japonesa (Índia)	<i>Mentha arvensis</i> L. f. <i>piperascens</i> Malinv. ex Holmes
Eucalipto (tipo cineol)	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill., <i>E. polybractea</i> R.T. Baker e <i>Eucalyptus</i> spp.
Citronela	<i>Cymbopogon winterianus</i> Jowitt e <i>C. nardus</i> (L.) Rendle
Hortelã-pimenta	<i>Mentha x piperita</i> L.
Limão	<i>Citrus limon</i> (L.) N.L. Burm.
Eucalipto (tipo citronela)	<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook.
Cravo-da-índia	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. e L. M. Perry
Cedro (EUA)	<i>Juniperus virginiana</i> L. e <i>J. ashei</i> Buchholz

Lima destilada (Brasil)	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm. & Panz.) Swingle
Spearmint (nativa)	<i>Mentha spicata</i> L.
Cedro (China)	<i>Chamaecyparis funebris</i> (Endl.) Franco
Lavandim	<i>Lavandula intermedia</i> Emeric ex Loisel
Sassafrás (China)	<i>Cinnamomum micranthum</i> (Hayata) Hayata
Cânfora	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl.
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i> L.
Grapefruit	<i>Citrus paradisi</i> Macfady
Patchouli	<i>Pogostemon cablin</i> (Blanco) Benth.

Fonte: Adaptado de Sá, 2017.

A posição do Brasil é garantida, basicamente, pela produção dos óleos essenciais cítricos, obtidos como subproduto da indústria de bebidas (SILVA *et. al.*, 2019). Outros óleos também são produzidos internamente, porém em menor quantidade, destacando-se os óleos de menta, flores, madeira, folhas e sementes. Como consequência da baixa produtividade destes, muitas vezes são importados pelo Brasil (JACOB, 2016).

A partir desse contexto, o presente trabalho visa selecionar um óleo essencial com maior potencial para aplicação em fluidos de corte como agente biocida.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) visando a tomada de decisão sobre qual é o melhor óleo essencial entre Cúrcuma Indiana, Melaleuca e Turmérico para aplicação como aditivo biocida natural em fluido de corte para usinagem sob a óptica dos critérios de preço do produto final, rendimento do óleo essencial extraído da planta e custo de cultivo e produção.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Ressaltar a importância da manufatura sustentável;
- Citar vantagens e desvantagens da utilização de óleos essenciais como agentes biocidas em fluidos de corte;
- Aplicar o método AHP para determinação do óleo essencial mais adequado mediante critérios arbitrados e julgamentos definidos pelo decisor.

### 3. JUSTIFICATIVA

Grande parte do trabalho com óleos de base vegetal concentrou-se na compreensão dos fundamentos dos ácidos graxos saturados e insaturados, com a maior parcela da atenção voltada para o uso de óleos naturais como lubrificantes puros, ácidos graxos como aditivos em óleos minerais e matéria-prima vegetal para lubrificantes quimicamente modificados (REEVES, 2015).

O desenvolvimento e a aplicação de fluidos de corte formam um campo interdisciplinar de estudos incluindo tecnologia de processamento de metais e tribologia (SOARES, 2020).

Os primeiros experimentos envolvendo a utilização de fluidos de corte ocorreu em meados de 1890 com Frederick Taylor usando água como lubrificante (SEIFERT, 2020). Ele observou que sob essa condição seria possível aumentar a velocidade de corte em até 33% sem prejudicar a ferramenta de corte (SOARES, 2020).

O fluido de corte comumente utilizado no processo de fabricação de peças usinadas, é uma substância complexa formada por óleos e aditivos. Os componentes do fluido são nutritivos para microrganismos como as bactérias, que o degradam reduzindo sua qualidade e o tempo de uso. Além do mais, seu descarte sem o tratamento adequado é nocivo ao solo, ar e recursos hídricos (PINTO, 2015).

São exemplos de componentes químicos utilizados como agentes biocidas em fluidos de corte: DBNPA (2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida) e triazina (MARCELINO, 2013). Além dos danos ao meio ambiente, apresentam um risco à saúde humana uma vez que pessoas diretamente expostas podem apresentar dermatoses (BARAZZUTTI; CORRÊA, 2008).

Entre as vantagens do uso dos óleos essenciais como biocidas naturais podem ser citadas a biodegradabilidade, redução na agressão ao meio ambiente durante descarte e maior proteção à saúde dos operadores de máquinas. Por outro lado, óleos essenciais podem apresentar um resultado bastante satisfatório como agente antibacteriano ou qualquer outra função, porém podem não ser efetivos em outras atribuições como na prevenção à oxidação das peças, conforme mostrou o estudo de Marcelino (2013).

O presente trabalho é uma extensão do trabalho realizado por Soares (2020) no que tange a análise da opção pela aplicabilidade do óleo essencial de *Curcuma Longa Linnaeus* como aditivo biocida no fluido de corte para processo de usinagem

na indústria de manufatura. O intuito é compará-lo com os óleos essenciais de *Melaleuca alternifolia* e *Turmeric* em relação à critérios qualiquantitativos estabelecidos com base em dados extraídos da literatura e por empresas que são referência nacional e/ou mundial na produção e comercialização do produto.



## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1. Óleos essenciais**

Os óleos essenciais são produtos do metabolismo secundário das plantas aromáticas, originados em células especiais que podem ser encontrados em flores, folhas, caules, sementes e raízes (PEREIRA, 2006).

Segundo Wolffenbüttel (2011), as plantas produzem os óleos essenciais para sua sobrevivência, atração, autodefesa, proteção contra aumento da temperatura foliar e contra perda de água (MATOS, 2013).

De acordo com Kawase (2013), os óleos essenciais também podem ser definidos como produtos voláteis de origem vegetal obtidos por processos físicos de extração. Podem apresentar-se isoladamente ou misturados entre si. Tais misturas formam compostos complexos, os quais em geral são lipofílicos e apresentam diferentes concentrações de hidrocarbonetos terpênicos, aldeídos, fenóis, álcoois simples, ácidos graxos simples, entre outros (MEDEIROS, 2017).

Estes produtos também podem ser chamados de óleos voláteis ou etéreos, devido à sua aparência oleosa à temperatura ambiente. Todavia, a volatilidade é sua principal característica que o difere dos óleos fixos, os quais são provenientes de misturas lipídicas, obtidos geralmente de sementes. Outra característica importante é o aroma intenso e muitas vezes agradável da maioria dos óleos essenciais que costumam ser solúveis em solventes orgânicos apolares. Sua solubilidade em água é parcial, mas suficiente para aromatizar soluções aquosas, denominadas hidrolatos (PEREIRA, 2006).

Figura 1 - Óleo essencial envasado



Fonte: iCrowdNewswire, 2021.

As substâncias voláteis não apresentam boa estabilidade e evaporam rapidamente quando expostas à temperatura ambiente e sofrem alteração principalmente na presença de calor, umidade, ar, luz e metais. Pouco tempo após a extração, geralmente são incolores ou ligeiramente amarelados, com exceção do óleo essencial de camomila que é azulado devido ao alto teor de azuleno. (MATOS, 2013).

A composição química de cada óleo depende de uma série de fatores relacionadas às especificidades endofoclimáticas do local de plantação, escolha do método de extração do óleo essencial, intensidade luminosa, disponibilidade hídrica, ataque de patógenos e época do ano, por exemplo (MEDEIROS, 2014).

A extração do óleo de diferentes membros de uma mesma planta também pode apresentar composições bem distintas. Essa variação deve-se a existência de diversas estruturas secretoras que estão distribuídas pela planta de forma heterogênea (FERREIRA, 2014).

A literatura aponta que, ao todo, cerca de 20 a 60 componentes em diferentes concentrações podem estar presentes num óleo essencial, o qual é caracterizado com base nos dois ou três componentes de maior concentração numa faixa de 20% a 70% acima em comparação com os demais compostos (SOARES, 2020).

#### 4.1.1. Óleo essencial de *Curcuma Longa L.* / *Turmeric*

A *Curcuma Longa L.*, conhecida no mercado internacional como *Turmeric*, pertence à família *Zingiberaceae* e é uma erva perene, normalmente encontrada em

regiões tropicais e subtropicais, sendo amplamente cultivada nos países asiáticos para ser utilizada como condimento (ASSUNÇÃO, 2016).

O óleo essencial de *Curcuma Longa L.* pode ser extraído com etanol (solvente orgânico). Quando a extração é de rizomas ou folhas também pode influenciar na obtenção de compostos diferente. As folhas produzem óleos com terpinoleno e 1,8-cineol como componentes predominantes e rizomas produzem com alto percentual de  $\alpha$ -turmerona, essas diferenças podem influenciar na atividade biocida desses óleos (SOARES, 2020).

Figura 2 - Rizoma em pó de *Curcuma Longa L.*



Fonte: Dos Santos, 2022.

#### 4.1.2. Óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*

O gênero *Melaleuca*, pertencente à subfamília *Leptospermoideae*. É nativa da costa sudeste da Austrália, conhecida na região como “Tea Tree” (árvore de chá). Possui comprovada ação antimicrobiana contra bactérias e bolores alteradores e/ou patogênicos, alguns vírus, microrganismos resistentes a antibióticos, além de forte atividade repelente contra mosquitos, pulgas, piolhos entre outros (ROMÃO *et. al.*, 2017).

Na extração do óleo essencial da *Melaleuca alternifolia* o rendimento é de aproximadamente 1 a 2% do peso fresco da planta utilizada. A qualidade comercial do óleo essencial de *M. alternifolia* é determinada pelas concentrações dos compostos terpinen-4-ol, e 1,8-cineol. O primeiro componente é responsável pela atividade antimicrobiana sendo que sua concentração no óleo deve ser no mínimo 30%, e o

segundo componente que possui propriedades irritantes à pele, deve ter uma concentração máxima de 15% (ROMÃO *et. al.*, 2017).

#### **4.2. Métodos de extração dos óleos essenciais**

Independente do processo de extração adotado, alguns cuidados devem ser tomados para conservação dos compostos antioxidantes, os quais são sensíveis à luz, calor e oxigênio. É recomendado que os vegetais sejam desidratados, liofilizados ou congelados, e ainda moídos ou peneirados antes de sofrerem o processo de extração do óleo. Dessa maneira, as enzimas lipoxigenase, responsáveis pela rancidez oxidativa enzimática, são desativadas e o substrato passa a ter maior superfície de contato interagindo com o solvente de extração (KAWASE, 2013).

Conforme Tebaldi (2008), os métodos empregados variam de acordo com a localização do óleo volátil na planta e com a proposta de utilização destes.

A determinação do método de extração mais adequado deve levar em consideração a velocidade do processo, o rendimento e a seletividade para os compostos alvo, em função de cada matéria-prima utilizada e produto final desejado. Em escala industrial, características como rapidez e rendimento tem fortes implicações econômicas e são extremamente relevantes na viabilização da implementação do processo na cadeia produtiva (RODRIGUES, 2018).

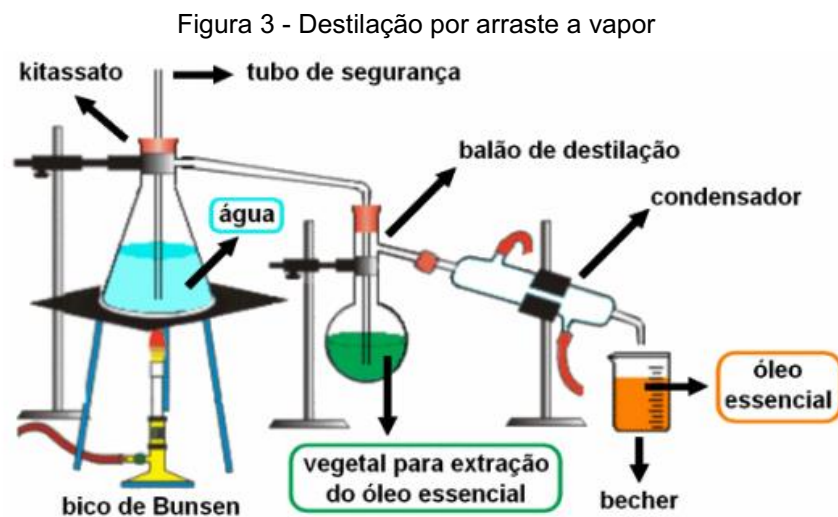
Chemat *et. al.* (2012) define tecnologia de extração ambientalmente correta da seguinte maneira: “Extração verde está baseada na descoberta ou planejamento de processos de extração que reduzirão consumo de energia, permitirão o uso de solventes alternativos e produtos naturais renováveis, e assegurarão um produto/extrato de alta segurança e qualidade”.

Portanto, processos de extração que fazem uso de tecnologias mais atuais na indústria como o que faz uso de CO<sub>2</sub> supercrítico, a extração por solventes orgânicos que permite o uso de etanol, por exemplo, e a própria destilação por arraste a vapor, embora seja mais antiga, é capaz de gerar produtos de alta qualidade uma vez que a matéria-prima tenha sido bem selecionada, são exemplos de tecnologias ecologicamente corretas e são melhor descritas a seguir (RODRIGUES, 2018).

#### 4.2.1. Destilação por arraste a vapor

A destilação a vapor é um processo usado para recuperar os compostos voláteis com ponto de ebulição próximo a partir de uma matriz inerte e complexa, através da utilização de vapor saturado ou superaquecido como um agente de separação e de energia. Este método ocasiona a hidrólise de certos componentes dos óleos essenciais bem como promove sua decomposição pelo calor (KAWASE, 2013).

Em geral, os componentes dos óleos voláteis têm ponto de ebulição muito mais elevados do que o ponto de ebulição da água. Após a destilação, os óleos e a água são imiscíveis e assim são facilmente separados. Uma vez que a difusão na água ocorre lentamente, se as plantas são mantidas intactas, a taxa de recuperação do extrato será completamente determinada pela taxa de difusão de óleos essenciais e água quente através das membranas celulares das plantas (KAWASE, 2013).



Fonte: Google Imagens.

#### 4.2.2. Extração com solventes orgânicos

Segundo Kawase (2013), não existe sistema de extração com solvente que isole satisfatoriamente uma classe específica de antioxidantes naturais devido a vários fatores. Existe uma gama bastante diversificada de compostos bioativos nos vegetais presentes em diferentes quantidades, a natureza química desses compostos varia do simples ao altamente polarizado, além de interagirem com carboidratos, proteínas e outros componentes dos alimentos. Alguns desses complexos, assim como alguns fenólicos de alto peso molecular são altamente insolúveis em água.

Os óleos voláteis são extraídos, preferencialmente, com solventes apolares (éter, diclorometano ou éter de petróleo), os quais inevitavelmente extraem outros compostos além dos óleos essenciais. Por isso, os produtos obtidos por este método raramente possuem valor comercial (TEBALDI, 2008).

Faz-se necessário realizar um processo de evaporação para separar o solvente do óleo essencial (SCHIEDECK, 2011).

Geralmente é utilizado um aparelho denominado Extrator de Soxhlet, ilustrado na figura 4 (LEMES, 2018).

Figura 4 - Aparelho de Soxhlet



Fonte: Prepara Enem, 2021

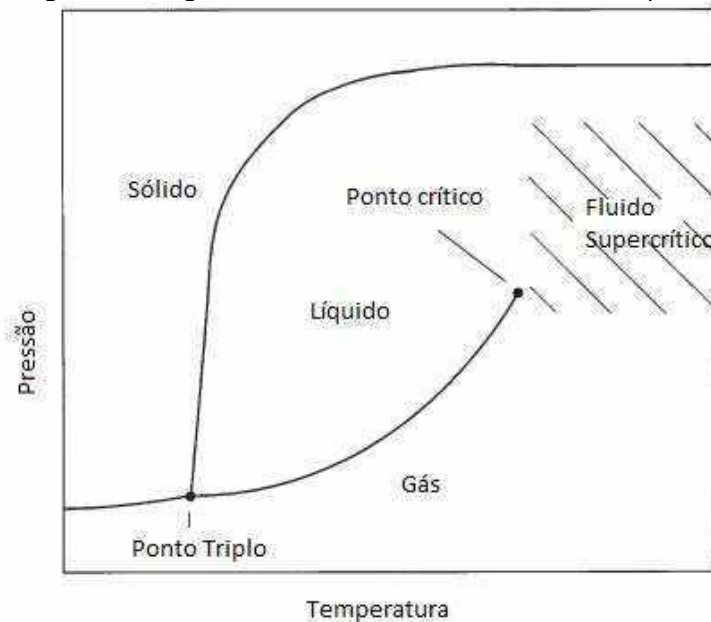
#### 4.2.3. Extração por CO<sub>2</sub> supercrítico

A extração por CO<sub>2</sub> supercrítico é uma tecnologia ambientalmente adequada e é atualmente o método escolhido para extração industrial de óleos voláteis, pois permite recuperar os aromas naturais de vários tipos, não somente dos óleos essenciais de modo bastante eficiente. Nenhum resquício do solvente permanece no produto final, resultando em elevado nível de pureza (TEBALDI, 2008; RODRIGUES, 2018).

De acordo com Santos (2019), um fluido supercrítico é definido como qualquer substância que se encontra acima da sua temperatura e pressão crítica. Estes valores de pressão e temperatura, os quais definem um ponto crítico, são particulares para cada substância. A pressão crítica é a pressão máxima em que um líquido pode ser

convertido em vapor com aumento da temperatura. Já a temperatura crítica é a maior temperatura na qual um vapor pode ser convertido em líquido por um aumento de pressão. Quando estas propriedades da substância se encontram acima dos valores do ponto crítico, ela passa para a condição conhecida como “Estado Fluido Supercrítico”. Na região supercrítica, o fluido apresenta forças maiores em relação a vapores e líquidos, além de apresentar uma fase que possui propriedades intermediárias entre líquido e vapor. Essas condições podem ser traduzidas em difusão facilitada em materiais sólidos, resultando em melhor eficiência nas extrações e também propriedade de transporte otimizada se comparada a líquidos, resultando em taxas de extração mais elevadas.

Figura 5 - Diagrama de fases de uma substância simples.



Fonte: Clifford e Williams (2003).

Para a extração, o CO<sub>2</sub> é comprimido até que seja liquefeito e em seguida é aquecido até atingir temperatura superior a 31°C. Neste nível de temperatura, o CO<sub>2</sub> atinge um estado no qual sua viscosidade é análoga a de um gás, porém sua capacidade de dissolução é elevada se comparada a de um líquido. Ao término da extração, o CO<sub>2</sub> retorna ao estado gasoso, sendo assim completamente eliminado (TEBALDI, 2008).

A desvantagem desse método de extração seria o alto custo dos equipamentos a ponto de se tornar economicamente inviável para produções de baixo rendimento e baixo custo agregado, pois requer utilização de elevadas temperatura e



pressão, além de ocasionalmente englobar um custo adicional devido à utilização de um cossolvente adequado (SANTOS, 2019).

Figura 6 - Equipamento para extração por fluido supercrítico



Fonte: Silveira, 2012

### **4.3. Sustentabilidade de óleos de origem vegetal**

A otimização do aproveitamento dos vegetais representa uma oportunidade de diversificação de fonte de renda para os envolvidos em sistemas de produção agrícola, pois das plantas podem ser extraídos produtos sustentáveis e de potencial inovador. A sustentabilidade visa atender os seguintes três pilares: viabilidade econômica, responsabilidade social e conformidade ambiental (CASTRO, 2017).

A demanda por produtos sustentáveis tem apontado para utilização de óleos de origem vegetal como alternativa aos óleos a base de petróleo (CARDOSO, 2012). Aditivos químicos, além de pertencerem à cadeia produtiva petroquímica com características poluentes e não renováveis (insustentáveis), não são biodegradáveis e possuem elevado índice de carbono, fator que contribui para o efeito estufa do planeta (ORTIZ, 2013).

Entre as aplicações em geral dos óleos essenciais, é possível citar: indústria de cosméticos e perfumaria, medicina (terapias e medicamentos), veterinária, prevenção de mofo e musgos em dutos e paredes (componentes de tintas), tratamento microbiológico de águas, perfuração de poços de petróleo, manutenção de tubulações, trocadores de calor, torres de refrigeração, controle de contaminantes na produção de etanol e biodiesel, uso doméstico e defensivos agrícolas (ORTIZ, 2013).



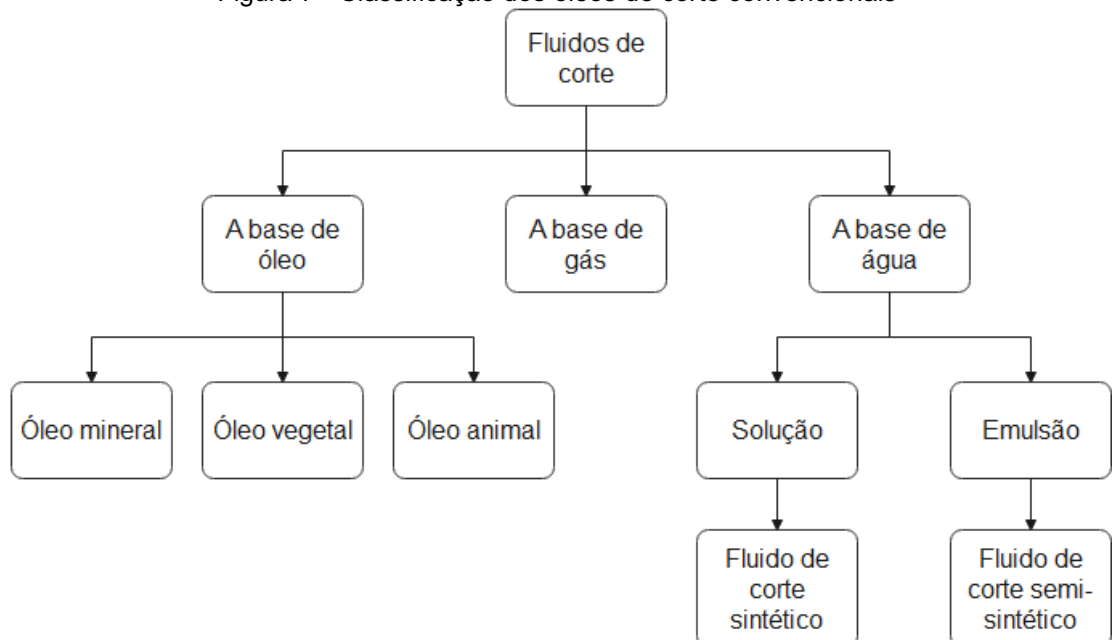
#### 4.4. Fluido de corte

Fluidos de corte são empregados nos processos de fabricação de peças sendo aplicados à zona de retificação com o propósito de mitigar a geração de calor por meio da redução de atrito devido às suas propriedades lubrificantes, refrigerar a superfície de contato entre peça e ferramenta reduzindo a propagação de calor por condução, promover eficiente remoção do cavaco gerado e proteger as partes contra corrosão (MARCELINO, 2013).

Pertencem a uma grande família de lubrificantes devido à vasta gama de processos que demandam a aplicação desses fluidos. Tecnologias atuais exigem fluidos de corte desenvolvidos com funções personalizadas para diversos materiais. São compostos por misturas complexas, onde cada componente cumpre com funções específicas (SOARES, 2020).

Como mostra a figura 7 fluidos de corte convencionais são divididos em três categorias: a base de óleo (mineral, animal ou vegetal), a base de gás e a base de água. Buscando maior eficiência na usinagem, os óleos a base de água são preferencialmente utilizados por favorecerem o resfriamento entre as partes e pelo baixo custo (DESHPANDE, DESHPANDE 2019).

Figura 7 - Classificação dos óleos de corte convencionais



Fonte: Adaptado de Deshpande, Deshpande 2019.

Os fluidos de corte a base de óleo são mais resistentes à corrosão se comparados aos óleos a base de água, pois a fase aquosa é mais suscetível a presença de agentes oxidantes. Em contrapartida, os fluidos a base de óleo são mais limitados quanto à retirada de calor gerado por atrito do que os fluidos a base de água (SEIFERT, 2020).

Também ocorre a utilização de ar comprimido como fluido gasoso, podendo ser dióxido de carbono (MARCELINO, 2013), em operações de desbaste mais pesado para fins de resfriamento (DESHPANDE, DESHPANDE 2019).

Por vezes, um determinado fluido de corte a base de água, por exemplo, não funciona como um refrigerante tão efetivo no processo de remoção de calor por condução e impacta negativamente na usinabilidade das peças (DESHPANDE, DESHPANDE 2019). Para reverter este quadro, os fluidos de corte são cuidadosamente selecionados de modo a serem os mais adequados para o uso, levando em consideração os aditivos químicos de sua composição para atenderem a diversas funções (SOARES, 2020).

#### 4.5. Aditivos de base química para lubrificantes

Em geral, os aditivos para óleos lubrificantes são definidos como tipos especiais de compostos químicos (naturais ou sintetizados) solúveis ou dispersos no óleo base, de composição exata e conhecida, utilizados em concentrações adequadas a fim de atribuir ou eliminar propriedades aos fluidos que dão origem aos lubrificantes e graxas (SILVA, 2015).

Os principais aditivos incorporados aos óleos básicos estão listados no quadro 2:

Quadro 2 - Principais aditivos empregados na formulação de óleos lubrificantes

Aditivo	Função	Composição	Teor típico
1. Antioxidante	retardar a degradação oxidativa do óleo	fenóis bloqueados, aminas aromáticas, ditiofosfato de zinco	<1%peso
2. Melhorador de índice de viscosidade	reduzir a variação da viscosidade com a temperatura	polisobutileno, poliacrilatos, polimetacrilatos	<5%peso
3. Abaixador de ponto de fluidez	reduzir o ponto de fluidez	polimetacrilatos	<1%peso
4. Detergente/dispersante	manter em suspensão os precursores de coque	succinimidas, sulfonatos, fenatos (de bário, magnésio, zinco, etc.)	<5%peso

5. Compostos alcalinos	neutralizar os ácidos derivados da combustão	sulfonatos e fenatos superbásicos	<5%peso
6. Antiespumante	reduzir a tensão superficial, evitando a ferrugem	polímeros de silicone	50 ppm
7. Antiferrugem	formar filme superficial, evitando a ferrugem	ésteres ou ácidos orgânicos e sulfonatos	500 ppm
8. Outros anticorrosivos	evitar a corrosão	ditiofosfatos de zinco e bário, sulfonatos	<1%peso
9. Antidesgaste, extrema pressão e modificadores de atrito	reduzir o desgaste	ditiofosfato de zinco, tricrsil, compostos clorados e sulfurados	<1%peso
10. Biocidas	inibir o desenvolvimento de microorganismos	álcoois, fenóis, compostos clorados	<1%peso

Fonte: Adaptado de Gândara, 2000.

Com foco em reduzir o descarte e, conseqüentemente, prolongar a utilização dos lubrificantes, os aditivos biocidas são utilizados para controlar e combater a contaminação por microrganismos. De acordo com Marcelino (2013), biocida pode ser definido como qualquer substância que contém um ou mais agentes ativos, com capacidade de inibir, reduzir ou erradicar a ação de organismos vivos patogênicos e não patogênicos.

Ademais, em relação ao descarte, Leone (2008) relata que cada litro de fluido à base de óleo mineral é suficiente para contaminar cerca de 1 milhão de litros de água potável, além de que a combinação entre uso de aditivos de base química para aumentar a capacidade de lubrificação e refrigeração somado aos biocidas na formulação, tornam o produto ainda mais agressivo à saúde humana.

O manuseio de óleos e graxas (hidrocarbonetos saturados) é considerado como atividade insalubre em grau máximo segundo a NR 15, pois além desses produtos serem frequentemente responsáveis por dermatoses profissionais, também possuem potencial de desencadear câncer cutâneo em número significativo de pessoas expostas (BARAZZUTTI; CORRÊA, 2008).

#### **4.6. Óleos essenciais como agentes biocidas**

Nos últimos anos, os óleos essenciais tem atraído atenção especial devido à sua importância como agentes biocidas e repelentes de insetos, levando a estudos mais detalhados sobre seu potencial antimicrobiano (PRADO, 2018), como mostra o quadro 3.

Quadro 3 - Óleos essenciais como agentes biocidas em diversas áreas

Aplicações	Nome científico	Nome comum	Referências
Agricultura	<i>Aloysia gratissima</i>	Cidrozinho-do-campo	FRANCIO, I. E. 2020
	<i>Salvia microphylla HBK</i>	Melhoral	
	<i>Ocimum basilicum L.</i>	Manjeriço	
	<i>Tetradenia riparia</i>	Mirra	
	<i>Thymus vulgaris L.</i>	Tomilho	
Aromaterapia	<i>Lavandula officinalis</i>	Lavanda	MATOS, S. dos S. 2013
	<i>Rosa centifolia</i>	Rosa	
	<i>Rosamarinus officinalis</i>	Alecrim	
Biocombustíveis	<i>Moringa oleífera Lam.</i>	Moringa	ALMEIDA, F. N. C. de. 2015
Biolubrificantes			PEREIRA, F. S. G. 2015
Fotovoltaica	<i>Myrcia Sylvatica</i>	Myrcia Sylvatica	AQUINO, C. B. 2018
Indústria alimentícia	<i>Origanum vulgare</i>	Orégano	DEBIAGI, F. et. al. 2020
	<i>Eugenia caryophyllata</i>	Cravo	
	<i>Coriandrum sativum l.</i>	Coentro	PORTO, L. L.; ROSA, L. R. V. 2018
	<i>Salvia officinalis</i>	Sálvia	
	<i>Syzygium aromaticum</i>	Cravo-da-índia	TEBALDI, V. M. R. 2008
Indústria petroquímica	<i>Lippia gracilis Schauer</i>	Alecrim-de-tabuleiro	VIANA, M. G. 2009
Repelente	<i>Cymbopogon winterianus</i>	Citronela	SÁ, P. N. 2017
Tratamento de diabetes	<i>Sesamum indicum</i>	Gergelim	LEMES, M. R. 2018
Tratamento de esgoto	<i>Mentha aquatica</i>	Menta	AVELAR, F. F. 2012

Fonte: Autoria própria.

Apesar de todas as possibilidades de utilização dos óleos essenciais extraídos de espécies vegetais, em geral, seu uso comercial ainda se restringe a itens de higiene pessoal, alimentos e medicamentos. Isso decorre parcialmente da falta de modelagem computacional nos sistemas, um procedimento que auxiliaria na previsão da melhor opção possível de uso para o fluido e explorar todo o seu potencial (PRADO, 2018).

Diante de todas as possibilidades listadas e muitas outras existentes, uma oportunidade foi encontrada para aplicação na metalurgia. Para mitigar os potenciais problemas causados pelo descarte precoce e inadequado dos fluidos de corte, biocidas naturais encontrados nos óleos essenciais das plantas apresentam-se como fonte de origem renovável, são biodegradáveis e ambientalmente sustentáveis (PINTO, 2015).

Autores como Pinto (2015) estudaram a sensibilidade de bactérias isoladas de fluidos de corte vegetal e mineral a óleos essenciais de alfavaca e cravo-da-índia, a fim de compará-los a eficiência de um biocida sintético normalmente utilizado.

Sá (2017) estudou a eficiência dos óleos essenciais de *Ocimum gratissimum*, *Syzygium aromaticum* e *Cymbopogon winterianus* em substituição ao biocida de base química para inibir bactérias possivelmente patogênicas em fluido de corte no sistema de usinagem.

Souza (2019) avaliou 23 óleos essenciais com potencial biocida para aplicação em emulsão usada no processo de usinagem para material Al 7050 T7451 e Ti-6Al-4V.

Soares (2020) analisou a aplicabilidade do óleo essencial de *Curcuma Longa L.* como agente biocida em óleo base vegetal advindo da mesma espécie durante verificação se o fluido de fato atende às especificações para ser aplicado como óleo base em processos de usinagem.

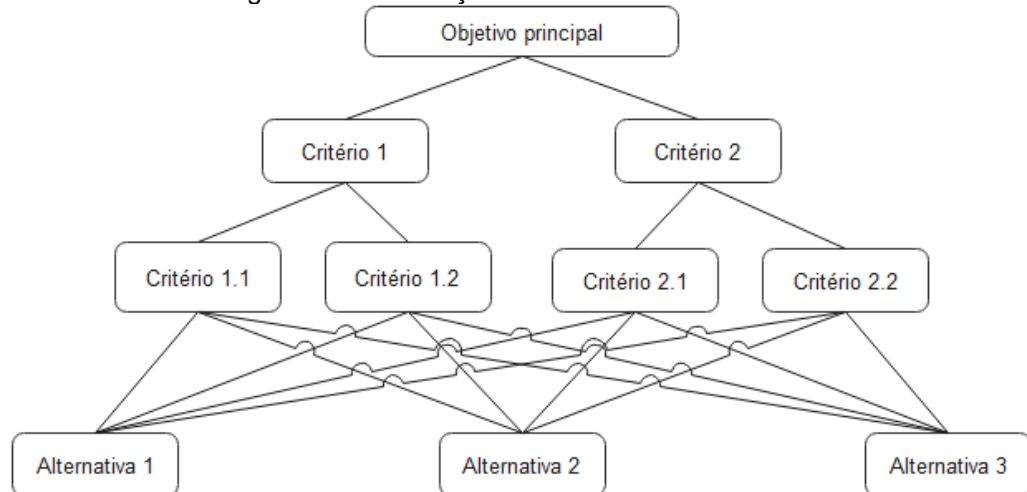
#### **4.7. O método Analytic Hierarchy Process (AHP)**

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um conhecido método multicritério que apoia a tomada de decisão. Foi desenvolvido por Saaty visando resolver problemas complexos a partir da avaliação de critérios subjetivos e objetivos. Ele propõe a quebra de problemas complexos em níveis estratificados, formando a hierarquia como mostra a Figura 8 (DWEIRI, F. et al. 2016).

Conforme comenta Ribeiro e Alves (2016), a aplicação do AHP engloba as seguintes etapas:

- Estruturação dos critérios e alternativas;
- Coleta de julgamentos;
- Cálculo de propriedades;
- Verificação da consistência do julgamento;
- Cálculo das propriedades globais das alternativas.

Figura 8 - Estruturação dos critérios e alternativas



Fonte: Adaptado de Ellwanger, 2013

O objetivo principal de um determinado problema é dividido em avaliações de menor importância ao passo que se mantém a participação dos problemas menores na decisão global. Ou seja, é mais viável dividi-lo em problemas menores até que os problemas específicos possam ser resolvidos. Outro ponto relevante é que um elemento pertencente a um determinado nível não precisa ser critério para um ou todos os elementos em um nível inferior, sendo opcional para quem analisa inserir ou eliminar níveis e elementos que proporcionem uma melhor visualização do sistema (ELLWANGE, 2013).

O modelo em questão funciona como um processo de escolha embasado na lógica de comparação par a par (*pairwise comparison*), no qual diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são comparados entre si e um valor de importância relativa é atribuído, conforme uma escala pré-definida que evidencia a intensidade com que um fator é predominante em relação ao seu par para a tomada de decisão (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

Os julgamentos conceituais são escolhidos e, em seguida, convertidos para a escala numérica conforme sua intensidade de importância, a fim de que seja construída uma matriz. Faz-se necessária a realização de  $(n^2 - n)/2$  comparações, onde  $n$  é o número de elementos comparados (RIBEIRO; ALVES, 2016).

Quadro 4 - Escala de julgamento de Saaty

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Ambos os elementos são de igual importância	Ambos os elementos contribuem com a propriedade de igual forma
2	Fraco ou leve	

3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
4	Mais moderado	
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
6	Importância mais forte	
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
8	Muito, muito forte	
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença

Fonte: Adaptado de Marins *et. al.* 2009; Seifert, 2021.

Com os valores da escala, realiza-se o preenchimento da matriz de critérios. Ela deve satisfazer a relação de reciprocidade, isto é, se X é considerado como tendo peso 3 vezes maior do que Y, logo, Y deve possuir 1/3 da importância de X.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{ij}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \text{ com } a_{ij} \neq 0 \quad (1)$$

Na sequência, são calculadas as propriedades locais e globais. Trata-se de calcular a contribuição relativa de cada elemento da estrutura hierárquica em relação ao objetivo imediato e em relação ao objetivo principal (RIBEIRO; ALVES, 2016). É aplicado o conceito de autovetor, que é a média geométrica da linha e pode ser calculado pela forma a seguir (SEIFERT, 2021).

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, n.$$

Este autovetor é normalizado por meio da divisão do valor do elemento pela soma total de sua respectiva coluna (SEIFERT, 2021).

O próximo passo é calcular o autovalor máximo, no qual cada autovetor representado por  $T$  é multiplicado pela soma das colunas da matriz de comparação  $w$ .

$$\lambda_{m\acute{a}x} = T \times w \quad (3)$$

Em seguida, o índice de consistência (*consistency index*) é calculado.

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Onde,

CI = consistency index;

n = ordem da matrix de critérios.

Por fim, obtém-se a razão de consistência (*consistency ratio*). Saaty estabeleceu que o CR calculado deve ser menor ou igual à 0,10 para que a matriz de julgamento seja classificada como consistente. Caso contrário, a matriz é considerada inconsistente e o julgamento deve ser reavaliado (RIBEIRO; ALVES, 2016).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Onde,

CR = *consistency ratio*;

RI = *random index*.

O índice randômico (RI) representa o índice de consistência de uma matriz recíproca aleatória gerada pelo laboratório de Oak Ridge. Abaixo são apresentados os valores tabelados de RI, para matrizes quadradas de ordem  $n$ , a serem considerados para calcular o CR.

Tabela 1 - Valores dos índices de consistência randômicos

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Adaptado de Saaty 2006.

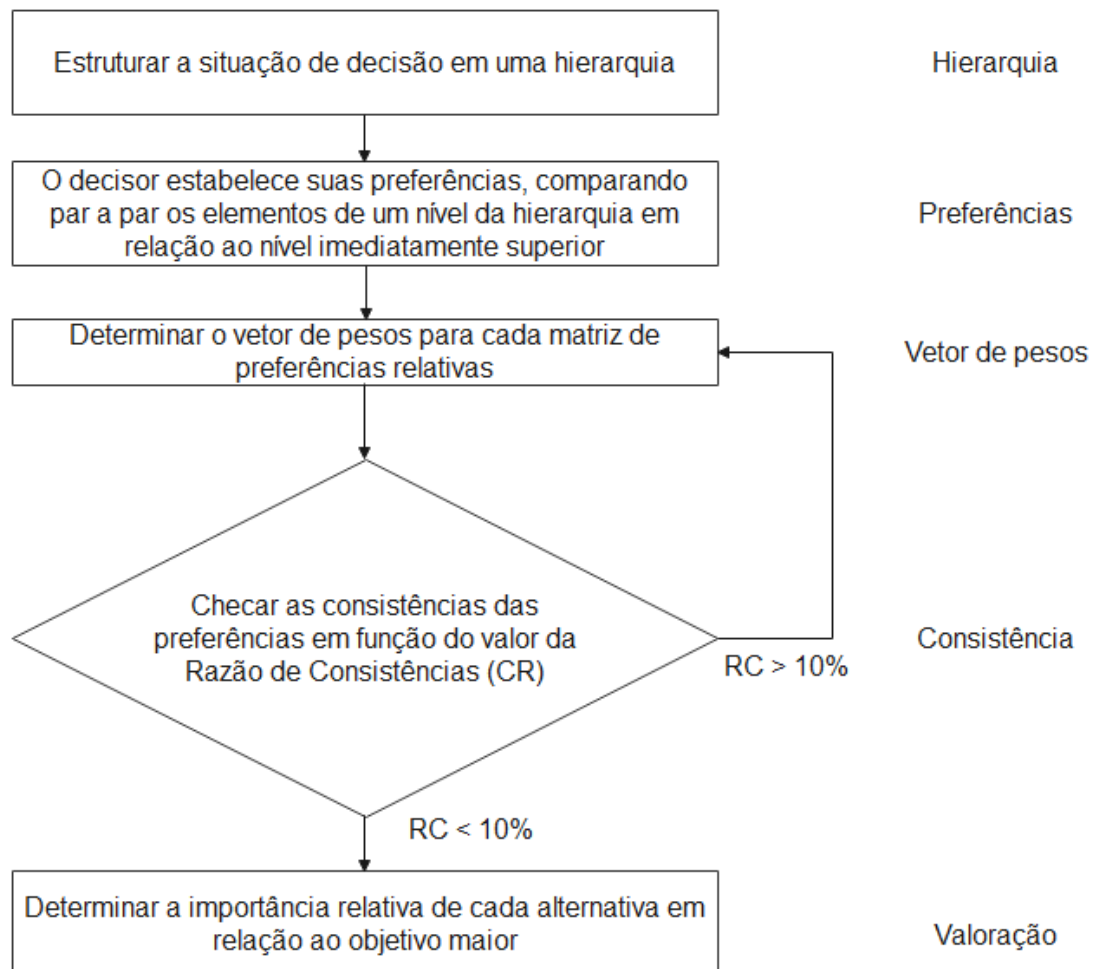


## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Fluxograma

A metodologia empregada no estudo para eleger o melhor óleo essencial a ser sugerido como possível aditivo biocida para fluido de corte em processos de usinagem é ilustrada na Figura 9. Na sequência, cada etapa será melhor descrita.

Figura 9 – Fluxograma geral do método AHP.



Fonte: Oliveira, 2013.

Os óleos essenciais de *Curcuma Longa L.*, *Melaleuca alternifolia* e *Turmeric*, foram obtidos pelo grupo de pesquisa de Manufatura Sustentável da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Londrina* e suas composições químicas foram representadas nas tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 - Composição química do óleo essencial de *Curcuma Indiana*.

TR	Composto	%Area	RI*	RI**(1)
13.93	p-Cymene	0.18	1020	1020
14.22	D-Limonene	0.11	1025	1024
14.34	1,8-Cineole (Eucalyptol)	2.52	1027	1026
37.57	b-Elemene	0.11	1384	1389
38.53	N.I.	0.31	1399	-
39.12	a- cis-Bergamotene	0.65	1409	1411
39.48	a-Santalene	20.03	1415	1416
40.37	a- trans- Bergamotene	4.75	1429	1432
40.94	N.I.	0.24	1438	-
41.15	epi- $\beta$ -Santalene	2.33	1442	1445
41.69	(E)-b-Farnesene	2.05	1451	1454
41.90	b-Santalene	0.59	1454	1457
42.07	a-Acoradiene	0.21	1457	1464
43.08	g-Himachalene	0.35	1473	1476
43.30	Ar-Curcumene	16.53	1477	1479
43.43	(Z,E)-a-Farnesene,	2.43	1479	1481 <sup>(2)</sup>
44.15	a-Zingiberene	0.97	1491	1493
44.54	(Z)-a-Bisabolene	0.18	1497	1503
44.95	b-Bisabolene	10.30	1504	1505
45.84	b- Sesquiphellandrene	5.44	1519	1521
48.88	N.I.	3.51	1571	-
49.61	N.I.	3.87	1584	-
50.06	cis- $\beta$ -Elemenone	0.15	1592	1589
50.25	N.I.	0.57	1595	-
53.43	N.I.	1.37	1652	-
53.76	Ar-tumerone	10.31	1657	1664
55.05	N.I.	0.48	-	-
55.19	Germacrone	0.95	1684	1693
55.81	Curlone	1.00	1695	1701 <sup>(3)</sup>
58.04	N.I.	0.65	1737	-
59.65	N.I.	1.09	1767	-
68.56	N.I.	0.31	1952	-

\* Valores de RI obtidos;

\*\* Valores de RI Literatura.

Fonte: Adams, 2007; Courtois *et. al.* 2009; Zaibunnisa *et. al.* 2009.

Tabela 3 - Composição química do óleo essencial de Melaleuca.

TR	Composto	%Area	RI*	RI**(1)
8.82	a-Thujene	0.57	922	924
9.15	a-Pinene	2.44	929	932
11.32	b-Pinene	0.66	973	974
12.03	Myrcene	0.55	987	988

Tabela 3 - Composição química do óleo essencial de Melaleuca.

TR	Composto	%Area	RI*	RI**(1)
12.90	a-Phellandrene	0.34	1004	1002
12.90	a-Phellandrene	0.34	1004	1002
13.53	a-Terpinene	6.65	1014	1014
13.96	o-Cymene	10.32	1021	1022
14.26	Limonene	1.42	1026	1024
14.38	1,8-Cineole (Eucalyptol)	2.69	1028	1031
16.05	g-Terpinene	17.34	1055	1054
17.73	Terpinolene	2.70	1082	1086
17.99	p-Cymenene	0.13	1086	1089
23.97	Terpinen-4-ol	39.85	1177	1174
24.89	a-Terpineol	1.90	1191	1186
36.62	a-Copaene	0.21	1369	1374
38.58	a-Gurjunene	0.44	1400	1409
39.26	(E)-Caryophyllene	0.54	1411	1419
40.44	Aromadendrene	1.52	1430	1439
41.46	a-Humulene	0.12	1447	1452
41.74	Alloaromadendrene	0.65	1451	1460
42.57	N.I.	0.58	1465	-
43.51	N.I.	0.39	1482	-
43.74	Viridiflorene	1.23	1484	1492
44.26	a-Muurolene	0.28	1493	1500
45.44	d-Cadinene	1.77	1512	1513
45.55	cis-Calamenene	0.30	1514	1523
45.65	d-Cadinene	0.32	1516	1523
46.19	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahydro- 1,6-dimethyl-4-(1- methylethyl)-	0.29	1525	1528
52.48	Cubenol	0.51	1635	1637

\* Valores de RI obtidos;

\*\* Valores de RI Literatura

Fonte: Adams, 2007.

Tabela 4 - Composição química do óleo essencial de *Turmeric*.

TR	Composto	%Area	RI*	RI**(1)
9.15	a-Pinene	0.96	929	936
9.91	Camphene	0.13	944	946 <sup>(2)</sup>
12.90	a-Phellandrene	1.04	1004	1004
13.96	m-Cymene	1.08	1021	1022
14.26	Limonene	0.89	1026	1030
14.40	1,8-Cineole (Eucalyptol)	3.33	1028	1032
39.41	a-Santalene	1.12	1414	1422
41.69	b-Farnesene, (E)-	0.36	1451	1456

Tabela 4 - Composição química do óleo essencial de *Turmeric*.

TR	Composto	%Area	RI*	RI**(1)
43.23	Ar-Curcumene	6.58	1476	1482
44.14	a-Zingiberene	4.38	1491	1495
44.90	b-Bisabolene	1.48	1503	1508
45.81	b-Sesquiphellandrene	8.34	1519	1524
48.85	N.I.	0.82	1571	-
49.11	N.I.	0.69	1575	-
52.34	N.I.	0.73	1632	-
53.75	Ar-Turmerone	30.46	1658	1668
54.04	Tumerone	12.35	1663	-
55.80	Curmone	12.33	1695	-
58.00	N.I.	1.02	1736	-
59.64	N.I.	2.15	1767	-

\* Valores de RI obtidos;

\*\* Valores de RI Literatura

Fonte: Babushok, *et. al.* 2011; Adams, 2007.

Embora o trabalho tenha trazido como informação quais são os principais métodos de extração dos óleos essenciais, a obtenção destes não fez parte do escopo deste estudo.

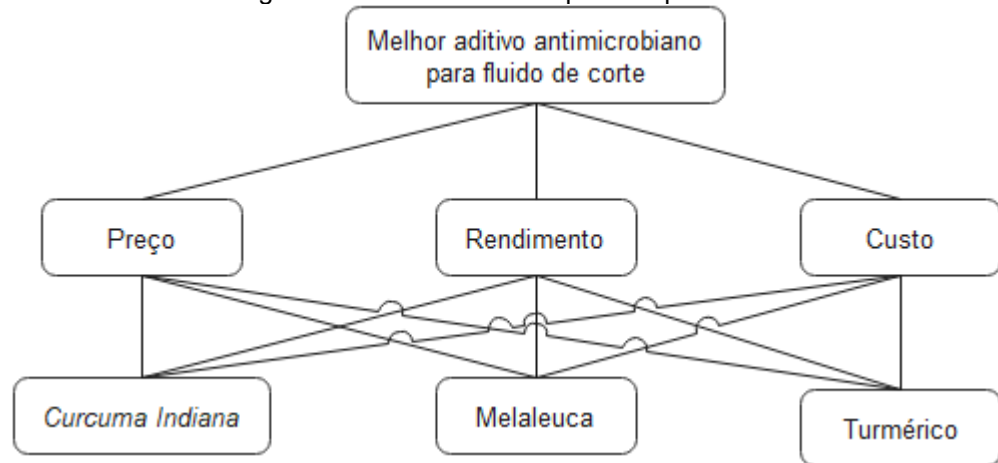
A fim de atender ao objetivo principal deste trabalho, optou-se pelo uso do método AHP por se tratar de um método com elevado grau de confiabilidade e por ser largamente utilizado na literatura para seleção via atributos simples.

## 5.2. Modelagem do processo de seleção pelo AHP

Esta seção descreve os passos da aplicação do método AHP. O método enquadrou-se bem à problemática em função das facilidades oferecidas, tais como a medição do grau de contribuição de cada critério para o objetivo principal, a estruturação de critérios quantitativos empregados de maneira combinada e a geração do ranking final das alternativas.

Na primeira etapa, o problema foi estruturado em níveis hierárquicos, onde a seleção do melhor aditivo antimicrobiano para fluido de corte foi colocada no topo como sendo o objetivo geral. Logo abaixo, encontram-se os critérios definidos de forma arbitrária pelo decisor: rendimento da extração de óleo essencial, custo de produção e preço do produto final. Por fim, os tipos de óleos essenciais na base da estruturação representando as alternativas.

Figura 10 - Estrutura hierárquica do problema



Fonte: Autoria própria.

Na segunda etapa foram atribuídos os valores conforme escala de julgamento de Saaty para cada um dos critérios. Os valores numéricos que indicam os níveis de importância foram escolhidos de acordo com a percepção do autor do trabalho e servirão como ponto de partida para os cálculos subsequentes. Os dados de cada um dos critérios são provenientes de consultas na literatura disponível e pesquisas em sites especializados na comercialização desses produtos.

Os preços para os óleos essenciais com mais elevado grau de pureza encontrados no mercado de um fabricante que faz uso do processo CPTG® (Certificado de Pureza Testada e Garantida) são apresentados abaixo:

- Óleo essencial Turmeric: R\$213,00 (15 mL);
- Óleo essencial Melaleuca: R\$144,00 (15 mL);
- Óleo essencial Curcuma: R\$213,00 (15 mL).

Da literatura, foram extraídos os seguintes dados referentes ao critério rendimento do óleo essencial extraído:

Tabela 5 - Dados de rendimento das espécies

	<b>Rendimento [%]</b>	<b>Fonte</b>
Turmeric	1,41	ASSUNÇÃO, 2016
Melaleuca	1,34	ROMÃO <i>et. al.</i> , 2017
Curcuma Indiana	2,8	NAGHETINI, 2006

Fonte: Autoria própria.

Para os custos de cultivo e produção, foram levantados os seguintes valores a partir da literatura:

Tabela 6 - Dados de custo de cultivo e produção do óleo essencial das espécies

	<b>Custo de produção</b>		<b>Fonte</b>
Turmeric	R\$	9.659,00	BEGNINI et al., 2002
Melaleuca	R\$	3.414,13	CASTRO, C.et. al., 2005
Curcuma Indiana	R\$	15.000,00	CAETANO, 2011

Fonte: Autoria própria.

Com auxílio do *software* Microsoft Excel®, as três últimas etapas (cálculo de prioridades locais, verificação de consistência do julgamento e cálculo das prioridades globais das alternativas) foram cumpridas.

Tendo sido elencados três critérios, conseqüentemente, a matriz de decisão é uma matriz quadrada de ordem três. Valendo-se da comparação par a par, a avaliação dos critérios está representada pela tabela 7 conforme escala de Saaty (2006).

Tabela 7 - Matriz de decisão

Critérios	<b>Preço</b>	<b>Rendimento</b>	<b>Custo</b>
<b>Preço</b>	1	1/3	1/6
<b>Rendimento</b>	3	1	1/4
<b>Custo</b>	6	4	1

Fonte: Autoria própria.

Para quantificar e ranquear as prioridades de acordo com o grau de importância estabelecido, etapas intermediárias como a soma das colunas da matriz e sua normalização são necessárias.

Tabela 8 – Avaliação dos critérios

Critérios	<b>Preço</b>	<b>Rendimento</b>	<b>Custo</b>
<b>Preço</b>	1	1/3	1/6
<b>Rendimento</b>	3	1	1/4
<b>Custo</b>	6	4	1
<b>Soma</b>	10,000	5,333	1,417

Fonte: Autoria própria.

A normalização é dada pela divisão de cada elemento da matriz pelo valor da soma de sua respectiva coluna.

Tabela 9 - Normalização da matriz pareada

Critérios	Preço	Rendimento	Custo
<b>Preço</b>	0,100	0,063	0,118
<b>Rendimento</b>	0,300	0,188	0,176
<b>Custo</b>	0,600	0,750	0,706

Fonte: Autoria própria.

Finalizando esse passo, é calculado o autovetor da matriz, o qual representa numericamente e permite classificar os critérios conforme sua representatividade de importância para o problema geral.

Tabela 10 - Autovetor

Critérios	Preço	Rendimento	Custo	Prioridades
<b>Preço</b>	0,100	0,063	0,118	9,34%
<b>Rendimento</b>	0,300	0,188	0,176	22,13%
<b>Custo</b>	0,600	0,750	0,706	68,53%

Fonte: Autoria própria.

Da tabela acima, nota-se que o critério custo é tido como o mais importante (0,6853 ou 68,53%), seguido pelo critério rendimento da extração do óleo (0,2213 ou 22,13%) e o critério preço foi considerado o menos importante entre os selecionados (0,0934 ou 9,34%).

O nível de consistência é verificado para reduzir as incertezas e analisar os desvios. É calculada a razão de consistência (CR), por meio da comparação do índice de consistência (CI) da matriz de decisão com o índice randômico (RI), a fim de obter uma estimativa da aceitação da matriz.

Para efeito de visualização, o vetor prioridade foi transposto junto à matriz de decisão.

Tabela 11 - Pesos dos critérios

Critérios	Preço	Rendimento	Custo
<b>Preço</b>	1	1/3	1/6
<b>Rendimento</b>	3	1	1/4
<b>Custo</b>	6	4	1
<b>Prioridades</b>	9,34%	22,13%	68,53%

Fonte: Autoria própria.

Na sequência, cada elemento da matriz é multiplicado pelo valor de prioridade de sua respectiva coluna. Um valor de soma de cada linha é obtido.

Tabela 12 - Somatório dos pesos dos critérios

Critérios	Preço	Rendimento	Custo	Soma dos pesos
<b>Preço</b>	0,093	0,074	0,114	0,281
<b>Rendimento</b>	0,280	0,221	0,171	0,673
<b>Custo</b>	0,560	0,885	0,685	2,131

Fonte: Autoria própria.

O elemento  $\lambda_{\text{máx}}$  da equação do índice de consistência é obtido por meio da razão entre a soma dos pesos pelo vetor prioridade. Os resultados de cada linha são somados e divididos pela ordem da matriz.

Tabela 13 - Cálculo do  $\lambda_{\text{máx}}$ 

Soma dos pesos	Prioridades	Resultado
0,281	0,093	3,013
0,673	0,221	3,040
2,131	0,685	3,109
<b>Soma</b>		9,162
<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>		3,054

Fonte: Autoria própria.

Portanto, a partir da equação 4, o índice de consistência é:

$$CI = \frac{3,054 - 3}{3 - 1} = 0,027$$

Com CI calculado e conhecendo RI fornecido pela tabela de valores do índice de consistência randômico de Saaty, chegou-se ao valor da razão de consistência.

$$CR = \frac{0,027}{0,58} = 0,047$$

Tabela 14 - Síntese dos valores dos elementos

<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	3,054
<b>CI</b>	0,027
<b>RI</b>	0,580
<b>CR</b>	0,047

Fonte: Autoria própria.



Valores de CR de até 10% não violam o diagrama de Pareto, logo, são aceitáveis. Como a consistência calculada foi de 4,7%, indica que as comparações são válidas e o método de análise pode avançar sem demandar uma revisão dos critérios.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez que os critérios de comparação foram validados, foi dada sequência aos cálculos das prioridades gerais do problema em questão.

Analogamente aos passos que foram seguidos na seção anterior para cálculo de cada um dos elementos para chegar ao valor de CR, durante a fase final foram montadas matrizes de decisão individuais para cada critério, onde cada um destes foi comparado par a par entre as alternativas.

Da análise para o critério preço:

Tabela 15 - Razão de consistência para o critério preço

Preço	Turmeric	Melaleuca	Curcuma Indiana	Prioridades
<b>Turmeric</b>	1	1/6	1/2	0,099
<b>Melaleuca</b>	6	1	7	0,751
<b>Curcuma Indiana</b>	2	1/7	1	0,150
Soma				9,246
$\lambda_{\text{máx}}$				3,082
CI				0,041
CR				0,071

Fonte: Autoria própria.

Para o critério rendimento da extração de óleo essencial:

Tabela 16 - Razão de consistência para o critério rendimento

Rendimento	Turmeric	Melaleuca	Curcuma Indiana	Prioridades
<b>Turmeric</b>	1	3	1/7	0,155
<b>Melaleuca</b>	1/3	1	1/9	0,069
<b>Curcuma Indiana</b>	7	9	1	0,777
Soma				9,246
$\lambda_{\text{máx}}$				3,082
CI				0,041
CR				0,071

Fonte: Autoria própria.

Por fim, para o critério custo de produção:

Tabela 17 - Razão de consistência para o critério custo de produção

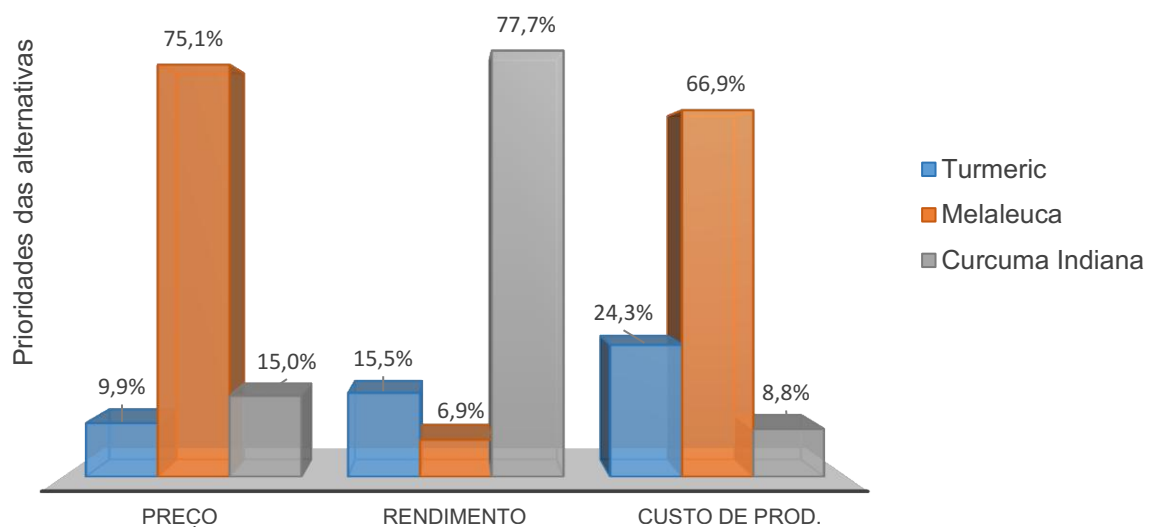
Custo de prod.	Turmeric	Melaleuca	Curcuma Indiana	Prioridades
<b>Turmeric</b>	1	1/3	3	0,243
<b>Melaleuca</b>	3	1	7	0,669
<b>Curcuma Indiana</b>	1/3	1/7	1	0,088
Soma				9,021
$\lambda_{\text{máx}}$				3,007
CI				0,004
CR				0,006

Fonte: Autoria própria.

Haja vista que os CRs calculados foram menores do que 0,1, os julgamentos foram consistentes.

Destaca-se também o fato de que para o critério preço, há uma preferência pelo óleo essencial de Melaleuca alternifolia (75,10%). Em relação ao rendimento da extração do óleo volátil, há preferência pela Curcuma Indiana (77,70%) com grande destaque frente às demais. E para o critério custo de produção, a preferência novamente é pela Melaleuca alternifolia (66,90%) devido ao menor valor despendido para cultivo e produção do óleo essencial.

Figura 11 - Prioridade das alternativas para cada critério



Fonte: Autoria própria.

Com foco no objetivo geral de ranquear a melhor opção dentre os critérios adotados de óleo essencial para uso como agente biocida em fluidos de corte, realizou-se a multiplicação de cada percentual de prioridade obtido de cada alternativa pelo peso calculado de cada critério.

Tabela 18 - Resultado do objetivo global

Melhor aditivo biocida	Preço	Rendimento	Custo	Prioridade
Peso dos critérios	0,093	0,221	0,685	
<b>Turmeric</b>	0,099	0,155	0,243	0,210
<b>Melaleuca</b>	0,751	0,069	0,669	0,544
<b>Curcuma Indiana</b>	0,150	0,777	0,088	0,246

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que num cenário em que foi atribuído um peso de 68,50% de importância para o critério custo de cultivo e produção, 22,10% de relevância para o critério rendimento na extração do óleo essencial e 9,30% para o critério preço, o óleo essencial recomendado para a aplicação como agente biocida em fluidos de corte é o proveniente da espécie *Melaleuca alternifolia* (54,40%), seguido pelo óleo essencial de *Curcuma Indiana* (24,60%) e o menos recomendado seria o *Turmeric* (21,00%).

Fazendo-se uma análise de sensibilidade por meio da simulação de um cenário onde todos os critérios possuem o mesmo peso, isto é, mesmo nível de importância, tem-se o seguinte panorama:

Tabela 19 - Análise de sensibilidade para mesmo peso entre os critérios

Melhor aditivo biocida	Preço	Rendimento	Custo	Prioridade
Peso dos critérios	0,333	0,333	0,333	
<b>Turmeric</b>	0,099	0,155	0,243	0,166
<b>Melaleuca</b>	0,751	0,069	0,669	0,496
<b>Curcuma Indiana</b>	0,150	0,777	0,088	0,338

Fonte: Autoria própria.

Nesta perspectiva, a opção pela aplicação dos óleos essenciais continuaria obedecendo a mesma sequência citada anteriormente, porém com uma disparidade menor entre o primeiro e segundo colocados.

Uma outra possível análise de sensibilidade seria simular que o critério rendimento é tido como mais relevante frente aos demais com peso de 50% e os outros com 25% cada.

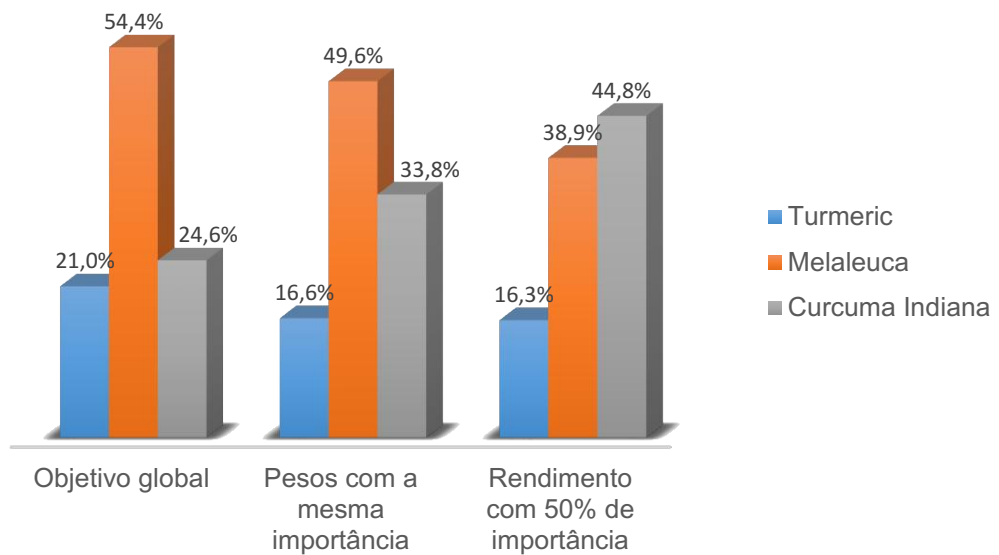
Tabela 20 - Análise de sensibilidade para peso 50% do rendimento

Melhor aditivo biocida	Preço	Rendimento	Custo	Prioridade
Peso dos critérios	0,250	0,500	0,250	
<b>Turmeric</b>	0,099	0,155	0,243	0,163
<b>Melaleuca</b>	0,751	0,069	0,669	0,389
<b>Curcuma Indiana</b>	0,150	0,777	0,088	0,448

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que este cenário favorece a recomendação de aplicação do óleo essencial de Curcuma Indiana (44,80%), seguido pela Melaleuca alternifolia (38,90%) e, por fim, Turmeric (16,30%).

Figura 12 - Resultado do problema global e análises de sensibilidade



Fonte: Autoria própria.

## 7. CONCLUSÃO

O método AHP, por ser considerado um método confiável e largamente utilizado na literatura para seleção de atributos simples, foi aplicado para resolução do problema de tomada de decisão envolvendo a escolha óleo essencial mais adequado a ser desenvolvido como aditivo biocida para fluidos de corte entre as opções *Curcuma Indiana*, *Melaleuca alternifolia* e *Turmeric*.

As prioridades locais foram arbitradas pelo autor, confrontadas par a par entre si e ranqueadas na seguinte ordem de importância de acordo com o resultado das comparações: custo de cultivo e produção, rendimento da extração do óleo e preço do produto final. O critério custo teve esse destaque em virtude de sua versatilidade, pois muitas oportunidades de melhoria podem ser identificadas, trazendo reduções significativas nos gastos e com impacto em parâmetros como o próprio preço final do produto, tornando-o mais competitivo para o mercado.

A decisão final mostrou que o óleo essencial preferencialmente recomendado para uso no desenvolvimento do aditivo biocida é o proveniente da espécie *Melaleuca alternifolia*. Analisando-se dois cenários alternativos, conforme matriz de julgamentos estabelecida, se todos os critérios tivessem o mesmo peso de importância, a recomendação continuaria sendo o óleo essencial de *Melaleuca*. Todavia, atribuindo maior peso ao rendimento do óleos essencial durante a extração diante da mesma matriz de julgamentos, o ranking seria liderado pela *Curcuma Indiana*.

A análise hierárquica foi essencial para conferir maior clareza na definição do objetivo a ser alcançado e no entendimento de algumas preferências entre alguns atributos em detrimento de outros, com apoio do registro de todo processo relacionado a essa escolha, permitindo fornecer justificativas em torno das alternativas escolhidas.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, R.P., **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**, ed. 4.1, An electronic version of the original 4th ed. printed by Allured publishing, 2007. ed. 4.1, 30 Jan. 2017.
- ALMEIDA, F. N. C. de. **Estudo do processo de extração do óleo da semente de *Moringa oleífera* LAM. visando a produção de biodiesel**. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3757>>. Acesso em: 1 de fev. 2021.
- AQUINO, C. B. **Desenvolvimento de biolubrificantes a base de óleo de moringa**. 2018. 68 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em <[https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/7752/1/DesenvolvimentodeBiolubrificantes\\_Aquino\\_2018.pdf](https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/7752/1/DesenvolvimentodeBiolubrificantes_Aquino_2018.pdf)>. Acesso em: 14 de fev. 2021.
- ASSUNÇÃO, J. S. de. **Óleos Essenciais da *Curcuma longa* L.: Desenvolvimento de Nanoemulsões, estudo da Atividade Celular e Atividade Antibacteriana**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia) - Universidade Federal do Acre. Disponível em: <<http://www2.ufac.br/cita/dissertacoes/2016/josy-soares-de-assuncao.pdf>>. Acesso em: 06 de mar. 2022.
- AVELAR, F. F. **Performance of constructed wetland systems planted with *Mentha aquatica* in the treatment of sewage**. 2012. 80 f. Tese (Doutorado em Construções rurais e ambiência; Energia na agricultura; Mecanização agrícola; Processamento de produ) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/handle/123456789/715>>. Acesso em: 3 de abr. 2022.
- BABUSHOK, V. I. *et. al.* Retention Indices for Frequently Reported Compounds of Plant Essential Oils, **Journal of Physical Chemistry Reference Data**, 2011, . 40 (4), 043101-1 - 043101-47.
- BARBOSA, R. C., LOBATO, L. J. **Obtenção de óleos essenciais, comparação de processos e elaboração de uma planta didática**. 2013. 24 f. Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.univap.br/dados/000004/000004a5.pdf>>. Acesso em: 30 de jan. 2021.
- BARAZZUTTI, L. D., CORRÊA, P. R. Programa de prevenção de riscos ambientais. **Safety Job**. Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <[https://progep.furg.br/arquivos/ppra/E\\_2008\\_DOCUMENTO\\_BASE\\_1.PDF](https://progep.furg.br/arquivos/ppra/E_2008_DOCUMENTO_BASE_1.PDF)>. Acesso em: 2 de nov. 2021.
- BEGNINI, E., *et al.* **Projeto de processamento e comercialização de Açafrão**. 2002. Disponível em: <[http://www.sgc.goias.gov.br/upload/links/arq\\_662\\_Acafrao.pdf](http://www.sgc.goias.gov.br/upload/links/arq_662_Acafrao.pdf)>. Acesso em: 17 de mar. 2022.
- BIZZO, H. R. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas, **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009. Disponível em: <

[http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=309](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=309)>. Acesso em: 12 de jan. 2021.

CAETANO, M. Açafirão, o ouro da terra do Centro-Oeste. **G1**, Mara Rosa, 7 de nov. de 2011. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI270195-18281,00-ACAFRAO+O+OURO+DA+TERRA+DO+CENTROOESTE.html>>. Acesso em: 18 de mar. 2022.

CARDOSO, K. P. **Óleo de Pinhão-manso e fluido de corte emulsionável: estabilidade oxidativa e propriedades lubrificantes**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica na Área de Materiais e Processos de Fabricação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://www.bdata.bibl.ita.br/tesesdigitais/63978.pdf>>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

CARVALHO R. R. M. C. de; SILVA A., A. da. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 270–281, 2016. DOI: 10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/988>. Acesso em: 24 de fev. 2022.

CASTRO, C. de. *et. al.* Análise econômica do cultivo e extração de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Sociedade de Investigações Florestais**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.241-249, 2005. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/15893/1/a07v29n2.pdf>>. Acesso em: 17 de mar. 2022.

CASTRO, R. P. **Desenvolvimento de bioprodutos inovadores derivados da moringa (*Moringa oleífera Lamarck*)**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência, Tecnologia e Inovação) – Escola de Ciências e Tecnologias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/24340>>. Acesso em: 6 de mar. 2021.

CHEMAT, F.; VIAN, M.A.; CRAVOTTO, G. Green extraction of natural products: concept and principles. **International journal of molecular sciences**, v. 13, n. 7, p. 8615-8627, 2012.

CLIFFORD, A. A.; WILLIAMS, J. R. Introduction to Supercritical Fluids and Their Applications. **Supercritical Fluid Methods and Protocols**. [S. l.: s.n.], 2003. v. 13. p. 1–16.

COURTOIS, E.A. *et. al.* Diversity of the volatile organic compounds emitted by 55 species of tropical trees: a survey in French Guiana, **Journal of Chemistry Ecology**, 2009, 35 (11), 1349-1362.

DEBIAGI, F. *et. al.* Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de orégano e cravo frente a patógenos alimentares. **Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 41, n. 1, p. 3 – 12, jan./jun. 2020. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/view/36653/27312>>. Acesso em: 14 de fev. 2021.

DESHPANDE, S.; DESHPANDE, Y. A Review on Cooling Systems Used in Machining Processes. **Materials Today: Proceedings**, 9th International Conference of Materials Processing and Characterization, ICMPC-2019. v. 18, p. 5019–5031, 1 jan. 2019.

DOS SANTOS, V. S. "Cúrcuma"; **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/saude/curcuma.htm>>. Acesso em 05 de março de 2022.

DWEIRI, F., *et. al.* Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. **Expert Systems with Applications**, 62, 273–283, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417416303104#:~:text=AHP%20is%20a%20common%20multi,1%20below>>. Acesso em: 24 de fev. 2022.

ELLWANGE, C. *et. al.* Aplicação do Método AHP para Avaliação da Usabilidade de Sistemas. **Human Factors in Design**, Florianópolis, v. 2, n. 3, p. 4 - 19, 2013. Disponível em: <<https://www.revistas.udesc.br/index.php/hfd/article/view/5652>>. Acesso em: 5 mar. 2022.

Extração de óleos essenciais das plantas. **Prepara Enem**, c2021. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/quimica/extracao-oleos-essenciais-das-plantas.htm>>. Acesso em: 01 de mai. 2021.

FERREIRA, A. R. A. **Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2014. Disponível em: <[https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/4513/1/PPG\\_21290.pdf](https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/4513/1/PPG_21290.pdf)>. Acesso em: 14 de fev. 2021.

FRANCIO, I. E. **Atividade antioxidante e antifúngica de óleos essenciais frente a *Alternaria alternata***. 2020. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5153>>. Acesso em: 2 de abr. 2022.

GÂNDARA, G. M. F. **Óleos lubrificantes minerais: Uma análise das potencialidades da reutilização**. 2000. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, 2000. Disponível em: <[http://iepapp.unimep.br/biblioteca\\_digital/pdfs/docs/25052012\\_165835\\_gustavo\\_morini\\_ferreira\\_gandara.pdf](http://iepapp.unimep.br/biblioteca_digital/pdfs/docs/25052012_165835_gustavo_morini_ferreira_gandara.pdf)>. Acesso em: 7 de out. 2021.

iCrowdNewswire. **Mercado de Óleos Essenciais 2021-26: Tendências da indústria, Participação, Tamanho, Crescimento e Relatório de Pesquisa**. Disponível em: <<https://icrowdpt.com/2021/10/06/mercado-de-oleos-essenciais-2021-26-tendencias-da-industria-participacao-tamanho-crescimento-e-relatorio-de-pesquisa/>>. Acesso em: 06 de mar. 2022.

JACOB, R. G. *et. al.* Óleos essenciais como matéria-prima sustentável para o preparo de produtos com maior valor agregado. **Revista Virtual Química**, Pelotas, v. 9, n. 1, dez. 2016. Disponível em: <<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/JacobNoPrelo.pdf>>. Acesso em: 31 de jan. 2021.



JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. O. Método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 23, p. 4-26, 2012. DOI: 10.7154/RDG.2012.0023.0001. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47203>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

KAWASE, K. Y. F. **Obtenção, caracterização e aplicação do óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.)**. 2013. 158 f. Tese (Doutorado Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://186.202.79.107/download/obtencao-caracterizacao-e-aplicacao-de-oleo-essencial-de-oregano.pdf>>. Acesso em: 8 de fev. 2021.

LEMES, M. R. **Extração do Óleo Essencial de Gergelim**. 2018. 37 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20608/5/ExtracaoOleoGergelim.pdf>>. Acesso em: 01 de mai. 2021.

LEONE, A., et al. *Moringa Oleifera* Seeds and Oil: Characteristics and Uses for Human Health. **Internacional Journal of Molecular Sciences**, 2016, v. 17, n. 12. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1422-0067/17/12/2141>>. Acesso em: 16 de fev. 2021.

LEONE, C. Óleo industrial pode prejudicar saúde e meio ambiente: Estudo de Bauru aponta alternativas que o tornam menos nocivo. **Portal da Universidade Estadual Paulista**, 2008. Disponível em: <<https://www2.unesp.br/sharer.php?noticia=3027>>. Acesso em: 13 de nov. 2021.

MARCELINO, L. I. de O. **Fluido de corte mineral emulsionável: monitoramento, análise de degradabilidade, reformulação e estratégias de aumento de tempo de vida no processo de retificação**. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Materiais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013. Disponível em: <[https://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/Disserta%c3%a7%c3%a3o\\_Luciana\\_Marcelino.pdf](https://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/Disserta%c3%a7%c3%a3o_Luciana_Marcelino.pdf)>. Acesso em: 6 de nov. 2021.

MARINS et. al. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. **XLI SBPO**, p. 1778-1788, 2009. Disponível em: <<http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>>. Acesso em: 25 de fev. 2022.

MATOS, S. dos S. **Considerações sobre a inserção do tema “Contribuições da biossegurança na graduação em estética e cosmetologia” na disciplina de Aromaterapia, com vistas à integridade do usuário**. 2013. 64 f. Monografia (Especialista em Ensino em Biociências e Saúde) – Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/34745/2/shirley\\_matos\\_ioc\\_espec\\_2013.pdf](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/34745/2/shirley_matos_ioc_espec_2013.pdf)> Acesso em: 8 de fev. 2021.

MEDEIROS, F. C. M. de. **Caracterização química e atividade biológica de óleos essenciais de plantas do cerrado contra fungos xilófagos**. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em:

<[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/17431/1/2014\\_FernandoCesarMagalhaesdeMedeiros.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/17431/1/2014_FernandoCesarMagalhaesdeMedeiros.pdf)>. Acesso em: 8 de fev. 2021.

MEDEIROS, J. A. S. de. **Filme biodegradável incorporado de óleo essencial de orégano encapsulado**. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8226>>. Acesso em: 8 de fev. 2021.

NAGHETINI, C. da C. **Caracterização físico-química e atividade antifúngica dos óleos essenciais da cúrcuma**. 2006. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MBSA-6W7GYR/1/disserta\\_\\_o\\_mestrado.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MBSA-6W7GYR/1/disserta__o_mestrado.pdf)>. Acesso em: 15 de mar. 2022.

NOMÈDE-MARTYR, N. et al. **Moringa and Graphite as Additives to Conventional Petroleum-Based Lubricants**. *Lubricants*. 2021; 9(7):65. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-4442/9/7/65/htm>>. Acesso em: 26 de out. 2021.

Oliveira A.A.M. **Método AHP como otimização na seleção de fornecedores numa empresa de materiais de construção**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Porto, Portugal. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.22/4619>>. Acesso em: 4 de abr. 2022.

ORTIZ, L. R. A.; **Busca de patentes em óleos essenciais como defensivos agrícolas alternativos em contexto agroecológico orgânico familiar e segurança alimentar**. 2013. 210 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) – Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento, Coordenação de Programas de Pós-Graduação e Pesquisa, Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/academia/arquivo/arquivos-biblioteca/ORTIZLuizRodolfodeArago2013.pdf>>. Acesso em: 23 de fev. 2021.

PEREIRA, A. de A. **Efeito inibitório de óleos essenciais sobre o crescimento de bactérias e fungos**. 2006. 72 f. Dissertação (Pós-graduação em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1544/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Efeito%20inibit%C3%B3rio%20de%20%C3%B3leos%20essenciais%20sobre%20o%20crescimento%20de%20bact%C3%A9rias%20e%20fungos.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1544/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Efeito%20inibit%C3%B3rio%20de%20%C3%B3leos%20essenciais%20sobre%20o%20crescimento%20de%20bact%C3%A9rias%20e%20fungos.pdf)>. Acesso em: 8 de fev. 2021.

PEREIRA, F. S. G. **Viabilidade sustentável de biomassa de *Moringa oleífera* para produção de biodiesel e briquetes**. 2015. 142 f. Tese (Pós-Graduação em Química) – Departamento de Química Fundamental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15071>>. Acesso em: 13 de fev. 2021.

PINTO, A. A. de S. **Sensibilidade de bactérias isoladas de fluido de corte a biocida sintético e natural**. 2015 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12009>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

PORTO, L. L.; ROSA, L. R. V. **Avaliação do Potencial Antimicrobiano de Óleos Essenciais de Coentro (*Coriandrum sativum L.*) e Orégano (*Origanum vulgare L.*).** 2018. 33 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10310/3/PG\\_COALM\\_2017\\_2\\_04.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10310/3/PG_COALM_2017_2_04.pdf)>. Acesso em: 01 de mai. 2021.

PRADO, A. S. **Modelagem de moléculas extraídas de óleos vegetais para aplicações fotovoltaicas.** 2018. xiv, 108 f., il. Tese (Doutorado em Física) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/34325>>. Acesso em: 2 de abr. 2022.

REEVES, C. J., *et. al.* (2015). **The influence of fatty acids on tribological and thermal properties of natural oils as sustainable biolubricants.** *Tribology International*, 90, 123–134. doi:10.1016/j.triboint.2015.04.021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X15001723>>. Acesso em: 28 de mar. 2022.

RODRIGUES, M. F. F. **Avaliação de tecnologias ambientalmente sustentáveis para extração de compostos bioativos.** 2018. 115 f. Tese (Doutorado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2018. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3264/1/PB\\_PPGAG\\_D\\_Rodrigues%20c%20Michelle%20Fernanda%20Faita\\_2018.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3264/1/PB_PPGAG_D_Rodrigues%20c%20Michelle%20Fernanda%20Faita_2018.pdf)>. Acesso em: 05 de mar. 2022.

ROMÃO, B.C. *et. al.* **Variação circadiana do teor dos óleos essenciais de plantas medicinais.** 2017. 24 f. Trabalho de Defesa do Projeto de Iniciação Científica (Técnico em Química) – Instituto Federal Catarinense. Araquari, 2017. Disponível em: <<https://quimica.arauari.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/20/2018/12/TRABALHO-FINAL-VARIA%C3%87%C3%83O-CIRCADIANA-DO-TEOR-DOS-%C3%93LEOS-ESSENCIAIS-DE-PLANTAS-MEDICINAIS.pdf>>. Acesso em: 05 de mar. 2022.

SÁ, P. N. **Controle de bactérias presentes em fluidos de corte utilizando biocidas naturais.** 2017. 84 f. Tese (Mestrado em Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2269>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

SAATY, T. L. The Analytic Network Process. In: **Decision Making with the Analytic Network Process.** International Series in Operations Research & Management Science. [s.l.] Springer US, 2006. v. 95p. 1–26.

SANTOS, A. L. dos. **Extração de óleo essencial por CO<sub>2</sub> supercrítico.** Agência USP de Inovação - AUSPIN 9/9/2019. Disponível em: <[https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/SBRT/pdfs/34565\\_69344.pdf](https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/SBRT/pdfs/34565_69344.pdf)>. Acesso em: 11 de out. 2021.

SCHIEDECK, G. **Óleos Essenciais: Aspectos Gerais da Extração.** Pelotas, 2011. Apresentação em slide. 50 slides. Embrapa Clima Temperado - Estação Experimental Cascata. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/28978822-Oleos-essenciais-aspectos-gerais-da-extracao-pelotas-novembro-de-2011.html>>. Acesso em: 20 de out. 2021.

SEIFERT, S. S. **Fluidos de corte a base vegetal para usinagem**: Tomada de decisão multicritério para ranqueamento com base nas propriedades. 2021. 60 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

SILVA, C. H. **Princípios da Lubrificação**: Aditivos + Óleos para Motores de Transmissão. Curitiba, 2015. Apresentação em slide. 56 slides. Laboratório de Superfícies e Contato – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Acesso em: 07 de nov. 2021.

SILVA, L. N. *et. al.* **Indústria de óleos essenciais no Brasil**: uma perspectiva a partir do programa de modernização das estatísticas econômicas – Anais IV CONAPESC - Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/56922>>. Acesso em: 13 de mar. 2021.

SILVA, M. S. *et al.* **New hydraulic biolubricants based on passion fruit and moringa oils and their epoxy**. Industrial Crops and Products, v. 69, 2015, p. 362-370, ISSN 0926-6690. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669015001326#!>>. Acesso em: 26 de out. 2021.

SILVEIRA, J. C. *et. al.* **Levantamento e Análise de Métodos de Extração de Óleos Essenciais**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15; p. 2038 - 2052, out/nov 2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20exatas%20e%20da%20terra/levantamento%20e%20analise.pdf>>. Acesso em: 01 de mai. 2021.

SOARES, C. H. E. **Curcuma Longa L. vegetable oil characterization as cutting fluid base and Curcuma Longa L. essential oil antimicrobial properties analysis for machining application**. 2020. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10198/23246>>. Acesso em: 23 de out. 2021.

SOUZA, M. C. de. **Essay proposal for defining the requirements of vegetable-based oils for bio-lubricants on Al 7050-T7451 and Ti-6 Al-4V alloys and natural biocides**. 2019. 158 p. Tese (Doutorado em Materiais, Manufatura e Automação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2019. Disponível em: <[http://www.bdita.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista\\_resumo.php?num\\_tese=75443](http://www.bdita.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista_resumo.php?num_tese=75443)>. Acesso em: 3 de out. 2021.

TEBALDI, V. M. R. **Análise e potencial uso de óleos essenciais no controle Pseudomonas sp. e na formação de biofilmes por Pseudomonas aeruginosa**. 2008. 105 f. Dissertação (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/3404>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

VIANA, M. G. **Avaliação de produtos naturais no controle de biofilmes formados em sistema dinâmico**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12903/1/AvaliacaoProdutosNaturais\\_Viana\\_2009.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12903/1/AvaliacaoProdutosNaturais_Viana_2009.pdf)>. Acesso em: 3 de abr. 2022.

WOLFFENBÜTTEL, A. N. **Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia** – abordagem técnica e científica. São Paulo. Roca, p. 1-4, 47-57, 85-93, 104-112, 136, 167, 2011.

ZAIBUNNISA, A.H. *et. al.* An experimental design approach for the extraction of volatile compounds from turmeric leaves (*Curcuma domestica*) using pressurised liquid extraction (PLE), **LWT - Food Science and Technology**, 2009, 42 (1), 233-238,