UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

INSTITUTO DE QUÍMICA – INQUI

BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MARIA ROSA PAULANI MARTINELLI

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *CHROMOLAENA SQUALIDA* E ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO NA INDÚSTRIA COM QUÍMICOS

Campo Grande - MS

2024

MARIA ROSA PAULANI MARTINELLI

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *CHROMOLAENA SQUALIDA* E ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO NA INDÚSTRIA COM QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Instituto de Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito básico para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof. Dra. Janaina dos Santos Ferreira

Coorientadora: Prof. Dra. Ana Camila Micheletti

Campo Grande - MS

2024

MARIA ROSA PAULANI MARTINELLI

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *CHROMOLAENA SQUALIDA* E ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO NA INDÚSTRIA COM QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Engenharia Química da Universidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Campo Grande, 30 de agosto de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JANAINA DOS SANTOS FERREIRA
Data: 01/09/2024 22:27:03-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dra. Janaina dos Santos Ferreira

Universidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANA CAMILA MICHELETTI
Data: 02/09/2024 09:05:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dra. Ana Camila Micheletti

Universidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Documento assinado digitalmente
ICP Brasil
CARLOS EDUARDO DOMINGUES NAZARIO
Data: 01/09/2024 22:22:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Domingues Nazário

Universidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Campo Grande - MS

2024

Dedicatória

Agradeço aos meus pais, Antônio José Martinelli e Célia Aparecida Paulani Martinelli, e minha irmã Juliana Aparecida Paulani Martinelli pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida e durante todo o meu período acadêmico. Este trabalho é dedicado a eles.

"É justo que muito custe o que muito vale." – Santa Teresa D'Ávila.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer meus amigos e colegas de curso, em especial a Gabriela Ribeiro Saghabi e Ana Carolina da Silva Cargnin, que estiveram comigo durante toda a graduação, participando de trabalhos e projetos. Além de terem sido minha fonte de apoio de questões acadêmicas e pessoais.

Agradeço minhas orientadoras, Janaina e Ana Camila, que me auxiliaram durante todo o desenvolvimento do trabalho e da minha trajetória acadêmica.

Por fim, gostaria de agradecer a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, todos os docentes e membros da instituição por me fornecerem apoio e estrutura necessários para a realização da minha graduação.

RESUMO

A demanda por produtos naturais destaca o favoritismo no mercado de óleos essenciais. De fato, o Brasil mostra-se como um importante produtor e comerciante de óleos essenciais com propriedades terapêuticas. Desse modo, as plantas são fontes essenciais para obtenção de novos fármacos para uso humano. Com isso, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os principais métodos de extração utilizados para obtenção do óleo essencial, em especial ao da *Chromolaena squalida*, com destaque nas tendências de extração sólido-líquido por meio de uma revisão bibliográfica. Além disso, visa-se realizar a análise preliminar de risco de materiais perigosos relacionada ao uso de solvente no processo produtivo industrial de modo a obter um trabalho mais seguro e produtivo em áreas classificadas. Em resumo, as principais técnicas extrativas discutidas foram extração por arraste de vapor, por solvente e fluído supercrítico, sendo o último método mais viável para escala de bancada de laboratório enquanto que a extração por solvente é amplamente utilizada em escala industrial devido ao melhor controle de processo das operações unitárias envolvidas, a aplicabilidade em diferentes matérias-primas, ao baixo custo relativo e boa eficiência de separação. Em contrapartida, áreas que utilizam solventes considerados materiais perigosos necessitam de cuidados especiais, seguimento de normativas específicas, desenvolvimento de análise de riscos e segurança relacionada para processos, pessoas e meio ambiente. Portanto, examinou-se também os principais temas aplicados em segurança em áreas classificadas. Assim, com base na revisão bibliográfica o presente trabalho pode ser utilizado para estudos mais específicos relacionados a obtenção de óleo essencial de plantas do cerrado por extração com solvente e a consulta das principais medidas de segurança envolvidas para indústrias com materiais perigosos.

Palavras-chave: extração sólido-líquido; novos fármacos; solventes perigosos.

ABSTRACT

The demand for natural products highlights the favoritism of the essential oil market. In fact, Brazil is an important producer and marketer of essential oils with therapeutic properties. In this way, plants are essential sources for obtaining new drugs for human use. With this in mind, the aim of this study is to present the main extraction methods used to obtain essential oil, especially that of Chromolaena squalida, with an emphasis on solid-liquid extraction trends, by means of a literature review. In addition, the aim is to carry out a preliminary risk analysis of hazardous materials related to the use of solvents in the industrial production process in order to achieve safer and more productive work in classified areas. In summary, the main extractive techniques discussed were vapor drag extraction, solvent extraction and supercritical fluid extraction, the latter being the most viable method for laboratory bench scale, while solvent extraction is widely used on an industrial scale due to the better process control of the unit operations involved, applicability to different raw materials, relative low cost and good separation efficiency. On the other hand, areas that use solvents considered to be hazardous materials require special care, following specific regulations, developing risk analysis and related safety for processes, people and the environment. Therefore, the main themes applied to safety in classified areas were also examined. Thus, based on the literature review, this work can be used for more specific studies related to obtaining essential oil from cerrado plants by solvent extraction and consulting the main safety measures involved for industries with hazardous materials.

Keywords: solid-liquid extraction; new drugs; hazardous solvents.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - *Chromolaena squalida*..... 12
Figura 2 - Distribuição geográfica da espécie no Brasil..... 12
Figura 3 - Líderes em exportação de óleos essenciais em milhões de dólares..... 14
Figura 4 - Líderes em exportação de óleos essenciais em toneladas..... 14
Figura 5 - Método produtivo de óleos essenciais. 15
Figura 6 - Participação dos óleos essenciais nos principais setores do mercado global. 16
Figura 7 - Modo de realizar a análise preliminar de risco. 17
Figura 8 - Moinho de facas..... 19
Figura 9 - Liquidificador industrial. 19
Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo de obtenção do óleo essencial. 20
Figura 11 - Diagrama de blocos do processo de obtenção de óleo essencial. 20
Figura 12 - Formação de duas fases líquidas da técnica de hidrodestilação. 22
Figura 13 - Técnica de hidrodestilação..... 23
Figura 14 - Aparelho de Clevenger. 24
Figura 15 - Destilação a vapor direta para óleos essenciais. 25
Figura 16 - Destilação a vapor..... 25
Figura 17 - Modelos de equipamentos para extração por arraste de vapor no mercado. 26
Figura 18 - Equipamento industrial de destilação a vapor. 26
Figura 19 - Aparelho de Soxhlet. 27
Figura 20 - Parâmetros fundamentais para a extração por solvente. 28
Figura 21 - Técnica de extração por fluído supercrítico..... 29
Figura 22 - Obtenção de óleo essencial por fluído supercrítico. 30
Figura 23 - Fluxograma de extração fluído supercrítico. 30
Figura 24 - Unidade piloto de extração supercrítica..... 31
Figura 25 - Principais componentes obtidos do refino do petróleo..... 35
Figura 26 - Fluxograma de obtenção do etanol. 36
Figura 27 - Fluxograma de obtenção dos derivados do etanol. 36
Figura 28 - Solventes autorizados na indústria de alimentos. 37
Figura 29 - Evolução dos acidentes de trabalho no Brasil de 2014 a 2021. 39
Figura 30 - Pictogramas de materiais perigosos..... 41
Figura 31 - Diamante ou Diagrama de Hommel. 41
Figura 32 - Padronização de cores em tubulações..... 42
Figura 33 - Figura ONU. 43
Figura 34 - Significado dos Algarismos do Número de Risco. 43
Figura 35 - Classificação de materiais perigosos. 44
Figura 36 - Classificação de materiais perigosos 44
Figura 37 - Logo CIPA..... 45
Figura 38 - Classificação das instalações industriais. 47
Figura 39 - Cores de sinalização..... 48
Figura 40 - Exemplos de EPIs. 49
Figura 41 - Cores dos capacetes na indústria Cargill. 49
Figura 42 - Sinalização de área classificada. 51
Figura 43 - Detector multigás. 51

Figura 44 - Ilustração da zona de classificação de atmosferas explosivas. 52
Figura 45 - Grupo, categoria e proteção do equipamento EX em áreas classificadas.... 53
Figura 46 - Certificação obrigatória para fabricantes de equipamentos EX..... 54
Figura 47 - Rotulagem de áreas classificadas..... 54
Figura 48 - Triângulo do Fogo. 55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
2. OBJETIVO 17
2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 17
3. METODOLOGIA 18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 18
4.1. PROCESSO DE OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL 18
4.2. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL 21
4.2.1. COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO: EXTRAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR, EXTRAÇÃO POR SOLVENTE E EXTRAÇÃO POR FLUÍDO SUPERCRÍTICO 31
4.2.2. PRINCIPAIS SOLVENTES UTILIZADOS NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS..... 33
4.3. ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS DE MATERIAIS PERIGOSOS NA INDÚSTRIA 38
4.3.1. NORMATIVAS 45
4.3.2. ÁREA CLASSIFICADA E DEVIDOS CUIDADOS..... 50
5. CONCLUSÃO 55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57

1. INTRODUÇÃO

A resistência bacteriana frente aos antibióticos representa um dilema preocupante para a saúde pública, dessa maneira, iniciativas remediadoras são necessárias para desenvolver novas alternativas no tratamento de enfermidades. Dessa forma, os óleos e extratos de plantas representam um esteio que moldam os estudos científicos no decorrer dos anos a fim de comprovar a atividade antimicrobiana dos óleos essenciais (NASCIMENTO et al., 2006).

A procura crescente dos brasileiros por saúde física, mental e bem-estar potencializou-se com a pandemia do COVID-19 (doença do coronavírus referente ao ano de 2019 quando houve os primeiros casos divulgados), por consequência o uso de óleos essenciais foi abundante na indústria de bem-estar e de cuidados pessoais. Vale destacar que o SUS (Sistema Único de Saúde) oferece óleos essenciais em suas unidades para tratamento adicional relacionados a problemas mentais (GABRIEL e SALVADOR, 2021). Em conclusão, o Brasil destaca-se na cadeia de produção e de mercado dos óleos essenciais.

Os óleos essenciais apresentam destaque por suas características biológicas, entre elas, a atividade antibacteriana, o que é de grande importância frente às dificuldades de saúde pública com o crescimento exacerbado da resistência aos agentes antimicrobianos. Assim, é necessário a procura contínua por novos compostos com potencial antimicrobiano de matéria-prima extraídas da flora Sul-Mato Grossense. Um estudo realizado pelo grupo de pesquisa PRONABIO (Laboratório de Química de Produtos Naturais Bioativos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul), do Instituto de Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul sobre a atividade antibacteriana de óleos essenciais de plantas do Cerrado do Centro-Oeste do Brasil contra cepas de bactérias multirresistentes mostrou que alguns deles apresentam potencial antimicrobiano. Entre eles, o óleo essencial de *Chromolaena squalida*, obtido pelo método de extração por hidrodestilação, que mostrou atividade moderada frente às cepas resistentes *Staphylococcus aureus, Escherichia coli, Pseudomona aeruginosa.* Dessa forma, o óleo essencial obtido da *Chromolaena squalida* apresentou resultado excelente contra *Staphylococcus sp*. multirresistente, isolado do leite de vaca com mastite bovina, com Concentração Mínima Inibitória (CMI) de 7,80 μg/mL. Vale ressaltar que a *Staphylococcus sp.* está relacionada fortemente com a indústria alimentícia de derivados lácteos (JESUS et al., 2020).

A espécie sul-americana *Chromolaena squalida,* mostrada na figura 1, é considerada um arbusto florido, e pode ser encontrada em grande quantidade no Brasil, Peru, Guiana, Bolívia e outros e é conhecida por suas propriedades medicinais frente a patógenos relacionados à intoxicação alimentar. Dessa forma, *Chromolaena squalida* mostra-se de folhas glabras e velutinas, apresenta-se distribuída em praticamente todo o território nacional, com destaque para o bioma Cerrado (REFLORA, 2019). A figura 2 retrata a distribuição geográfica da espécie no Brasil, sendo assim, apesar do baixo rendimento extrativo (0,05% peso/peso) para a obtenção do óleo essencial, a quantidade de matéria prima revela-se abundante no país (JESUS et al., 2020).

Figura 1 - *Chromolaena squalida*.

Fonte: REFLORA (2019).

Figura 2 - Distribuição geográfica da espécie no Brasil.

Fonte: REFLORA (2019).

De acordo com (BIZZO e REZENDE, 2022), a Organização Internacional de Normalização (IS0) pela normativa 9235 define óleos essenciais (OEs) como:

> "Produtos obtidos de matérias-primas naturais de origem vegetal, por destilação a vapor, por processos mecânicos a partir do epicarpo de frutos cítricos, ou por destilação a seco, após a separação da fase aquosa – se houver – por processos físicos."

Os óleos essenciais mostram-se presentes nas plantas como produtos secundários, e também são nomeados por óleos voláteis, essência, óleos etéreos. Os compostos oleaginosos são formados por hidrocarbonetos terpênicos, flavonoides, ésteres, fenóis, peróxidos, aldeídos, ácidos orgânicos e outros compostos. Vale ressaltar que a composição de determinado óleo essencial depende da localização presente na planta, por exemplo raízes, frutas, folhas, flores, casca, sementes. Assim, todos os órgãos de uma planta podem ser classificados como coletores de óleos essenciais (SARTO, JUNIOR, 2014).

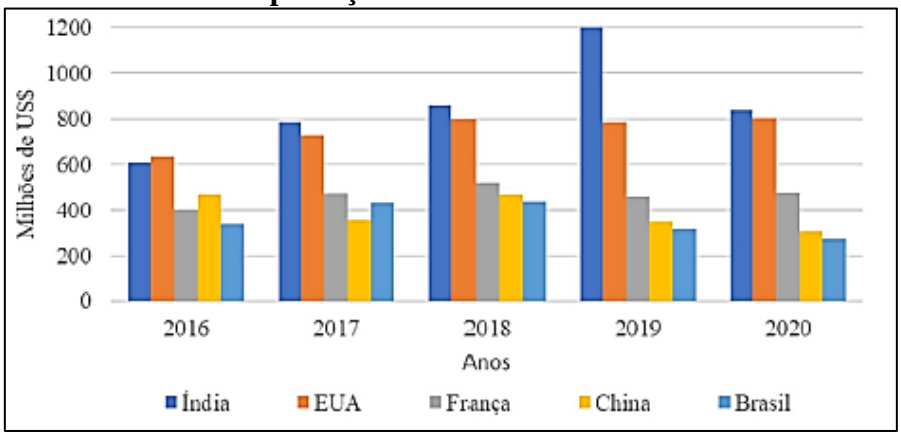
As características medicinais dos óleos essenciais resultam da existência de monoterpenos, fenilpropanóides e sesquiterpenos. Dessa maneira, esses elementos são responsáveis por oferecer propriedades antimicrobianas, antifúngicas, anti parasitárias dos óleos essenciais. Assim, é válido conhecer as atividades biológicas presentes nos óleos essenciais para propor novos fármacos (SARTO, JUNIOR, 2014).

Hoje, cerca de pelo menos 3000 óleos essenciais são explorados, sendo 300 destes comercializados para indústrias farmacêuticas, alimentícias, cosméticos, aromáticas, higiene pessoal e agronômica. De fato, um número reduzido de plantas é explorado para obtenção de óleos essenciais diante da vasta diversidade da flora brasileira. Na verdade, alguns dos significativos impasses do uso de óleos essenciais estão relacionados desde a comprovação de eficiência, ao isolamento de compostos ativos, à produção e até a comercialização desses produtos (SARTO, JUNIOR, 2014).

A produção de óleos essenciais tem aumentado nos últimos anos devido ao consumo crescente da indústria de cosméticos, alimentos e de medicamentos. Em resumo, o valor agregado em relação ao uso de óleos essenciais aumentou em pelo menos 12 milhões de dólares em pouco mais de dez anos em decorrência do aperfeiçoamento da indústria brasileira de cosméticos. Portanto, é fundamental a produção de óleos essenciais tanto para perspectivas sustentáveis quanto rentáveis (SARTO, JUNIOR, 2014).

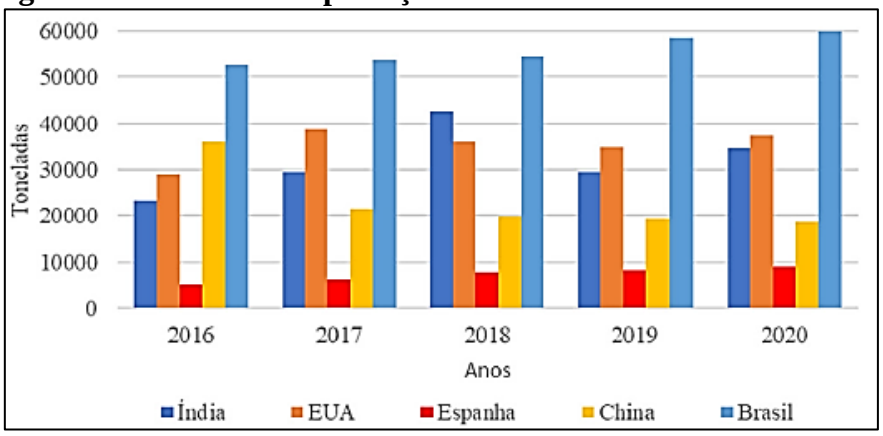
Em um cenário mais recente, o comércio global de óleos essenciais apresentou uma crescente de mais de 10 bilhões de dólares que condiz a mais de 250 mil toneladas e com cenário próspero de 16 bilhões por ano até 2026. Os principais líderes mundiais em valores de exportação relacionados aos óleos essenciais correspondem a Índia, Estados Unidos, França, China e por fim, o Brasil que ocupa a quinta posição de liderança (figura 3). Todavia, considerando a quantidade exportada, o país ocupa o primeiro lugar como exportador por tonelada (figura 4) e se mantém em pelo menos 20 anos, sendo o óleo essencial de laranja vendido mais barato pelo Brasil quando comparado aos outros países, devido à grande escala de produção, clima favorável, custos de produção e logística. Assim, tal resultado é obtido pelo óleo essencial de laranja, consequência do avantajado volume de produção e exportação (BIZZO e REZENDE, 2022).

Figura 3 - Líderes em exportação de óleos essenciais em milhões de dólares.



Fonte: BIZZO e REZENDE (2022).

Figura 4 - Líderes em exportação de óleos essenciais em toneladas.

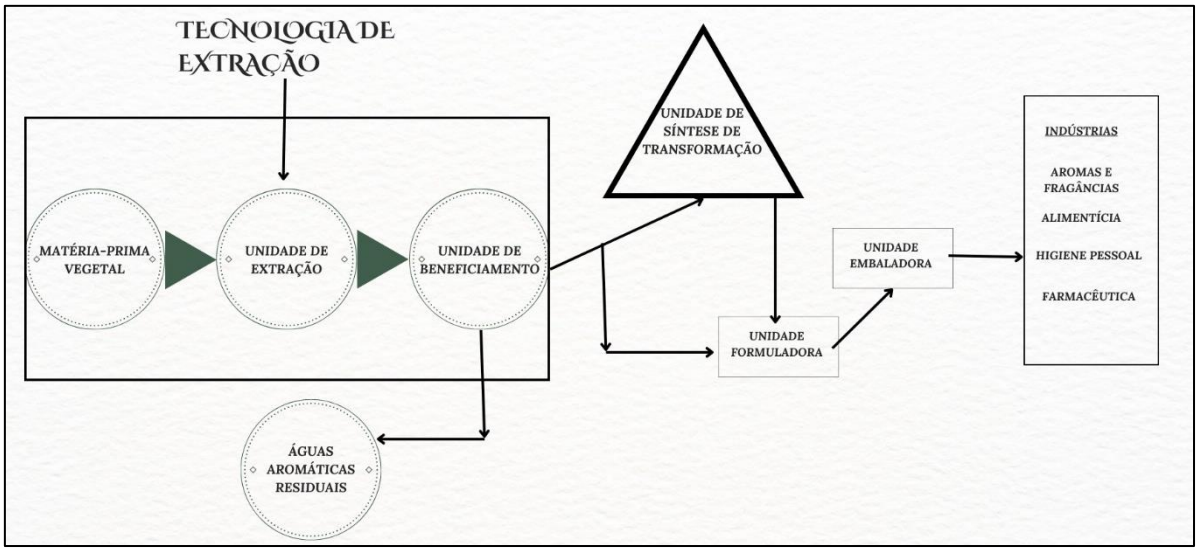


Fonte: BIZZO e REZENDE (2022).

A obtenção de óleos essenciais pode ser adquirida por processos de hidrodestilação, esmagamento de frutos ou por métodos de extração. Dessa forma, a operação unitária de extração representa um grupo de técnicas de transferência de massa, baseada no emprego implícito de equilíbrio de fases. Ademais, no tempo real, existem diversos métodos de extração utilizados na indústria, por exemplo: extração por micro-ondas, extração com fluido supercrítico, extração líquido-líquido, e outras. Contudo, entre as operações citadas, o método mais eficiente será o que transmite menor tempo de digestão, redução de contaminação externa, boa recuperação de solvente (LEMES, 2018).

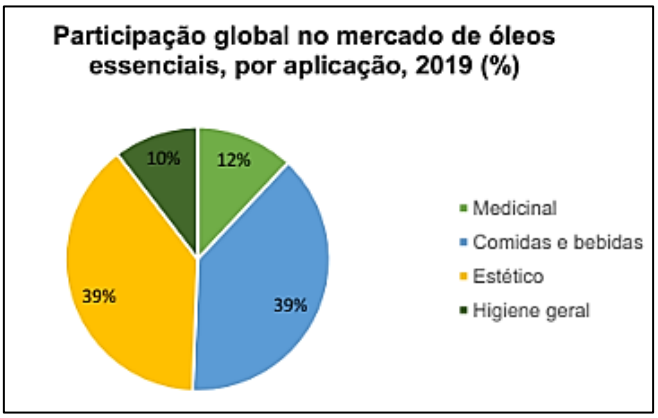
As técnicas de extração e a quantidade de materiais utilizados para a obtenção de óleos essenciais são determinantes para o preço e a qualidade do óleo. Ademais, outros indicadores de qualidade dos óleos essenciais correspondem ao ambiente climático, geográfico e do tipo de solo. Além disso, o processo de extração é visto como um passo chave para obter mais volume e garantia de controle de qualidade dos óleos essenciais. Assim, é fundamental priorizar o tipo de extração para cada variedade de espécie vegetal, composto químico e até mesmo do local em que se encontra o óleo na planta. A figura 5 resume a cadeia produtiva de óleos essenciais e suas aplicações (Figura 6), (OLIVEIRA e JOSÉ, 2021).

Figura 5 - Método produtivo de óleos essenciais.



Fonte: OLIVEIRA e JOSÉ (2021).

Figura 6 - Participação dos óleos essenciais nos principais setores do mercado global.

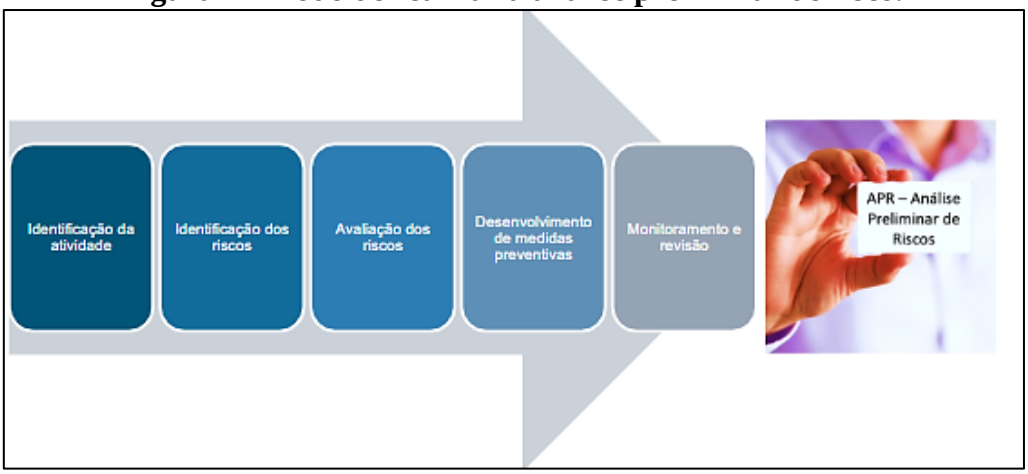


Fonte: COSTA (2022).

Um fator crucial e cada vez mais priorizado para proporcionar o trabalho mais seguro e produtivo em ambientes industriais está relacionado à análise preliminar de risco na segurança do trabalho e na prevenção de acidentes associados com pessoas, processos e meio ambiente. Dessa forma, a análise de risco representa uma ferramenta de identificação e avaliação de possíveis perigos e ameaças no conjunto fabril com objetivo de executar planos de ação que envolvem medidas de prevenção e condições adequadas para minimizar em zero dano qualquer condição de acidente de trabalho. Assim, a análise de risco é um procedimento contínuo e necessário para medidas de segurança e corresponde a uma exigência legislativa vigente nas empresas (TAGOUT, 2023).

Inúmeros benefícios podem ser mapeados ao realizar a análise preliminar de riscos no cenário industrial. De início, a redução de incidentes e erros com o entendimento do que deve ser realizado na execução das atividades para eliminar a probabilidade de um evento indesejável. Em seguida, a melhoria da eficiência operacional a partir do trabalho em equipe para identificar e avaliar de modo proativo os riscos potenciais antes da atividade e implementar medidas preventivas adequadas para mitigar impactos negativos na entrega do produto final ou até mesmo do processo produtivo. Por fim, promover a cultura de risco, pois o fato de realizar a análise antecipada do risco promove a segurança para os colaboradores no momento da execução do processo, assim, melhor será o engajamento em analisar situações de riscos e entregar o resultado esperado, além de aguçar o sentimento de dono. Dessarte, a figura 7 mostra as etapas da análise de riscos desenvolvidas na indústria.

Figura 7 - Modo de realizar a análise preliminar de risco.



Fonte: VITOR (2024).

Dessa forma, o presente trabalho visa estudar os processos de extração relacionados a obtenção de óleo essencial da *Chromolaena squalida*, uma vez que esse apresenta potencial antimicrobiano e pode ser um possível produto na indústria farmacêutica. Propõe-se desenvolver uma análise preliminar de risco na indústria com uso de químicos (solventes), além de expor normativas e conceitos de área classificada pertinentes ao processo produtivo de extração do óleo essencial a fim de oferecer melhorias de segurança englobadas no cenário industrial.

2. OBJETIVO

Elaborar uma revisão bibliográfica do processo de extração para obtenção do óleo essencial antimicrobiano de *Chromolaena squalida* e realizar uma análise de risco de materiais perigosos na indústria de extração com solvente.

2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO

Desta forma, os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Avaliar os métodos do processo de extração para obtenção de óleos essenciais.
- Realizar uma comparação das técnicas de extração por arraste de vapor, por solvente e fluído supercrítico.
- Desenvolver uma análise de riscos sobre materiais perigosos na indústria de extração com solvente a fim de garantir a segurança operacional em áreas classificadas.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho de produção teórica foi elaborado por meio de fundamentos de revisão bibliográfica, contemplando os principais sites de pesquisa científica Google acadêmico, SciElo, Scopus - Periódicos CAPES. Os principais termos de pesquisa foram processos de extração de óleos essenciais, plantas com potencial fármaco, indústria com solvente, segurança envolvendo materiais perigosos, análise de riscos. Na procura por uma boa base de dados foram escolhidos pelo menos 36 documentos que incluem artigos, teses, dissertações, sites, documentos disponibilizados pelo Governo Nacional, leis para a leitura e análise pontual relacionadas às temáticas da obra vigente. Vale ressaltar que o atual trabalho foi escrito por diversas perspectivas de definições e autores a partir de outros materiais já divulgados, e nas palavras de Sousa et al. (2021), a pesquisa bibliográfica está inserida principalmente no meio acadêmico e tem a finalidade de aprimoramento e atualização do conhecimento, através de uma investigação científica de obras já publicadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

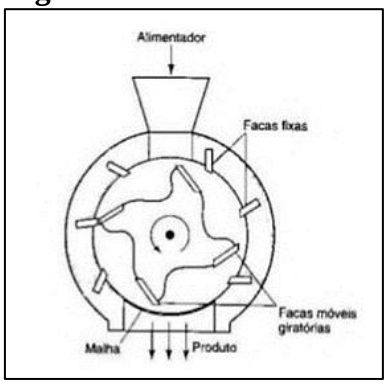
4.1. PROCESSO DE OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

O processo de obtenção do óleo essencial demanda alguns cuidados de pré-processamento antes da etapa de extração. Dessa forma, o método de pré-processamento influencia tanto no rendimento extrativo quanto na composição do óleo processado. Assim, a matéria prima que será extraída para obtenção do óleo deve estar seca e fragmentada para auxiliar na técnica de extração do óleo essencial (GABRIEL e SALVADOR, 2021).

A etapa inicial para a obtenção do óleo essencial compreende a higienização dos componentes da planta, separando manualmente algumas impurezas que podem estar presentes na matéria prima. Em seguida, o insumo natural é imerso na água corrente para remover sujidades presentes do ambiente. Na sequência, é indicado o método de secagem devido a característica do método em preservar as propriedades do produto por maiores períodos de armazenamento. Ademais, a secagem remove a umidade superficial a partir do processo de transferência de calor e massa, vale destacar, ainda, que a temperatura é um fator importante para evitar perdas de compostos voláteis e tal método é vantajoso quando a matéria prima não é processada de modo imediato e pode apodrecer, afetando as características do produto final (GABRIEL e SALVADOR, 2021).

Uma outra etapa importante que apresenta certa influência corresponde à técnica de moagem, pois facilita melhores rendimentos da extração de óleos essenciais. De fato, a fragmentação da matéria prima aumenta a superfície de contato entre o solvente e expõe as estruturas com maior carga de óleo. Geralmente, utiliza-se o moinho de facas (Figura 8) ou liquidificador industrial (Figura 9) em métodos de bancada. Ademais, o moinho de facas é capaz de minimizar o tamanho das partículas por meio de foices cortantes, onde as folhas e galhos são inseridas pela boca do equipamento e cortadas de modo circular. Vale destacar, ainda, a importância da análise granulométrica em diversas operações unitárias, por meio da distribuição do tamanho das partículas de um material sólido que garante a otimização de processos e as especificações de tamanho e uniformidade de partículas requeridas no produto final (GABRIEL e SALVADOR, 2021).

Figura 8 - Moinho de facas.



Fonte: GABRIEL e SALVADOR (2021).

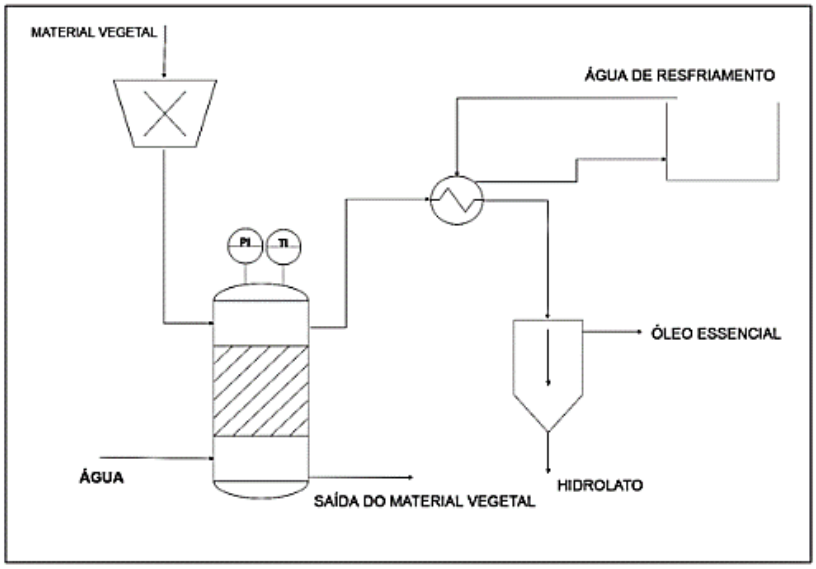
Figura 9 - Liquidificador industrial.

Fonte: HIPEREQUIPAMENTOS.

O fluxograma de obtenção de óleo essencial tradicional apresentado na figura 10 corresponde à transferência da matéria-prima para o extrator. Dessa forma, o extrator é

aquecido com água e a partir do vapor formado será extraído o óleo do material vegetal. O óleo e o hidrolato (subproduto da destilação a vapor de plantas para a obtenção de óleos essenciais) presente no vapor seguem o fluxo para o condensador onde será resfriado e retorna para a forma líquida e posteriormente é separado por diferença de densidade. Diante disso, o processo de resfriamento do condensador corresponde a um reciclo em que a água refrigerada pode ser reutilizada no processo (NISHIMOTO e SOUZA, 2016).

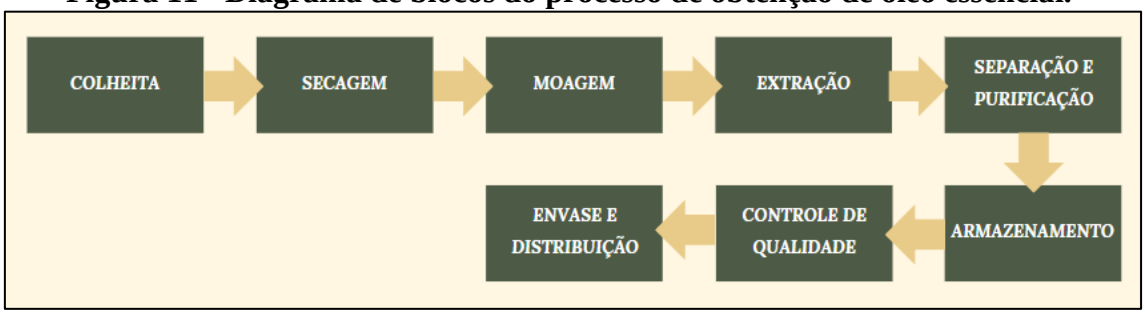
Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo de obtenção do óleo essencial.



Fonte: NISHIMOTO e SOUZA (2016).

O diagrama de blocos simplificado da figura 11 para o processo de obtenção do óleo essencial corresponde às etapas de colheita da matéria-prima, secagem, moagem, extração que pode ser realizada de inúmeros métodos, separação e purificação, armazenamento do óleo essencial, controle de qualidade para os requisitos de especificação do produto, e por fim, envasamento e distribuição do óleo essencial. Vale ressaltar que cada etapa mencionada dependerá do tipo de planta escolhida e do método extrativo.

Figura 11 - Diagrama de blocos do processo de obtenção de óleo essencial.



Fonte: ARQUIVO PESSOAL (2024).

4.2. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

Os óleos essenciais são definidos pelo aspecto oleoso, por seus aromas e pela tendência de volatilizar à temperatura ambiente, também são conhecidos pelo alto valor agregado e pela facilidade de degradação das substâncias dessa mistura. Além de tudo, geralmente são quase insolúveis em água e apresentam boa solubilidade em solventes orgânicos, podendo ser obtidos por diferentes técnicas de extração (SARTOR, 2009).

As técnicas de extração que podem ser utilizadas diversificam de acordo com o valor comercial e o órgão da planta em que está agregado o óleo essencial. Dessa forma, o processo extrativo representa uma parte fundamental da produção de óleos essenciais, e qualquer erro técnico durante a execução do método pode causar alterações irreversíveis nas características finais dos óleos essenciais, até mesmo em técnicas mais avançadas. Assim, a seleção do método influência na qualidade do produto final (COSTA, 2022).

A escolha da técnica mais adequada para a obtenção do óleo essencial deve ser realizada em relação ao rendimento, agilidade e seletividade para os compostos chave, para cada matéria-prima utilizada e o óleo essencial obtido. Ademais, a rapidez e eficiência em obter uma grande quantidade de extrato mostra fortes implicações financeiras e determinam a viabilidade do processo produtivo industrial (COSTA, 2022).

Uma informação válida sobre o aumento da demanda por óleos essenciais produzidos através da matéria prima vegetal é a de interesse das indústrias por novos métodos de extração, apostando em melhorias da qualidade dos extratos produzidos e também de otimizar os custos operacionais do processo produtivo (SARTOR, 2009).

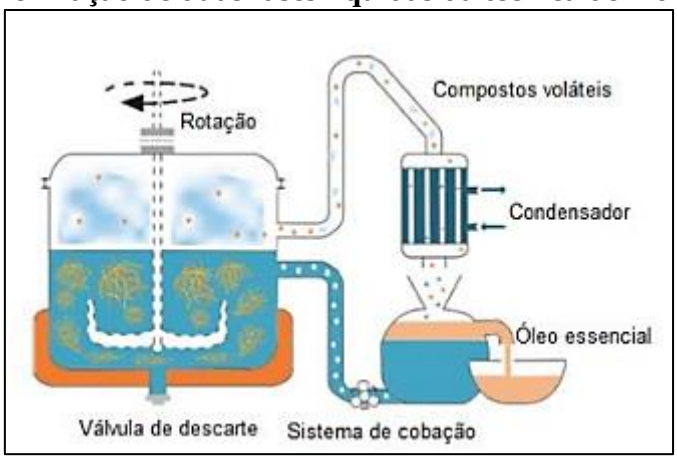
Os métodos mais utilizados de extração e conhecidos globalmente pela sua simplicidade correspondem a hidrodestilação e a destilação por arraste de vapor. De fato, ambos os processos representam uma operação unitária que emprega o vapor de água a partir da diferença de volatilidade de compostos existentes na matéria prima para obtenção do óleo essencial. Algumas diferenças entre ambos os métodos consiste que na hidrodestilação a matéria-prima está em contato direto com a água, e não precisa de um outro equipamento para realizar a extração, pois já ocorre a separação de fases por densidade, enquanto que na destilação por arraste de vapor, somente o vapor entra em contato com a matéria-prima, e a separação de fases ocorre por diferença de polaridade e densidade. Ademais, devido à diferença de volatilidade obtém-se a formação de duas fases líquidas que podem ser separadas (SARTOR, 2009). Assim, a figura 12 e 13 mostra ambas as técnicas tradicionais de extração.

De acordo com LOREGIAN, ANDRÉ (2013) a hidrodestilação significa:

“O termo hidrodestilação pode ser empregado para três diferentes métodos: hidrodestilação com água, hidrodestilação com água e vapor e hidrodestilação por vapor. Na hidrodestilação com água, o material vegetal fica em contato com a água que é aquecida com diferentes fontes de calor. Na hidrodestilação com água e vapor, o material vegetal é colocado em um cesto metálico perfurado que por sua vez é mantido acima da lâmina de água. O vapor de baixa pressão produzido pelo aquecimento da água entra contato com o tecido vegetal, não havendo, portanto, contato deste diretamente com a água. A hidrodestilação por vapor é o método mais difundido. Neste método o material vegetal também entra em contato com o vapor, porém, este é produzido em separada e transferido normalmente em pressão superior à atmosférica, para a estrutura de destilação. Atualmente estes termos têm sido substituídos por hidrodestilação, no caso de utilização de água, e arraste por vapor para extrações utilizando água e vapor ou apenas vapor.”

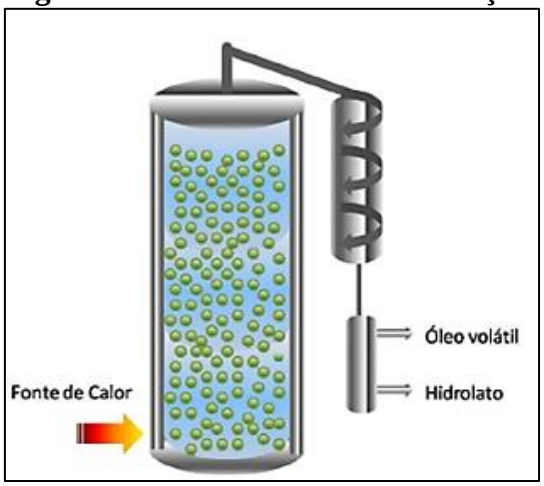
A técnica de hidrodestilação corresponde ao método mais primitivo e flexível em que a matéria-prima vegetal permanece em contato com a água em ebulição, dessa forma, o vapor intensifica o rompimento das paredes celulares e ocasiona a evaporação do óleo entre as células da planta. Consequentemente, a mistura de óleo e água representadas pelo vapor passa por um condensador onde é feito o resfriamento, e forma-se duas fases líquidas que podem ser separadas, pois os componentes voláteis e a água são imiscíveis. A figura 12 retrata a formação das fases no processo da hidrodestilação (COSTA, 2022). Vale ressaltar que o método de hidrodestilação é o mais apropriado para a obtenção de óleos essenciais a partir de folhas e ervas, não sendo indicado para extração a partir de raízes, sementes, flores e madeiras devido ao tempo estendido de destilação dessa matéria prima, a água pode evaporar do destilador e causar a queima do insumo natural (PEREIRA, 2010).

Figura 12 - Formação de duas fases líquidas da técnica de hidrodestilação.



Fonte: COSTA (2022).

Figura 13 - Técnica de hidrodestilação.



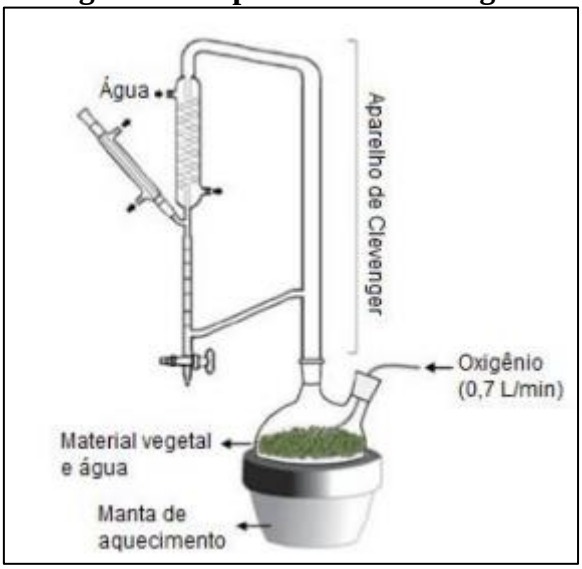
Fonte: SARTOR (2009).

O método de hidrodestilação é uma técnica de destilação utilizada para pequenas escalas por meio do aparato de Clevenger e é essencial para avaliar o rendimento do óleo essencial obtido. Vale destacar que as informações mapeadas na extração representam uma base teórica para o desenvolvimento do processo industrial. Ademais, o funcionamento desse método inicia-se por meio da preparação da matéria-prima que é colocada no balão de destilação junto com água, dessa forma, o balão é aquecido, geralmente em banho-maria, e o vapor formado passa pela amostra arrastando os componentes voláteis, também conhecidos por óleos essenciais presentes na planta, o vapor que contém uma mistura de água e óleo passa por um condensador onde troca calor e resfria, retornando para a fase líquida, então, o líquido condensado passa por uma câmara de coleta onde é separado por diferença de densidade, o óleo flutua por ser mais leve, enquanto que a fase pesada que corresponde a água fica na parte inferior, assim, o óleo essencial é coletado por meio de um "torneira" ou mecanismo de drenagem no Clevenger. Todavia, essa técnica apresenta histórico de facilitar a degradação de alguns componentes presentes no óleo essencial devido ao contato direto da matéria-prima com a água quente por longos períodos (COSTA, 2022).

O aparelho de Clevenger (Figura 14) é utilizado para escalas pequenas, principalmente para matéria-prima fresca. Dessa forma, o óleo obtido e já separado da água passa pelo método da secagem, na maioria das vezes é utilizado o sulfato de sódio anidro. Os principais elementos constituintes do equipamento de Clevenger são: frasco de destilação em que apresenta um balão de fundo redondo com capacidade de até 300 mililitros com uma boca afunilada, uma coluna ascendente, um condensador, um tubo graduado com uma torneira na extremidade inferior, um tubo de retorno, um sistema de

aquecimento “manta de aquecimento” que é elétrica e apresenta um termostato de modo a manter constante a temperatura (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

Figura 14 - Aparelho de Clevenger.



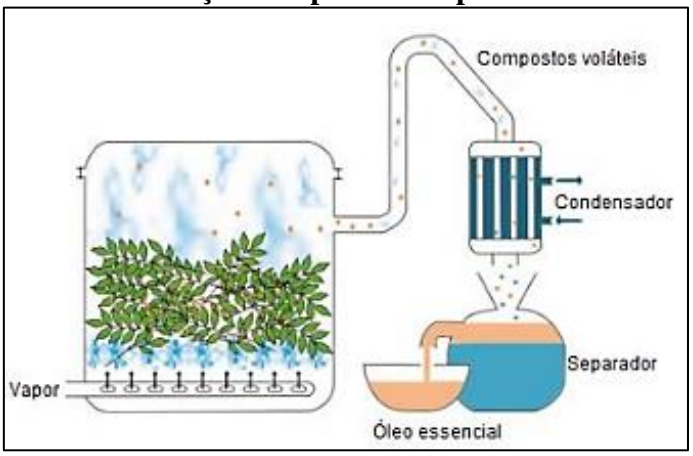
Fonte: COSTA (2022).

A técnica de destilação por arraste de vapor corresponde à ação do vapor de água em liberar o óleo, por meio do rompimento de bolsas intercelulares, também chamadas de tecido vegetal, que expulsam o óleo acondicionado. Vale destacar, ainda, que o processo por arraste de vapor ocorre quando há mistura heterogênea. Dessa forma, compostos voláteis com pontos de ebulição superiores a temperatura de 100°C são arrastados pelo vapor de água, que em uma pressão de vapor do sistema mais elevada ocasiona a vaporização de substâncias com temperaturas menores de 100°C. Assim, as moléculas do óleo essencial são transportadas pelo vapor de água até o condensador e posteriormente passam pelo processo de refrigeração e se condensam com água, e o destilado que apresenta densidade menor que a água fica na superfície (BOTELHO e ARAÚJO, 2022).

Na figura 15, o uso do vapor de água força os componentes da planta a temperaturas mais inferiores do que as necessárias para uma destilação simples e representa uma técnica favorita por apresentar um risco baixo de decomposição. Ademais, os componentes circulam no balão de condensado e o vapor esfria de volta à fase líquida. Além disso, nas unidades de destilação tradicional (Figura 16) o vapor está a pressão atmosférica e atinge uma temperatura de até 100°C, mas em unidades mais modernas a extração a vapor (Figura 17) pode ser conduzida sob alta pressão e

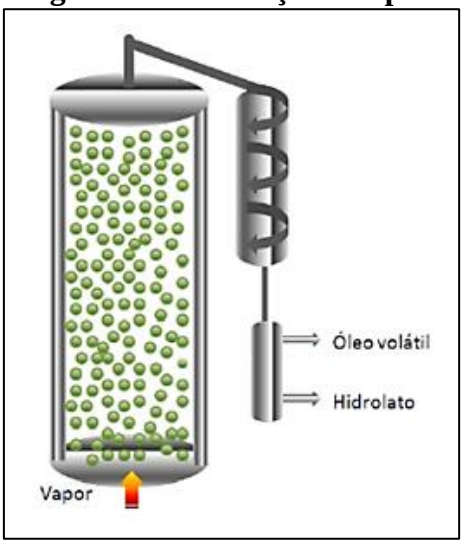
temperatura mais elevada, o que permite uma destilação rápida e eficaz de obtenção dos óleos essenciais (COSTA, 2022).

Figura 15 - Destilação a vapor direta para óleos essenciais.



Fonte: COSTA (2022).

Figura 16 - Destilação a vapor.



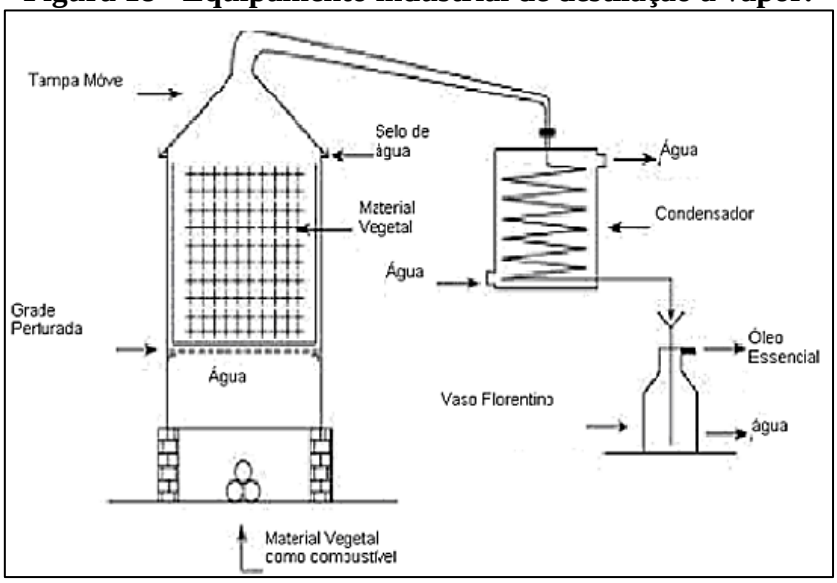
Fonte: SARTOR (2009).

Figura 17 - Modelos de equipamentos para extração por arraste de vapor no mercado.

Fonte: OLIVEIRA e JOSE (2021).

O processo industrial de destilação a vapor visa sempre o menor custo de fabricação e uma boa qualidade do produto final. Dessa forma, a planta de destilação a vapor deve levar em conta a quantidade de biomassa que será destilada no processo, além da proximidade com a matéria-prima utilizada. Outro fator importante é a escolha do tipo de extrator (Figura 18) que facilitará o processo produtivo e deverá ser bem avaliado quanto a otimização energética e melhor adequação ao processo envolvido (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

Figura 18 - Equipamento industrial de destilação a vapor.



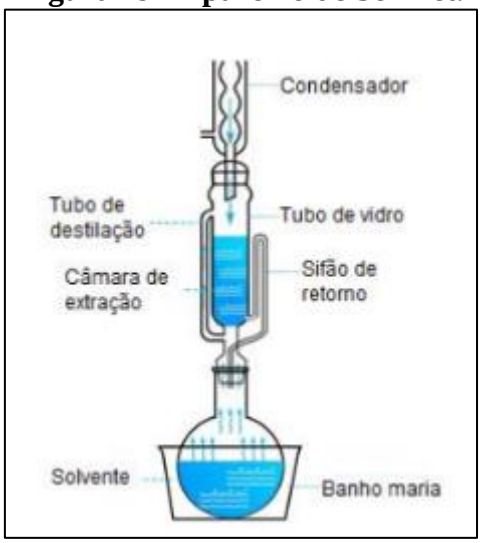
Fonte: OLIVEIRA e JOSE (2021).

Outra técnica utilizada em grande escala nas indústrias de processo de óleos é a extração por solventes orgânicos. Os solventes mais comuns são o hexano, metanol, benzeno, etanol, acetona e outros compostos clorados. Nessa técnica, o solvente é retirado

por condensadores através do processo de evaporação em escala industrial (SARTOR, 2009).

Em decorrência das particularidades de algumas plantas que são mais sensíveis a degradação de seus componentes aromáticos é necessário o uso de métodos pouco agressivos para a obtenção do óleo essencial com boa qualidade como por exemplo, a extração por solventes. Ademais, uma das formas de extração por solvente encontra-se por meio do aparelho nomeado Soxhlet. De fato, ao utilizar desse método é necessário pesar a matéria-prima que deseja obter o óleo essencial e posteriormente enviá-la para um cartucho tampado com algodão. O cartucho é depositado no extrator e contém o material sólido a ser extraído, assim, o solvente é aquecido e evapora, transportando consigo os compostos extraídos até o condensador. Vale destacar que o tempo para esse processo extrativo pode durar até 6 horas. A figura 19 mostra o equipamento do método Soxhlet da extração por solventes orgânicos (COSTA, 2022).

Figura 19 - Aparelho de Soxhlet.

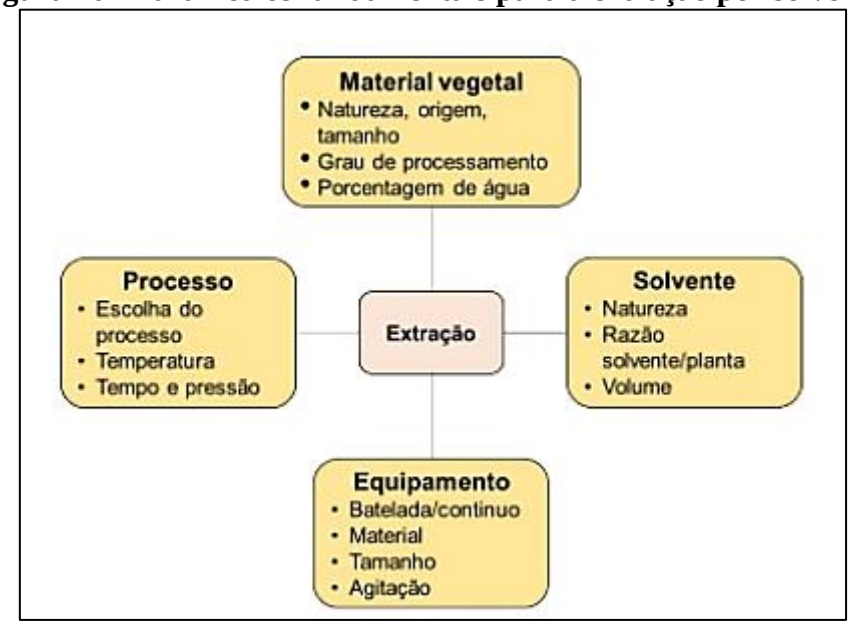


Fonte: COSTA (2022).

Desde o século XVIII o método de extração por solvente já era popular, mas somente no final do século XIX foi adotado em escala industrial. Nessa técnica, a matéria-prima é inserida em uma cuba de extração e o solvente presente na cuba passa pelo material da planta de modo gradativo e dissolve os componentes voláteis junto com os componentes não voláteis, por exemplo, os pigmentados que precisam de ser removidos durante o processo. Dessa forma, o solvente que está saturado de compostos dissolvidos evapora por vácuo e obtém o extrato, que corresponde a uma substância cerosa com moléculas voláteis e não voláteis que também podem não ser solúvel em álcool (COSTA, 2022).

Na extração por solvente muitos parâmetros podem influenciar a qualidade do extrato resultante além da matéria-prima, a forma de processamento e a quantidade de água contida na planta, também é fundamental as condições de temperatura, pressão que será submetido a planta, o tempo, e os solventes inóculos em uma razão assertiva entre solvente/planta, além do volume produzido e qual o equipamento utilizado no método, processo contínuo ou em batelada também influenciam na eficiência do processo. A figura 20 retrata alguns parâmetros importantes para a extração (COSTA, 2022).

Figura 20 - Parâmetros fundamentais para a extração por solvente.



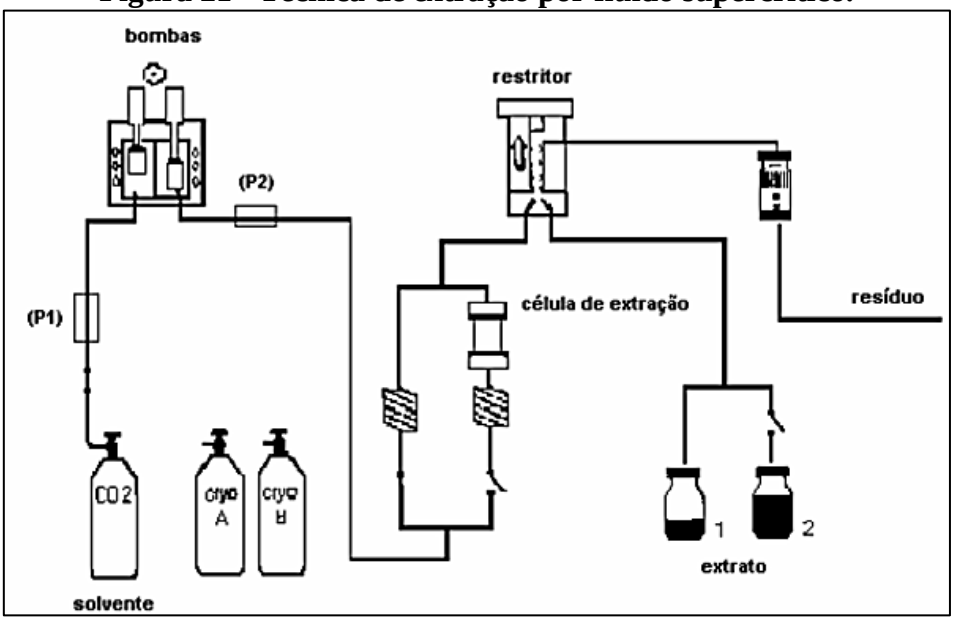
Fonte: COSTA (2022).

A extração por solvente pode apresentar um teor menor de 1% até no máximo 6% de solvente no produto final quando o óleo essencial apresenta finalidade terapêutica. Nesse método, a separação entre o óleo e o solvente é decorrente da destilação em temperaturas típicas que resultam na condensação do óleo ao invés do solvente empregado (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

A técnica mais recente que tem aumentado nos últimos anos como uma fonte alternativa dos métodos tradicionais de extração de produtos naturais é a por fluido supercrítico, apresentada na figura 21. O fluido supercrítico denota-se de um gás que está superior a temperatura na qual ele não pode ser liquefeito por meio da compressão isotérmica, por isso chama-se temperatura crítica, pois quando o gás apresenta a condição tanto de temperatura quanto de pressão em níveis maiores aos valores críticos, encontram-se no modo supercrítico. Assim, o gás comprimido apresenta densidade próxima à de

líquidos e baixa viscosidade, ficando próxima aos valores dos gases, também apresenta elevada difusividade (SARTOR, 2009).

Figura 21 - Técnica de extração por fluído supercrítico.



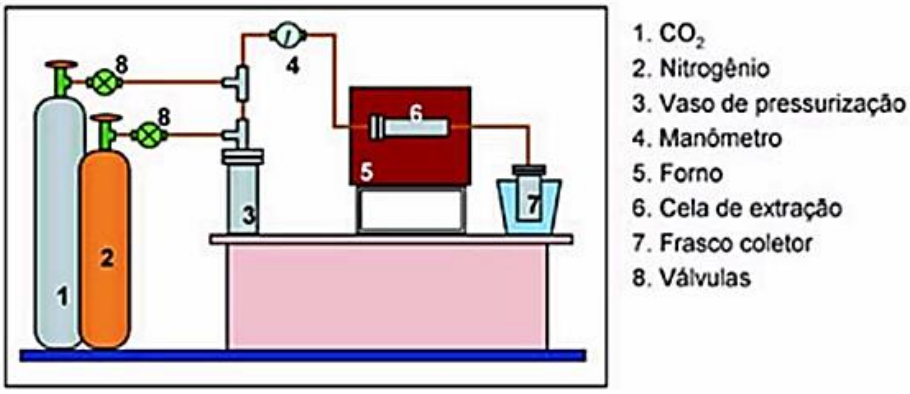
Fonte: SARTOR (2009).

De acordo com LOREGIAN (2013),

"O CO_2 supercrítico é obtido em condições de alta pressão e temperatura acima de 31°C. Com estas condições, o CO_2 alcança um estado em que sua viscosidade corresponde a de um gás, mas sua capacidade de solubilidade é igual a de um líquido."

Na extração por fluído supercrítico (Figura 22), as propriedades físico-químicas do fluido apresentam valores intermediários entre os estados gasoso e líquido. Ademais, a densidade do fluido supercrítico apresenta-se próxima de um líquido, já as características mensuradas no transporte da matéria, como a viscosidade e a difusividade correspondem a valores semelhantes de um gás. Vale destacar que os líquidos se destacam por ótimos solventes, mas tem alta viscosidade e difusão tardia, enquanto que os gases mostram-se o oposto. Assim, os solventes supercríticos combinados com os atributos necessários tanto líquido quanto gasoso destacam-se por bons solventes de alta difusividade e pouca viscosidade, entregando um método rápido e eficaz (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

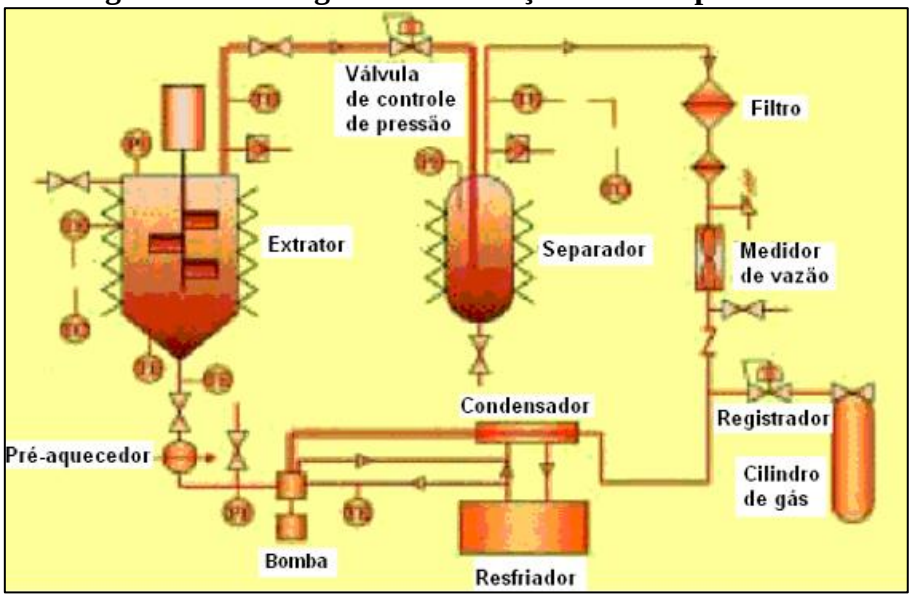
Figura 22 - Obtenção de óleo essencial por fluído supercrítico.



Fonte: OLIVEIRA e JOSE (2021).

No processo extrativo por fluido supercrítico de produtos naturais utilizados na indústria mostra-se comum o uso de dióxido de carbono como fluido supercrítico. A figura 23 corresponde ao fluxograma do processo de obtenção de óleo essencial por essa técnica mencionada anteriormente e a figura 24 mostra o equipamento de bancada (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

Figura 23 - Fluxograma de extração fluído supercrítico.



Fonte: OLIVEIRA e JOSE (2021).

Figura 24 - Unidade piloto de extração supercrítica.

Fonte: PEREIRA (2010).

4.2.1. COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO: EXTRAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR, EXTRAÇÃO POR SOLVENTE E EXTRAÇÃO POR FLUÍDO SUPERCRÍTICO

O método de extração por arraste de vapor é útil para destilar componentes que se decompõem perto de seus pontos de ebulição e que não são solúveis em água, além disso, é possível ampliar a seletividade da separação quando a presença de componentes insolúveis em água são voláteis com o vapor enquanto que outras não, também é aplicado para purificar substâncias contaminadas com sujidade resinosas. Ademais, a destilação a vapor de óleos aromáticos, essências, licores e perfumes para fins de indústrias alimentares, química e bioquímica é indicado por inúmeras vantagens (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

A destilação por arraste de vapor é empregada tradicionalmente nas indústrias devido à maior simplicidade e economia por tratar em uma única vez quantidades importantes de matéria-prima. Além disso, a destilação por vapor é mais barata quando comparada com a extração por fluido supercrítico. Por outro lado, é válido retratar que os componentes presentes no óleo essencial podem sofrer degradação térmica ou hidrólise, alterando seu aroma e até mesmo as fragrâncias singulares de plantas aromáticas (STEFFENS, 2010).

Em contrapartida, o processo de extração com solventes orgânicos é normalmente indicado para extração de óleos-resina e resinas presentes em plantas aromáticas (PEREIRA, 2010). De fato, algumas limitações desse processo estão no uso de solventes

tóxicos, principalmente para a obtenção de óleos essenciais no ramo de alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos. Diante disso, a remoção do solvente orgânico apresenta custo elevado no processo, além da tendência elevada de perda de componentes voláteis, e também não é possível remover totalmente o solvente no processo produtivo (STEFFENS, 2010).

Quando comparadas a destilação a vapor e a extração com solventes, é possível analisar algumas vantagens da primeira em relação ao vapor de água, por ser mais econômico em relação ao preço dos solventes orgânicos. Em seguida, o método de extração por arraste de vapor não assegura que o óleo essencial necessita de ser reaquecido. Por fim, não demanda de equipamentos sofisticados para o processo (STEFFENS, 2010). Porém, o método de extração por solvente apresenta uma grande vantagem por ser mais brando e obter um aroma mais próximo ao original da planta quando comparado ao primeiro método (LOREGIAN, 2013).

Alguns cuidados são necessários para o método da extração por solvente, dentre eles a escolha do solvente quanto à seletividade, baixo ponto de ebulição, inerte quimicamente, e boa eficiência de remoção (LOREGIAN, 2013). De fato, a remoção do solvente necessita de alto valor de processo em gastos com equipamentos e energia, além disso, dependendo do solvente pode ocasionar efeitos tóxicos aos consumidores, dessa forma, o solvente residual é um risco indesejável devido a toxicidade e a interferência no sabor e aroma do extrato final (SARTOR, 2009).

A extração por fluído supercrítico alcançou prestígio no ramo das indústrias químicas, petroquímicas, de polímeros, farmacêuticas e até de alimentos por permitir recuperar de modo eficaz não apenas os aromas de óleos essenciais, mas vários outros tipos. De fato, o fluído supercrítico é nomeado como “solvente do novo milênio”. Além disso, as principais vantagens desse método correspondem a sua tecnologia limpa, livre de resíduos, também permite a execução da extração por solventes que não são tóxicos, não há alteração das propriedades da matéria-prima e obtém-se um produto de ótima qualidade (OLIVEIRA e JOSE, 2021). Todavia, como desvantagem do uso desse método, ressalta-se o alto grau de periculosidade, devido às elevadas pressões entre 10 MPa (Mega Pascal) e 20 Mpa usadas para extrair compostos mais voláteis, como óleos essenciais (SILVEIRA et. al, 2012).

Certamente, a extração por fluido supercrítico é adequada na presença de compostos termossensíveis por trabalhar em temperaturas mais baixas, evitando que haja produto degradado e que comprometa a qualidade final do óleo essencial, além de não

produzir efluentes industriais indesejáveis que precisam de ser tratados. Em resumo, tratar efluente é um custo que toda a empresa anseia para evitar. Ademais, o método apresenta fácil recuperação do solvente supercrítico ajustando apenas pressão ou temperatura e também pode ser reciclado, reduzindo a etapa convencional da extração que é a de separação entre o solvente orgânico e o produto final obtido. Vale destacar, ainda, a alta pureza dos produtos obtidos, a rapidez do método e a sustentabilidade, além de redução de gastos de energia térmica quando comparado com o método de destilação. Assim, é de interesse das indústrias priorizar reduzir custos e fornecer um produto de excelência para seus clientes (OLIVEIRA e JOSE, 2021).

A extração por fluido supercrítico ao utilizar o CO_2 como solvente assegura um método limpo, seguro, não poluente, atóxico e não inflamável. Ademais, quando comparada com os métodos tradicionais de extração com solvente, a técnica de fluido supercrítico apresenta menor custo de processo em escala de bancada. Apesar de ser uma técnica eficiente para escala de laboratório, tem alto custo de instalação, manutenção e operação quando comparada em uma escala industrial. Certamente, a extração por fluido supercrítico mostra-se desfavorável quando comparada a custos de investimentos em grande escala frente a destilação por arraste de vapor e por solvente, mesmo considerando as diversas operações unitárias não necessárias nesse método, até mesmo o valor gasto para tratar efluentes nos processos por arraste de vapor e extração com solvente. Assim, a tecnologia do fluido supercrítico é para empresas com alto capital de investimentos e que prezam acima de tudo pela sustentabilidade, sem garantir o custo como prioridade (SARTOR, 2009).

4.2.2. PRINCIPAIS SOLVENTES UTILIZADOS NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

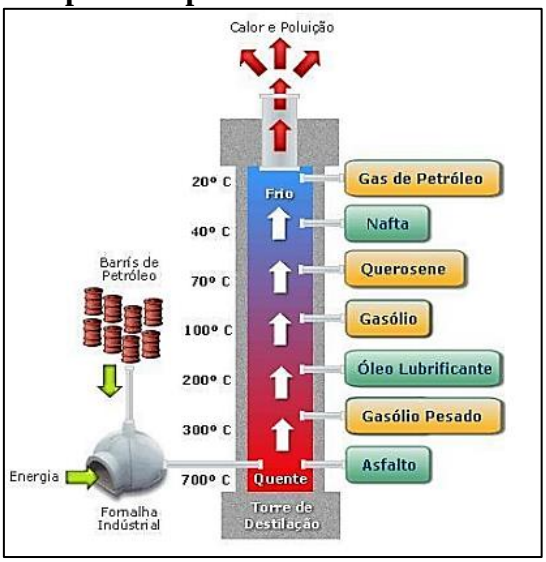
Os solventes são conhecidos como substâncias químicas aptas para dissolver um soluto formando misturas homogêneas, também apresentam capacidade de interatividade com moléculas de outras substâncias, separando e espalhando de modo uniforme na solução. Certamente, na indústria química as aplicações dos solventes variam de acordo com a finalidade específica e a necessidade de uso. Dentre as principais aplicações dos solventes pode-se citar: dissolução e diluição, extração, desengraxe e limpeza, revestimento e pintura, controle de temperatura. Todavia, o uso de solventes exige cuidados especiais tanto de processo, segurança e meio ambiente, incluindo armazenamento e manuseio adequado (SOLVEN, 2024).

Dentre as principais escolhas do solvente para a indústria química estão presentes os solventes orgânicos, inorgânicos e específicos. De início, os solventes orgânicos correspondem ao hexano, isopropanol, acetona, acetato de etila. Em seguida, os solventes inorgânicos constituem o ácido clorídrico, e a amônia. Por fim, os específicos são tolueno, xileno e outros. Assim, a escolha do solvente adequado depende do tipo de aplicação específica (SOLVEN, 2024).

Os solventes são utilizados em uma diversidade industrial desde tintas, metais, produtos de limpeza, farmacêuticos e processamento. O composto solubilizado representa o soluto, enquanto que o agente solubilizador é o solvente e a mistura produzida é nomeada de solução. De fato, os produtos solubilizados em água são conhecidos como aquosos e os produtos solubilizados em solventes orgânicos são chamados como base solvente. Portanto, o contato molecular entre o soluto e o solvente garante a eficiência de uma aplicação industrial (SILVA, 2021).

Os solventes derivados do petróleo são obtidos pelo método do craqueamento e formam polímeros e intermediários químicos, sendo o principal componente a nafta. A nafta é separada no refino do petróleo pela sua cadeia carbônica, e também de acordo com o aumento da temperatura de ebulição como mostrada na figura 25. Os solventes derivados de fontes não renováveis são: metanol, que é obtido do metanol presente no gás liquefeito de petróleo, o propanol, o isopropanol, o etilenoglicol, o butanol que são produzidos pela hidratação dos alcenos, a acetona formada pelo cumeno, o tolueno e xileno presentes em cadeias aromáticas, o metil etil cetona obtido do buteno, o metil isobutil cetona formado a partir da acetona, o hexano produzido pela destilação do petróleo e os acetatos obtidos pelo metano e solventes provenientes da acetona, como a diacetona álcool (SILVA, 2021).

Figura 25 - Principais componentes obtidos do refino do petróleo.

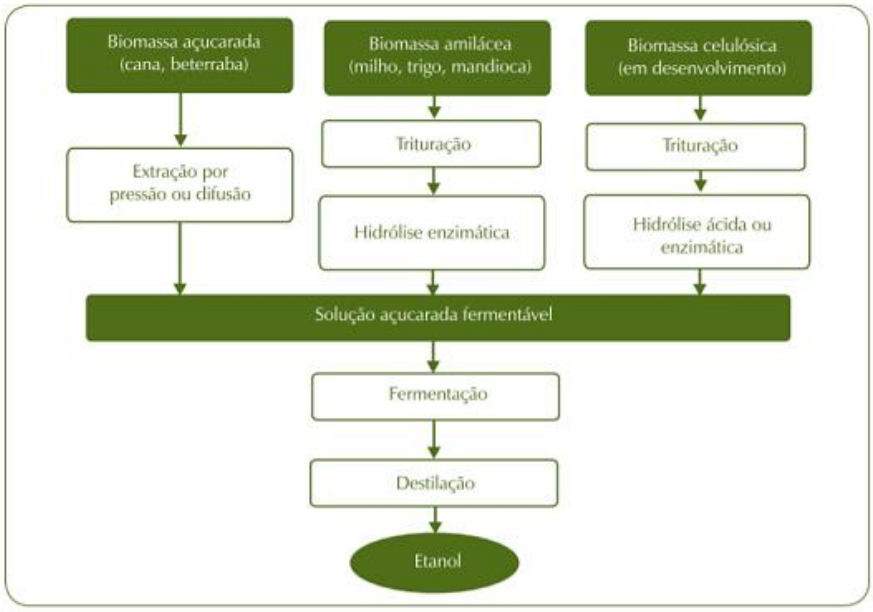


Fonte: SILVA (2021).

A escolha do solvente para o método de extração é realizada de modo que não ocorra a formação de reações secundárias e se obtenha um produto final 100% seguro. De fato, a maioria dos solventes são nocivos a longo prazo e considerados substâncias cancerígenas, tóxicas e mutagênicas. Assim, a legislação requer dosagens controladas e mínimas para operações que envolvam componentes potencialmente carcinogênicos em humanos (COSTA, 2022).

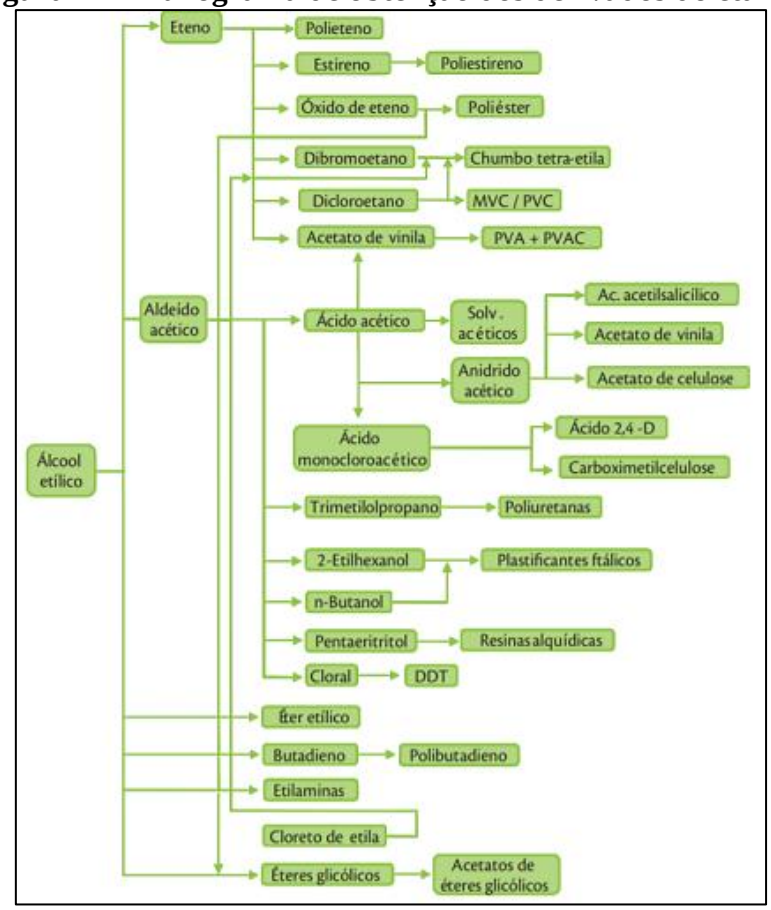
Outro solvente utilizado em ampla escala é o etanol e seus derivados, obtido por técnicas fermentativas na indústria alcoolquímica como mostrado na figura 26. Os derivados do etanol compreendem o cloreto de etila, acetato de celulose, acetato de etila, acetona, éter etílico que são representados pela figura 27. Todavia, os solventes obtidos do petróleo apresentam baixo custo quando comparados ao da rota alcoolquímica (COSTA, 2022).

Figura 26 - Fluxograma de obtenção do etanol.



Fonte: COSTA (2022).

Figura 27 - Fluxograma de obtenção dos derivados do etanol.



Fonte: COSTA (2022).

Os solventes de extração e processamento seguem normativas de autorização de uso quando relacionado a produção de alimentos e ingredientes. De acordo com a normativa nº 248/2005 é autorizado o uso de acetona, hexano, álcool etílico e dióxido de carbono para a fabricação de óleos e gorduras, sem condições específicas de uso. Outra normativa vigente compreende a de nº 239/2018 que autoriza o uso do álcool etílico para a produção de alimentos com limite quantum satis. Vale destacar, ainda, que o uso de solventes para a produção de alimentos e ingredientes devem seguir as boas práticas de produção e devem atender especificações de pureza e identidade. A figura 28 apresenta a lista de solventes autorizados para processamento de alimentos (ANVISA).

Figura 28 - Solventes autorizados na indústria de alimentos.

Nome do solvente	Condições de uso	Limites máximos de resíduos
Propano	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	quantum satis
Butano	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	quantum satis
Acetato de etila	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	quantum satis
Etanol	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	quantum satis
Dióxido de carbono	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	quantum satis
Acetona	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes, exceto no processo de refino do óleo de bagaço de azeitona.	quantum satis
Óxido nitroso	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	quantum satis
Metanol	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	10 mg/kg
Propan-2-ol	Autorizado para todos os usos na produção de alimentos e ingredientes.	10 mg/kg
Hexano	Autorizado para a produção ou fracionamento de gorduras e óleos e produção de manteiga de cacau.	1 mg/kg na gordura, óleo ou manteiga de cacau.
	Autorizado para preparação de produtos à base de proteínas desengorduradas e de farinhas desengorduradas.	10 mg/kg no alimento contendo o produto à base de proteínas desengorduradas ou nas farinhas desengorduradas.
	Autorizado para produção de compostos de nutrientes e constituintes de suplementos alimentares.	30 mg/kg nos produtos de soja desengordurados tal como são vendidos ao consumidor final.
	Autorizado para preparação de gérmens de cereais desengordurados.	30 mg/kg para compostos de nutrientes e constituinte de suplementos alimentares
	É proibida a utilização combinada do hexano e da etilmetilcetona	5 mg/kg nos gérmens de cereais desengordurados
Acetato de metila	Autorizado para descafeinação ou supressão das matérias irritantes e amargas do café ou do chá.	20 mg/kg no café ou no chá.
	Autorizado para produção de açúcar a partir do melaço.	1 mg/kg no açúcar.
Etilmetilcetona	Autorizado para fracionamento de gorduras e óleos	5 mg/kg na gordura ou no óleo.
	Autorizado para descafeinação ou supressão das matérias irritantes e amargas do café e do chá.	20 mg/kg no café ou no chá.
	O teor de n-hexano neste solvente não pode exceder 50 mg/kg.	
	É proibida a utilização combinada do hexano e da etilmetilcetona.	
Diclorometano	Autorizado para descafeinação ou supressão das matérias irritantes e amargas do café e do chá.	2 mg/kg no café torrado.
		5 mg/kg no chá.
Éter dimetílico	Autorizado para preparação de produtos à base de proteínas animais desengorduradas, incluindo gelatina.	0,009 mg/kg nos produtos à base de proteínas animais desengordurados, incluindo gelatina.
	Autorizado para preparação de colágeno e seus derivados, exceto gelatina.	3 mg/kg de colágeno e seus derivados, exceto gelatina.

Fonte: ANVISA.

Os solventes considerados produtos químicos apresentam uma FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos). Nessa ficha informativa, verifica a identificação do produto e da empresa, a identificação dos perigos, a composição e informação sobre os ingredientes, as medidas de primeiros-socorros, medidas de combate a incêndio, medidas de controle para derramamento ou vazamento, manuseio e armazenamento, controle de exposição e proteção individual, propriedades físicas e químicas, estabilidade e reatividade, informações toxicológicas, informações ecológicas, considerações sobre destinação final, informações sobre transporte, regulamentações e outras informações. Assim, é fundamental e obrigatório o uso de FISPQ nas indústrias com químicos.

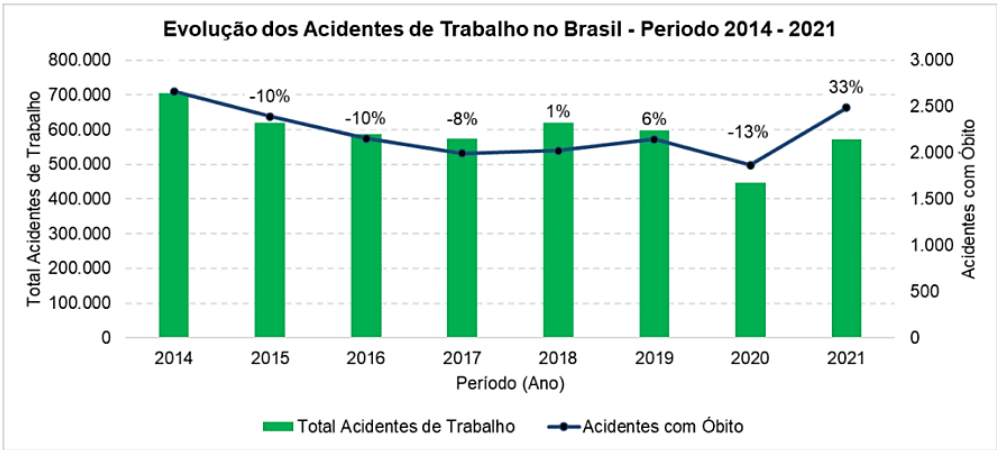
Em resumo, a partir das considerações mencionadas anteriormente sobre as técnicas de extração de obtenção dos óleos essenciais, pode-se concluir que em uma possível indústria de óleo essencial para fins farmacêuticos obtido da *Chromolaena squalida*, o melhor método de extração seria com solvente, devido ao bom rendimento do óleo, o alto grau de pureza, e por atender grandes volumes de produção.

4.3. ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS DE MATERIAIS PERIGOSOS NA INDÚSTRIA

No país, a quantidade de acidentes de trabalho nas indústrias é preocupante. De fato, as empresas visam a segurança como um valor que precisa ser monitorado constantemente e evidenciado por todos os colaboradores e para qualquer atividade por mais simples que seja. Dessa forma, identificar os possíveis riscos no ambiente de trabalho e na execução das atividades representam medidas preventivas de exposição dos trabalhadores às possíveis eventualidades danosas. Assim, a análise preliminar de risco (APR) representa uma ferramenta para mapear todos os perigos de uma determinada atividade com o objetivo de eliminar ou reduzir consequências dos cenários de acidente identificados (TEODORO, 2022).

A evolução dos acidentes de trabalho no Brasil aumentou exponencialmente em 33% quando comparada ao ano de 2020 como mostram os indicadores da figura 29. Infelizmente, nos últimos 8 anos, cerca de aproximadamente 18 mil mortes no ambiente de trabalho foram formalizadas, e em 2021 foram mais de 500 mil acidentes e quase 3 mil mortes correspondentes ao trabalho. Certamente, tais números representam oportunidades de segurança e melhorias na execução de atividades para reduzir esses índices de urgência (TEODORO, 2022).

Figura 29 - Evolução dos acidentes de trabalho no Brasil de 2014 a 2021.



Fonte: TEODORO (2022).

O principal objetivo da análise preliminar de risco consiste em identificar os possíveis perigos oferecidos ao operador antes de iniciar uma determinada atividade e definir medidas de controle para evitar algum tipo de acidente. Ademais, a análise preliminar de risco envolve inúmeras análises técnicas, operacionais, físicas, psicológicas e administrativas que possam afetar a situação de trabalho. Dessa forma, essa ferramenta também orienta os colaboradores dos riscos presentes na realização de tarefas, além de estabelecer procedimentos seguros, organizar a execução de determinada atividade, garantir um trabalho seguro, sensibilizar e promover a cultura da segurança entre os trabalhadores. Portanto, prevenir toda e qualquer forma de acidente que possa ser causado por falha humana ou mecânica assegura um valor para as indústrias que precisa a cada dia ser mais otimista (DRUMOND, 2022).

Outra ferramenta importante na indústria é a permissão de trabalho (PT), na qual permite que o operador realize atividades em áreas de risco em um tempo determinado. De fato, somente pessoas autorizadas devem estar na área de risco para realizar uma atividade. Vale destacar que a APR mapeia os riscos de uma atividade enquanto que a PT controla o acesso ao trabalho em uma área de risco. Além disso, o supervisor da área em conjunto com um representante da segurança são responsáveis por conduzir e definir os perigos e medidas de controle de riscos, mas também é válido a participação da operação para ampliar os níveis de percepção existentes na tarefa. Ambas as ferramentas consistem em formulários com detalhamento técnico do passo a passo da atividade que será executada, os piores cenários e as principais camadas de defesa, procedimentos de emergência, responsabilidades, data e assinatura de todos os participantes de atividade, equipamentos de proteção individual (EPI) que devem ser utilizados pelos colaboradores.

Assim, medidas práticas adotadas pelas empresas podem prevenir acidentes e doenças ocupacionais (DRUMOND, 2022).

A obrigatoriedade da APR está presente em inúmeras normativas (NR), dentre elas, destacam-se: NR 12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e equipamentos), NR 20 (Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis), NR 33 (Espaço Confinado), NR 35 (Trabalho em Altura), e outras. Merece destaque alguns programas de segurança elaborados a partir da APR, tais como PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais) e PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional). Portanto, a segurança é cabível tanto para pessoas, processos e meio ambiente (DRUMOND, 2022).

A análise preliminar de riscos é fundamental quando há presença de materiais perigosos no cotidiano, principalmente no ambiente de trabalho. Grande parte dos produtos químicos podem passar despercebidos, e por isso, é necessário atenção. De fato, antes de manusear um produto perigoso é importante aprender sobre suas particularidades e os principais cuidados envolvidos com segurança e saúde. Afinal, o que são os produtos perigosos? É qualquer produto líquido, sólido ou gasoso com potencial de causar danos à saúde, segurança, meio ambiente e no processo produtivo. Vale ressaltar que um produto isolado pode não apresentar alto potencial de dano, mas quando misturado com outros, seu potencial aumenta em decorrência das reações químicas capazes de formar substâncias agressivas aos tecidos vivos e estruturas. Assim, alguns cuidados são primordiais para evitar que os produtos químicos causem danos irreversíveis nos colaboradores em seu ambiente de trabalho (SEIDEL, 2024).

O uso correto de EPI, treinamentos, rotulagem e armazenamento adequados, procedimentos de diluição e interação, ficha de segurança do produto, padronização das cores e símbolos referentes aos materiais perigosos devem ser disponibilizados pela fábrica a todos os colaboradores para auxiliar no manuseio de substâncias químicas e atividades relacionadas. Merece destaque, a FDS (Ficha de dados de Segurança) em substituição a antiga FISPQ que corresponde a um documento padrão e normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) com o objetivo de fornecer informações do produto químico relacionados com segurança, saúde e meio ambiente com dezesseis pautas informativas. Certamente, entre os pontos de atenção mais importantes da FDS correspondem aos seguintes itens: perigos, primeiros socorros, manuseio e armazenamento, controle de incêndio, controle de vazamento e derramamento, EPIs (UFV, 2020).

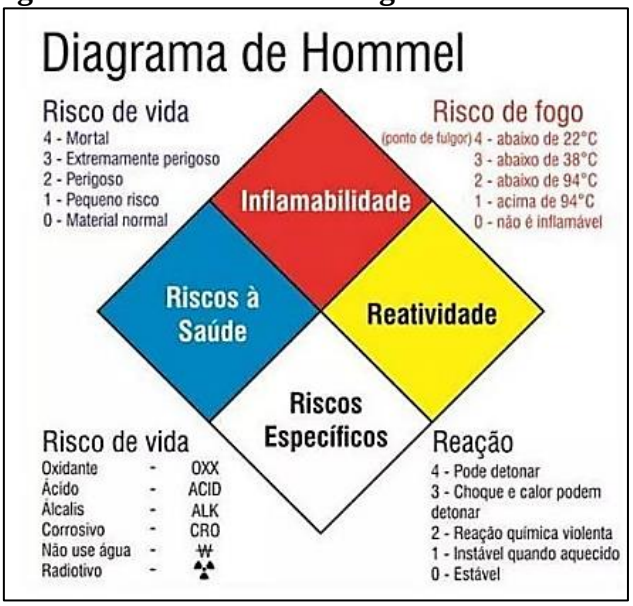
Alguns pictogramas muito utilizados quando relacionados a materiais perigosos são representados na figura 30 abaixo:

Figura 30 - Pictogramas de materiais perigosos

Fonte: QUIMIDEX (2020).

A simbologia que classifica o risco de diferentes produtos químicos, indicando o grau de perigo envolvendo materiais perigosos de diferentes níveis e substâncias corresponde ao Diamante de Hommel (figura 31), sendo que quanto maior as numerações, maior é o risco daquele químico. O quadrado em azul indica o risco à vida. Em vermelho, indica a temperatura de Fulgor, ou seja, a menor temperatura na qual uma substância libera vapores capazes de propagar uma chama, a partir do contato com uma fonte de ignição. Em branco, indica o risco específico. Por fim, em amarelo indica a reação.

Figura 31 - Diamante ou Diagrama de Hommel.



Fonte: FEPAM (2021).

Alguns métodos de identificação de tubulação (figura 32) são necessários nas indústrias. De fato, a padronização de cores contribui para a prevenção de acidentes, pois adverte aos colaboradores quanto às características dos produtos armazenados ou transportados. certamente o colaborador receberá o treinamento específico de acordo com o produto utilizado no processo produtivo. Assim, o colaborador deve ser capaz de identificar os riscos envolvidos e compreender os procedimentos para evitar acidentes (MACIEL, 2024).

Figura 32 - Padronização de cores em tubulações.

Fonte: PROMETAL.

Vale ressaltar que o número ONU (figura 33) representa um código de identificação da Organização das Nações Unidas com o objetivo de fornecer orientações sobre determinado produto ou substância para a sinalização de transporte rodoviário de produtos perigosos. De fato, o rótulo de risco (Figura 34) e o painel de segurança mostram informações relacionadas ao manuseio, armazenamento e técnicas de identificação, avaliação e medidas rápidas e eficazes em caso de acidentes. Ademais, os produtos perigosos podem ser classificados em nove classes e subclasses conforme a figura 35 e figura 36 (FEPAM, 2021).

Figura 33 - Figura ONU.

Fonte: FEPAM (2021).

Figura 34 - Significado dos Algarismos do Número de Risco.

Algarismo	Significado
0	Ausência de risco subsidiário
2	Desprendimento de gás devido à pressão ou à reação química.
3	Inflamabilidade de líquidos e gases ou líquido sujeito a auto aquecimento.
4	Inflamabilidade de sólidos ou, sólido sujeito a auto aquecimento.
5	Efeito oxidante (intensifica o fogo).
6	Toxicidade ou risco de infecção.
7	Radioatividade.
8	Corrosividade.
9	Risco de violenta reação espontânea.
X	Substância que reage perigosamente com água.

Fonte: FEPAM (2021).

Figura 35 - Classificação de materiais perigosos.

Classificação	Subclasse	Subclasse
Classe 1 Explosivos	1.1	Substância e artigos com risco de explosão em massa.
	1.2	Substância e artigos com risco de projeção, mas sem risco de explosão em massa.
	1.3	Substâncias e artigos com risco de fogo e com pequeno risco de explosão ou de projeção, ou ambos, mas sem risco de explosão em massa.
	1.4	Substância e artigos que não apresentam risco significativo.
	1.5	Substâncias muito insensíveis, com risco de explosão em massa;
	1.6	Artigos extremamente insensíveis, sem risco de explosão em massa.
Classe 2 Gases	2.1	**Gases inflamáveis**: são gases que a 20°C e à pressão normal são inflamáveis quando em mistura de 13% ou menos, em volume, com o ar ou que apresentem faixa de inflamabilidade com o ar de, no mínimo 12%, independente do limite inferior de inflamabilidade.
	2.2	**Gases não-inflamáveis, não tóxicos**: são gases asfixiantes, oxidantes ou que não se enquadrem em outra subclasse.
	2.3	**Gases tóxicos**: são gases, reconhecidamente ou supostamente, tóxicos e corrosivos que constituam risco à saúde das pessoas.
Classe 3 Líquidos Inflamáveis	-	**Líquidos inflamáveis**: são líquidos, misturas de líquidos ou líquidos que contenham sólidos em solução ou suspensão, que produzam vapor inflamável a temperaturas de até 60,5°C, em ensaio de vaso fechado, ou até 65,6°C, em ensaio de vaso aberto, ou ainda os explosivos líquidos insensibilizados dissolvidos ou suspensos em água ou outras substâncias líquidas.
Classe 4 Sólidos Inflamáveis	4.1	**Sólidos inflamáveis**, substâncias auto-reagentes e explosivos sólidos insensibilizados: sólidos que, em condições de transporte, sejam facilmente combustíveis, ou que por atrito possam causar fogo ou contribuir para tal; substâncias auto-reagentes que possam sofrer reação fortemente exotérmica; explosivos sólidos insensibilizados que possam explodir se não estiverem suficientemente diluídos.
	4.2	**Substâncias sujeitas à combustão espontânea**: substâncias sujeitas a aquecimento espontâneo em condições normais de transporte, ou a aquecimento em contato com ar, podendo inflamar-se.
	4.3	**Substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis**: substâncias que, por interação com água, podem tornar-se espontaneamente inflamáveis ou liberar gases inflamáveis em quantidades perigosas.
Classe 5 Oxidantes	5.1	**Substâncias oxidantes**: são substâncias que podem, em geral pela liberação de oxigênio, causar a combustão de outros materiais ou contribuir para isso.
	5.2	**Peróxidos orgânicos**: são poderosos agentes oxidantes, considerados como derivados do peróxido de hidrogênio, termicamente instáveis que podem sofrer decomposição exotérmica auto-acelerável.

Fonte: FEPAM (2021).

Figura 36 - Classificação de materiais perigosos

Classificação	Subclasse	Definições
Classe 6 Tóxicos/ Infectantes	6.1	**Substâncias tóxicas**: são substâncias capazes de provocar morte, lesões graves ou danos à saúde humana, se ingeridas ou inaladas, ou se entrarem em contato com a pele.
	6.2	**Substâncias infectantes:** são substâncias que contém ou possam conter patógenos capazes de provocar doenças infecciosas em seres humanos ou em animais.
Classe 7 Material Radioativo	-	Qualquer material ou substância que contenha radionuclideos, cuja concentração de atividade e atividade total na expedição (radiação), excedam os valores especificados.
Classe 8 Substâncias Corrosivas	-	São substâncias que, por ação química, causam severos danos quando em contato com tecidos vivos ou, em caso de vazamento, danificam ou mesmo destroem outras cargas ou o próprio veículo.
Classe 9 Substâncias e Artigos Perigosos Diversos	-	São aqueles que apresentam, durante o transporte, um risco não abrangido por nenhuma das outras classes.

Fonte: FEPAM (2021).

Em resumo, toda informação para identificação de riscos deve ser realizada com base em uma combinação de fatos que englobam desde o transporte do químico até qualquer atividade relacionada com seus respectivos perigos potenciais. Certamente, métodos de extração por solventes químicos são aplicáveis a todas as análises citadas anteriormente por serem classificados como substâncias inflamáveis.

4.3.1. NORMATIVAS

A importância das normativas de prevenção de acidentes nas indústrias são primordiais para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores. De fato, as leis preventivas estabelecem normas e procedimentos que devem ser regidas com rigorosidade para minimizar os riscos de acidentes e até mesmo doenças ocupacionais. Dessa forma, as normativas protegem os colaboradores e ajudam as empresas a reduzir perdas de produção e questões judiciais referentes às indenizações trabalhistas e até mesmo mazelas relacionadas à reputação do nome da indústria. Em resumo, as leis de prevenção de acidentes desempenham um papel importante no dia a dia de empregadores e empregados.

A norma regulamentadora (NR - 05) define as atribuições e o funcionamento da CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes e de Assédio). A CIPA (figura 37) tem por objetivo prevenir acidentes e doenças referentes ao trabalho, sendo propagadora da preservação da vida e saúde do colaborador. De fato, o artigo 23 da Lei 14457/2022 estabelece que as empresas devem atender as necessidades da CIPA, e também incluir condutas de prevenção e combate ao assédio sexual e demais tipos de violência no ambiente de trabalho. Os representantes da CIPA correspondem ao empregador e aos empregados, sendo seus membros operadores, supervisores ou gerentes. A eleição dos representantes é feita por toda a equipe fabril com duração de mandato de um ano e permite a reeleição. Assim, empresas que se preocupam com saúde e segurança de seus colaboradores garantem o pleno funcionamento da CIPA (BRASIL, 2024).

Figura 37 - Logo CIPA.

Fonte: PADOVAN (2018).

As principais funções relacionadas a comissão interna de prevenção de acidentes e de assédio correspondem a elaboração de mapas e situações de risco no ambiente de trabalho, plano de ações corretivas e preditivas, divulgação de campanhas e informações fundamentais aos colaboradores, auditorias internas das condições trabalhistas nos

setores, avaliação das diretrizes propostas e realizadas, além de participação em campanhas de saúde e elaboração da semana interna de prevenção de acidentes do trabalho. Certamente, a CIPA assegura que as condições de trabalho sejam ideais para a realização de toda e qualquer atividade realizada dentro da empresa. Portanto, o ambiente de trabalho mostra-se mais seguro e minimiza riscos de acidentes por meio da fiscalização da comissão, além de melhorias no setor e produtividade da operação (PADOVAN, 2018).

A Normativa regulamentadora (NR-10) apresenta funções específicas para áreas classificadas quanto ao uso de serviços elétricos. Além disso, apresenta medidas de controle, isolamentos, dispositivos de proteção que contribuem para a segurança e quaisquer atividades que precisem fazer uso da energia elétrica. Todavia, somente profissionais treinados (NR-10) e autorizados podem realizar atividades elétricas nas empresas. Portanto, os colaboradores que trabalham nessas condições, obrigatoriamente, devem receber um treinamento sobre as disposições de segurança e ações de prevenção contra riscos elétricos, a fim de serem, eles mesmos, supervisores das atividades realizadas dentro da empresa (BRASIL, 2024).

A norma regulamentadora (NR-20) significa Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis, na qual regulamenta a execução do trabalho que envolve materiais perigosos, desde equipamentos, atividades operacionais e instalações. Certamente, a NR-20 estabelece condições mínimas para a gestão da segurança e da saúde no trabalho contra riscos de acidentes por atividades de extração, armazenamento, produção, descarga de químicos, manipulação e líquidos combustíveis e inflamáveis. Dessa forma, a normativa citada garante planos de manutenção específicos em instalações consideradas áreas classificadas, planos de resposta à emergência, capacitação dos trabalhadores, controle de fontes de ignição, classificação das instalações, prevenção e controle de vazamentos, incêndios, explosões, análise de riscos, atividades operacionais, sinalização referentes ao Benzeno, medidas de controle coletivo de exposição durante o abastecimento, avaliação ambiental. Assim, é fundamental conhecer os critérios de classificação das instalações e as normativas aplicadas na execução das atividades como mostra na figura 38 (BRASIL, 2024).

Figura 38 - Classificação das instalações industriais.

Classe I
a) Quanto à atividade: a.1 - postos de serviço com inflamáveis e/ou líquidos combustíveis. a.2 - atividades de distribuição canalizada de gases inflamáveis em instalações com Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA limitada a 18,0 kgf/cm^2.
b) Quanto à capacidade de armazenamento, de forma permanente e/ou transitória: b.1 - gases inflamáveis: acima de 2 ton até 60 ton; b.2 - líquidos inflamáveis e/ou combustíveis: acima de 10 m^3 até 5.000 m^3.
Classe II
a) Quanto à atividade: a.1 - engarrafadoras de gases inflamáveis; a.2 - atividades de transporte dutoviário de gases e líquidos inflamáveis e/ou combustíveis. a.3 - atividades de distribuição canalizada de gases inflamáveis em instalações com Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA acima de 18,0 kgf/cm^2.
b) Quanto à capacidade de armazenamento, de forma permanente e/ou transitória: b.1 - gases inflamáveis: acima de 60 ton até 600 ton; b.2 - líquidos inflamáveis e/ou combustíveis: acima de 5.000 m^3 até 50.000 m^3.
Classe III
a) Quanto à atividade: a.1 - refinarias; a.2 - unidades de processamento de gás natural; a.3 - instalações petroquímicas; a.4 - usinas de fabricação de etanol.
b) Quanto à capacidade de armazenamento, de forma permanente e/ou transitória: b.1 - gases inflamáveis: acima de 600 ton; b.2 - líquidos inflamáveis e/ou combustíveis: acima de 50.000 m^3.

Fonte: BRASIL (2024).

Vale destacar a normativa regulamentadora (NR-16) referente a atividades e operações perigosas. A normativa assegura ao colaborador em condições de periculosidade um adicional salarial de 30% sobre o salário. Dessa forma, são consideradas atividades ou operações perigosas as que são realizadas com explosivos expostos à degradação química ou autocatalítica, a ação de agentes externos como umidade, calor, faíscas, fogo, choque, atritos. Além disso, atividades relacionadas com transporte de inflamáveis líquidos ou gases liquefeitos também são condições de periculosidade. Todavia, um líquido combustível apresenta ponto de fulgor maior que 60ºC (sessenta graus Celsius) e menor ou igual a 93ºC (noventa e três graus Celsius). Todavia, a lei considera atividades perigosas todo e qualquer trabalho que expõe o colaborador em contato permanente com materiais inflamáveis, explosivos, substâncias radioativas, eletricidade, substâncias ionizantes. Em resumo, é fundamental que o trabalhador executante de atividades perigosas saiba e garanta seus direitos dentro das conformidades da lei (BRASIL, 2024).

Em contrapartida, a normativa regulamentadora (NR-26) estabelece medidas referentes à sinalização de segurança nas empresas. As sinalizações por cores são fundamentais para a comunicação de uma boa segurança para indicar os perigos e riscos

relacionados ao ambiente de trabalho. Dessa forma, a classificação de materiais perigosos deve ser seguida de rotulagem preventiva, como a identificação e composição dos químicos, os pictogramas de perigo, frases de perigo, precauções, advertências e informações complementares como inseridas na ficha com dados de segurança. A sinalização das cores (Figura 39) é utilizada para prevenir e despertar cuidados necessários dos trabalhadores na indústria.

Figura 39 - Cores de sinalização.

Fonte: PROMETAL.

Outra norma regulamentadora fundamental corresponde a NR-06, que define um conjunto de regras para a utilização de EPIs (equipamentos de proteção individual) nas empresas com o objetivo de assegurar a proteção dos trabalhadores durante a jornada laboral. Dessa forma, os EPIs devem ser fornecidos pela empresa aos seus empregados nas seguintes circunstâncias: quando as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra agentes de riscos existentes no ambiente de trabalho, enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas e para atender situações de emergência. Ademais, o EPI protege o trabalhador individualmente contra riscos que possam ameaçar sua segurança, integridade física e saúde durante a realização das atividades. Portanto, é obrigatório que a empresa forneça os EPIs (Figura 40) necessários de acordo com a zona corporal que precisa ser protegida (PROMETAL).

Figura 40 - Exemplos de EPIs.

Fonte: PROMETAL.

Os EPIs podem ser classificados de acordo com a zona corporal protegida. Desse modo, o capacete é utilizado para a proteção da cabeça, os abafadores de ruídos e protetores auriculares são para a proteção auditiva, já as máscaras são para a proteção facial, os óculos de proteção correspondem a proteção ocular, luvas e mangotes para proteção de mãos e braços, botas, perneiras e batinas como medidas protetivas para pés e pernas. Vale destacar um cuidado especial da empresa Cargill Agrícola S.A com relação às cores dos capacetes de seus colaboradores como destacado na figura 41. Assim, todo cuidado é importante para a cultura de segurança presente em uma indústria (PROMETAL).

Figura 41 - Cores dos capacetes na indústria Cargill.

Fonte: CARGILL.

Outro ponto importante refere-se ao PAE (Plano de Ação de Emergências) que tem por objetivo a tomada de medidas preventivas em situações de emergência por meio de procedimentos e aprimorar a cultura de segurança e prevenção para que todos os colaboradores de uma empresa saibam agir em situações extremas, como por exemplo, um incêndio, ativação de alarmes sonoros, e outros. O PAE define quais serão os pontos de encontros dos funcionários em casos extremos, e define as rotas de fuga, além de ações e responsáveis em cada área, e sistemas de alarmes sonoros. Portanto, é fundamental que o colaborador esteja ciente do plano de ação de emergência na indústria para evitar catástrofes inesperadas (ANVISA).

Uma análise mais específica em plantas de extração por solvente, a NFPA 36 (Agência Nacional de Proteção contra Incêndio 36) é aplicável ao processo de extração em escala comercial de óleos e gorduras animais e vegetais quando utilizados líquidos de hidrocarbono inflamável de Classe 1, doravante referidos como “solventes”. Ademais, o hexano é o solvente mais comumente utilizado na extração de óleos por baixa toxicidade, características de engenharia e custo moderado, com isso, requer condições de armazenamento seguras, precauções para manipulação, supervisão e treinamento. Portanto, o operador deverá seguir sempre as orientações de saúde e de segurança adequada, para produtos químicos solventes e outros produtos em uso (ANVISA).

De acordo com (ANVISA), as seguintes normas obrigatórias para plantas que usam solvente são:

NFPA 15: Sistemas Fixos de Pulverização de Água

NFPA 36: Plantas de Extração por Solventes

NFPA 61B: Prevenção contra Explosão por Poeira, Moinhos de alimentos

NFPA 68: Ventilação de Explosão

NFPA 69: Sistemas de Prevenção de Explosão

NFPA 77: Eletricidade Estática

NFPA 101: Código de Proteção à Vida

Em resumo, a gestão da empresa é obrigada a designar uma pessoa, ou comitê com capacidade, responsabilidade, autoridade, qualificação para aprovar um programa eficaz de aplicação de códigos e condutas de segurança, registros diários, relações com bombeiros e policiais locais, pessoa responsável de cada turno, antecipação de situações de emergência e eclosão de incêndios para garantir instalações limpas e eficientes operando em capacidades satisfatórias em condições seguras.

4.3.2. ÁREA CLASSIFICADA E DEVIDOS CUIDADOS

Área classificada significa uma área potencialmente explosiva ou com risco de explosão, a ponto de exigir precauções especiais para construção, instalação e utilização de equipamentos elétricos (Figura 42). Dessa forma, qualquer fonte de ignição pode provocar incêndio ou explosão ao entrar em contato com a atmosfera inflamável ou explosiva. Certamente, em áreas classificadas devem ser tomados cuidados especiais para prevenir a ignição de vapores inflamáveis eventualmente presentes. Dentre as principais fontes de ignição mostram-se: solda elétrica, ferramentas que produzem faísca, solda oxiacetilênica, aparelhos elétricos e eletrônicos, descarga eletrostática, centelhas em

virtude de curto circuito, radiofrequência (RF) e ondas eletromagnéticas. Portanto, em áreas classificadas devem ser empregados apenas equipamentos elétricos especialmente fabricados para uso em atmosfera potencialmente explosivas EX (atmosfera explosiva), com Certificado de Conformidade que ateste adequação para a atmosfera do local (AMPERI, 2022).

Figura 42 - Sinalização de área classificada.

Fonte: AMPERI (2022).

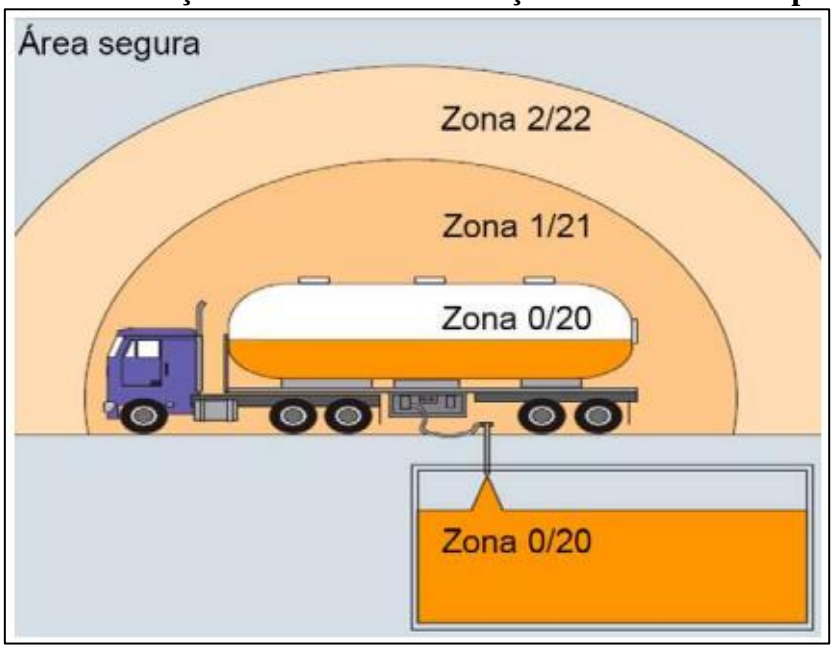
A medição dos gases, vapores, poeiras ou fibras explosivas em área classificada é realizada por meio de um detector de gases (Figura 43) inicialmente antes de realizar qualquer tipo de manutenção segura em uma área de atmosfera explosiva. Conhecido como Limite Inferior de Inflamabilidade (LEL), representa a concentração de material combustível no ar, abaixo do qual não ocorre ignição, também nomeado por Limite Mínimo de Explosão, por exemplo, o do hexano é igual a 1,2%. Por outro lado, o Limite Superior de Inflamabilidade (UFL) significa a concentração de um material combustível no ar, acima do qual não ocorrerá ignição, também chamado de Limite Superior de Explosão (UEL), por exemplo, o hexano é igual a 7,7%. Assim, toda atividade realizada em vasos de pressão com riscos de gases explosivos deve ser utilizado o aparelho multigás para medição de potenciais de explosividade (AMPERI, 2022).

Figura 43 - Detector multigás.

Fonte: INSTRUBRAS.

As áreas classificadas podem ser nomeadas de acordo com a duração da explosão e da frequência. A zona 0 representa uma atmosfera explosiva permanente. A zona 1 representa a probabilidade, em condições normais de funcionamento, da formação de atmosfera explosiva de gás ou névoa. Na zona 2, baixa probabilidade de formação de atmosfera explosiva. A zona 20 representa a área que existe permanentemente ou durante longos períodos uma atmosfera explosiva na forma de poeira combustível. Já a zona 21, corresponde a área de probabilidade de formação ocasional de nuvem de poeira. Por fim, a zona 22, baixa probabilidade de formação de nuvem de poeira. Em resumo, conhecer a zona de classificação (Figura 44) de uma área classificada contribui para a identificação de medidas preventivas de segurança no ambiente de trabalho (AMPERI, 2022).

Figura 44 - Ilustração da zona de classificação de atmosferas explosivas.



Fonte: COMERCIAL EX.

Os principais ramos industriais que podem ser designados como área classificada por conter atmosferas explosivas correspondem a terminais de armazenamento de petróleo e seus derivados, tanques de armazenamento, indústrias petroquímicas e químicas, indústrias de álcool, alimentos e biocombustíveis, caminhões de produtos químicos inflamáveis, indústrias farmacêuticas e de cosméticos, silos e armazéns relacionados a grãos, plataformas offshore de petróleo (AMPERI, 2022).

Dentre os acidentes ocorridos em áreas classificadas segundo alguns estudos realizados, 38% dos acidentes correspondem a falta de equipamentos de segurança, 20% estão relacionados com a baixa qualificação e especialização de mão de obra, 25% por

falta de fiscalização e obrigatoriedade das normativas, e 17% em negligência das empresas para a compra de materiais específicos (Figura 45) para porte de área classificada. Um acidente de trabalho em área classificada que ficou mundialmente conhecido foi em agosto de 2020, no Porto de Beirute, no Líbano. Cerca de 2750 toneladas de nitrato de amônio em ignição utilizado como fertilizante agrícola causou a morte de pelo menos 200 pessoas, e a explosão foi igual a um terremoto de escala 3.3, ou de uma explosão de 1 tonelada de dinamite. A catástrofe causou uma cratera de 140 metros de extensão e pode ser ouvido a uma distância equivalente de 200 quilômetros do local ocorrido. Vale destacar que em inspeções portuárias anteriores de onde ocorreu o acidente foram apontadas irregularidades quanto ao vazamento do produto em sacos rasgados e indevidamente estocados. Portanto, a segurança em áreas classificadas nunca deve ser opcional, mas uma prioridade (AMPERI, 2022).

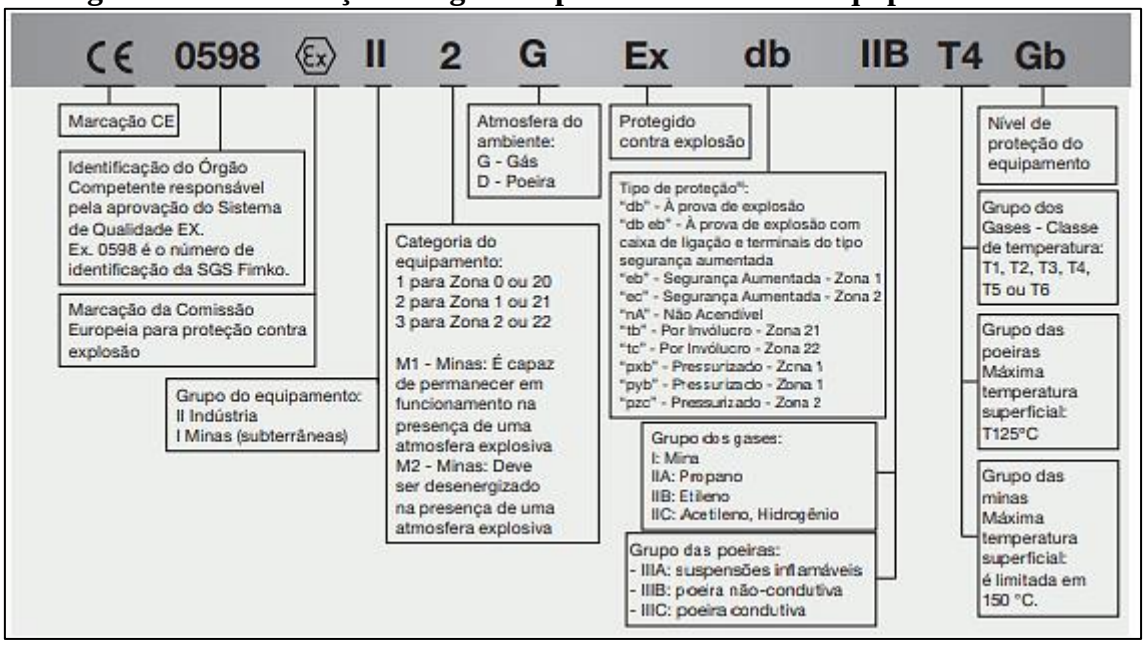
Figura 45 - Grupo, categoria e proteção do equipamento EX em áreas classificadas.

Grupo do equipamento	ATEX Directiva 2014/34/EU Categoria do Equipamento	Zona	Nível de Proteção do Equipamento	Atmosfera	Nível de Proteção	Uso
I (Minas)	M1	-	Ma	Metano (Grisú)	Muito alto	É capaz de permanecer em operação na presença de atmosfera Explosiva.
	M2	-	Mb		Alto	Desenergizado na presença de atmosfera explosiva.
II (Outros)	1	0	Ga	G - Gases, Vapores D - Poeiras	Muito alto	Zonas 0, 1 e 2
		20	Da			Zonas 20, 21 e 22
	2	1	Gb		Alto	Zonas 1 e 2
		21	Db			Zonas 21 e 22
	3	2	Gc		Melhorado	Zona 2
		22	Dc			Zona 22

Fonte: WEG.

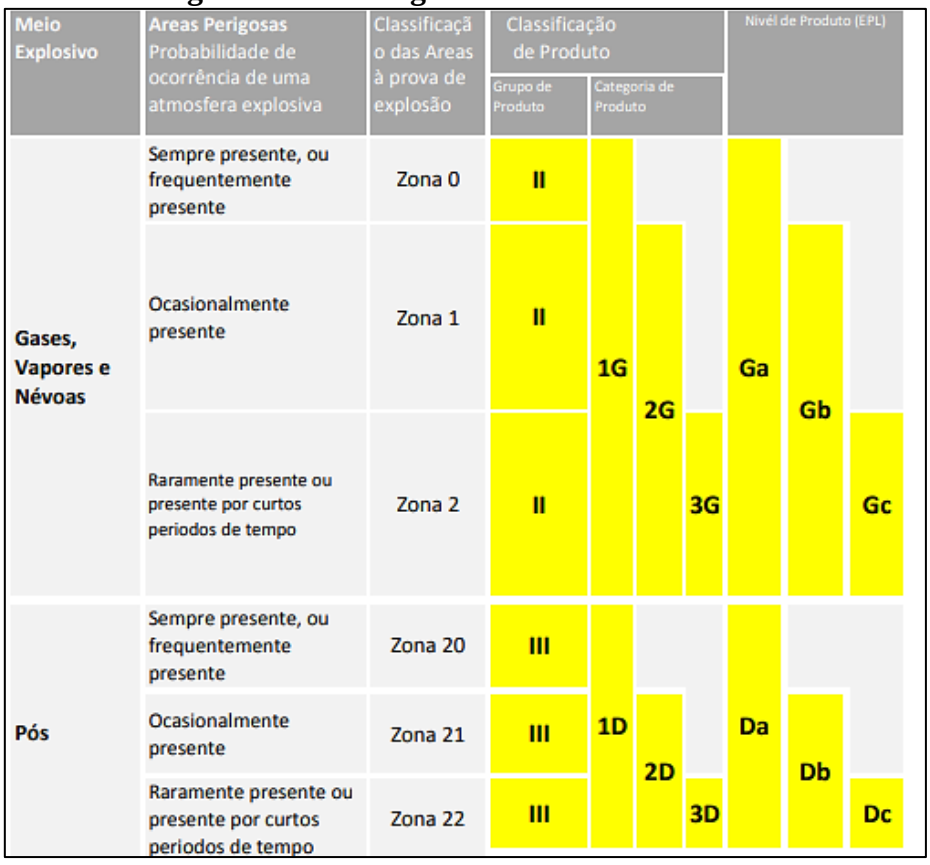
As principais medidas preventivas de segurança para áreas classificadas são a identificação das zonas, a certificação dos equipamentos (Figura 46), manutenção programada, operação treinada e qualificada, sinalização visível e correta, controle de fontes de ignição (Figura 47), ventilação adequada para reduzir concentração de substâncias explosivas, monitoramento real, equipamentos de proteção individual, procedimentos de urgência e emergência, inspeções regulares, documentação adequada em conformidade com as normativas e auditorias. Assim, investir na prevenção e na integridade de pessoas, processos e meio ambiente são passos fundamentais para garantir um ambiente de trabalho seguro e de números mínimos riscos de acidentes possíveis (COMERCIAL EX).

Figura 46 - Certificação obrigatória para fabricantes de equipamentos EX.



Fonte: WEG.

Figura 47 - Rotulagem de áreas classificadas.

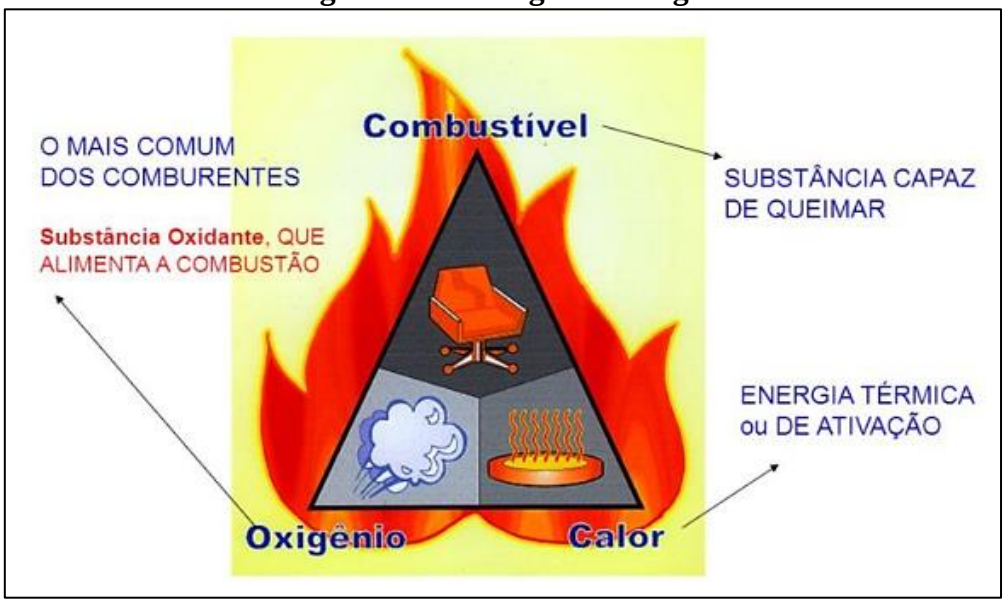


Fonte: SERVER.

Um outro conceito fundamental de segurança em áreas classificadas corresponde ao triângulo do fogo (Figura 48), onde mostra-se os três elementos para condições de

incêndio. Dentre eles, o combustível que representa o material que o fogo consome para manter, o comburente que na maioria das vezes é o oxigênio que irá alimentar a combustão, e a fonte de calor que é a fonte necessária para iniciar a combustão. Todavia, essa ferramenta é utilizada para medidas de proteção contra incêndios com o intuito de evitá-lo e controlá-lo. Portanto, o triângulo do fogo mostra-se extremamente eficaz para compreender os princípios básicos da combustão e a melhor forma de combater incêndios (PAULA, 2022).

Figura 48 - Triângulo do Fogo.



Fonte: PAULA (2022).

Em resumo, compreender sobre área classificada e os devidos cuidados é primordial para boas práticas de segurança e da integridade dos colaboradores de uma indústria. Dessa forma, evitar possíveis causas de ignição em atmosferas explosivas é cabível por meio do cumprimento das normativas, do uso de equipamentos e materiais adequados, de medidas preventivas de segurança e de muito preparo e treinamento para os trabalhadores. Com isso, será possível identificar e avaliar possíveis causas de fontes de ignição, utilizar somente equipamentos autorizados, formalizar inspeções regulares ou qualquer outra medida que permita um ambiente de trabalho mais seguro e preventivo de acidentes.

5. CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica de obtenção de óleos essenciais de plantas, em especial ao da *Chromolaena squalida*, e as principais técnicas de extração mapeadas no processo

evidenciaram a importância da segurança em avaliar as principais análises de riscos em uma indústria classificada, principalmente no processo de extração por solvente, sendo os solventes considerados materiais perigosos por seu potencial de inflamabilidade. Assim, os principais métodos extrativos utilizados na obtenção de óleos essenciais correspondem à extração por arraste de vapor, a de solvente e a por fluido supercrítico. Os solventes mais utilizados para extração de óleo essencial correspondem aos derivados de petróleo e aos alcoólicos. A utilização do solvente considerado um químico perigoso demanda por medidas de segurança fundamentais para uma área classificada de modo a obter um processo seguro e estável para todos os envolvidos na indústria de processos.

Entre os principais métodos de extração para obtenção dos óleos essenciais destacam-se a extração por arraste de vapor, a extração por solvente e a por fluido supercrítico. Como evidenciado anteriormente na discussão da temática, a extração por arraste de vapor apresenta um método econômico, por não necessitar de equipamentos sofisticados, é utilizada amplamente na extração de óleos essenciais, e não utiliza solventes tóxicos, pois somente envolve água ou vapor de água no método. Em contrapartida, necessita de altas temperaturas e podem degradar compostos sensíveis ao calor, é considerado um método lento, e apresenta baixo rendimento, principalmente para compostos pouco voláteis. Em relação a extração por solvente, algumas vantagens mostraram-se significativas, dentre elas foram em relação ao bom rendimento para uma diversidade de compostos e inclusive para os não voláteis, a grande variedade de solventes para a extração de compostos, e a baixa degradação dos compostos por ser um método utilizado em temperaturas mais baixas. A desvantagem do processo de extração por solvente está nos resíduos de solventes tóxicos presente no produto final, sendo necessário uma etapa adicional de purificação, também nos requisitos de segurança por se tratar de solventes inflamáveis e requerer cuidados especiais de processos, pessoas e meio ambiente, principalmente se o solvente orgânico não for bem gerenciado, pode causar impactos ambientais severos. A extração por fluido supercrítico apresenta alta eficiência e seletividade para extração de compostos, ajustando somente indicadores de temperatura e pressão, além disso, não utiliza solvente tóxico, somente o dióxido de carbono que pode ser removido facilmente do produto final, e o método pode ser realizado em temperaturas moderadas o que minimiza a degradação térmica dos compostos. Por fim, é um método que requer alto custo de equipamentos, processo de alta pressão, minimizando os custos operacionais e de manutenção, necessário controle rigoroso das condições extrativas e treinamento específico, e limitações de solubilidade devido alguns

compostos apresentarem baixa solubilidade no fluido supercrítico e ser necessário a presença de modificadores de co-solvente, tornando o processo ainda mais caro.

Quando comparadas as três técnicas de extração, a escolha do melhor método visando a escala industrial de obtenção de óleo essencial referente a versatilidade de matérias primas, a eficiência e rendimento, custo benefício, controle de processos a escolhida refere-se ao método de extração por solvente. Inicialmente, as indústrias optam por processos mais rentáveis tanto financeiramente quanto em um bom produto final que garanta as especificações do cliente. Em seguida, a confiabilidade comprovada da técnica com procedimentos operacionais tradicionais padronizados é preferível em grande parte das indústrias, além da grande vantagem para processar grandes volumes de matéria prima. Por fim, a tamanha aplicabilidade do método por diferentes diretrizes de plantas, os avançados processos de recuperação e reutilização dos solventes torna o método mais sustentável, extensa base de dados e conhecimentos sobre a solubilidade de compostos em diversos solventes fazendo com que a técnica seja uma escolha prática, mas requer cuidados especiais devido ao potencial de toxicidade dos solventes.

Indústria com processo de extração por solvente são consideradas áreas classificadas em decorrência dos riscos de explosão através da presença de substâncias inflamáveis na forma de gases, poeiras, vapores, por exemplo os solventes como hexano, etanol, éter, acetona e outros hidrocarbonetos. Dessa forma, qualquer fonte de ignição como faísca elétrica, superfícies quentes, chamas podem colaborar para a formação de atmosferas explosivas. Sendo assim, procedimentos rigorosos são necessários para áreas classificadas, desde uma análise preliminar de risco até normativas específicas, equipamentos de proteção individual, detectores de gás, planos de contingência e manuseio controlado de químicos. Portanto, a classificação da área ajuda a garantir que todas as medidas de segurança sejam aplicadas para minimizar riscos de acidentes, explosão, incêndios, cumprindo assim com as normativas de segurança na indústria e protegendo pessoas, processos e o meio ambiente. Afinal, a segurança na indústria representa uma jornada contínua, onde cada medida preventiva corresponde a um tijolo na construção de uma operação mais segura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPERI, A. **Segurança e normas em áreas classificadas**. Soluções industriais, 2022. Disponível em: <https://amperi.com.br/canais/seguranca-e-normas/areas-classificadas/>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ANVISA. **Solventes de extração e processamento autorizados para uso na produção de alimentos e ingredientes**. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/documents/33880/5833856/Apresenta%C3%A7%C3%A3o+sobre+solventes+de+extra%C3%A7%C3%A3o/5978d7f3-0926-4aef-8558-632c7c30ffd6>. Acesso em: 13 jul. 2024.

BIZZO, H.R.; REZENDE, C. M. **O mercado de óleos essenciais no Brasil e no mundo na última década**. Instituto de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170889>. Quim. Nova, Vol. 45, No. 8, 949-958, 2022.

BOTELHO, A. B. M.; ARAUJO, R. M. **Análise Cromatográfica do Óleo Essencial Extraído da Canela Comercial.** Revista Científica, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i6.1511>. Acesso em: 14 jul. 2024.

BRASIL. **Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis**. Versão atualizada, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-20-atualizada-2024.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CARGILL. **Media assets library**. Disponível em: <https://www.cargill.com.br/pt_BR/media-assets-library>. Acesso em: 01 jul. 2024.
COMERCIAL EX. **Guia EX**. Disponível em: <https://www.comercialex.com.br/wp-content/uploads/GUIA-EX.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2024.

COSTA, L. D. D. **Revisão bibliográfica sobre comparação de metodologias convencionais de extração de óleos essenciais.** Universidade Federal de São Paulo. Diadema, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/ae0c0083-5173-4a2b-a298-4206b8b4ac35>. Acesso em: 02 jul. 2024.

DRUMOND, B. **Análise preliminar de risco (APR): o que é e suas 5 etapas**. Engenharia Adequada, 2022. Disponível em: <https://adequada.eng.br/analise-preliminar-riscos/#:~:text=O%20principal%20objetivo%20da%20APR,para%20a%20corre%C3%A7%C3%A3o%20desses%20riscos>. Acesso em: 05 jul. 2024.

FEPAM. **Manual de identificação de produtos perigosos**. Divisão de Emergências Ambientais, 2021. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202212/26133323-manual-identificacao-produto-perigoso.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2024.

GABRIEL, J. A.; SALVADOR, L. H. D. F. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da extração de óleo essencial de pimenta rosa na Comunidade Olivença/BA**. Projeto de Final de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

HIPEREQUIPAMENTOS. **Liquidificador Industrial.** Disponível em: <https://www.hiperequipamentos.com.br/produto/liquidificador-industrial-19-litros-metvisa-basculante-1cv-110v-lqb19-69161 >. Acesso em: 10 jul. 2024.

INSTRUBRAS. **Instrumentos de medição**. Disponível em: <https://www.instrubras.com.br/>. Acesso em: 24 jul. 2024.

JESUS, G. S. D. et. al. **Antimicrobial Potential of Essential Oils from Cerrado Plants against Multidrug−Resistant Foodborne Microorganisms.** Instituto de Química. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2020.

LEMES, M. R. **Extração de Óleo de Gergelim**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20608?mode=full>. Acesso em: 02 jul. 2024.

LOREGIAN, A. **Comparação entre Dois Métodos de Extração e Caracterização de Óleos Essenciais de Plantas do Horto de Plantas Medicinais do Grupo PET**. Agronomia UTFPR. Pato Branco, 2013. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15438>. Acesso em: 3 jun. 2024.

MACIEL, T. **Norma de Sinalização de Segurança**. Beta Educação, 2024. Disponível em: <https://betaeducacao.com.br/sinalizacao-de-seguranca-nr-26-e-nbr-7195-2/>. Acesso em 06 jul. 2024.

NASCIMENTO, P. et al. **Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais: uma abordagem multifatorial dos métodos.** Revista Brasileira de Farmacologia, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/pjSFydVRNTHtVw48qPPmZQN/?lang=pt>. Acesso em: 13 jun. 2024.

NISHIMOTO, K. S.; SOUZA, M. D. S. **Extração do óleo essencial de Schinus terebinthifolius raddi e avaliação da eficiência bactericida do sabonete desenvolvido**. Universidade do Vale do Paraíba. Faculdade de engenharias, arquitetura e urbanismo. São José dos Campos, 2016.

OLIVEIRA e JOSE. Processos **de extração de óleos essenciais**. Dossiê Técnico – Instituto de Tecnologia do Paraná. Versão atualizada, 2021. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTgy>. Acesso em: 26 jun. 2024.

PADOVAN, M. **Comissão interna de prevenção de acidentes. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita.** Araraquara, 2018. Disponível em: <https://www.fclar.unesp.br/#!/instituicao/administracao/cipa/acoes/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PAULA, A. **Segurança do trabalho sempre**. Combate a incêndio, 2022. Disponível em: <https://cb.es.gov.br/Media/CBMES/PDF's/CEIB/GCE/Preven%C3%A7%C3%A3o%20e%20Combate%20a%20Inc%C3%AAndios%20-%20Apostila%20CFBP%202022.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2024.

PEREIRA, M. A. A. **Estudo da atividade antimicrobiana de óleos essenciais extraídos por destilação por arraste a vapor e por extração supercrítica.** Pontifícia

Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de pós-graduação em engenharia e tecnologia de materiais. Porto Alegre, 2010.

PROMETAL. **Sinalização de segurança**. Disponível em: <https://prometalepis.com.br/blog/nr-26-cores-na-sinalizacao-de-seguranca/#:~:text=Vermelho%3A%20Identifica%20os%20equipamentos%20de,Amarelo%3A%20Tenha%20cuidado>. Acesso em: 12 jul. 2024.

QUIMIDEX. **Pictogramas de perigo e exemplos correlacionados das classes de perigo**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://quimidex.ufsc.br/index.php/ambiente-tematico-qv/ghs-e-mds/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

REFLORA. **Flora e Funga do Brasil.** Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/BemVindoConsultaPublicaConsultar.do?invalidatePageControlCounter=&idsFilhosAlgas=&idsFilhosFungos=&lingua=&grupo=&familia=null&genero=&especie=&autor=&nomeVernaculo=&nomeCompleto=ASTERACEAE+Chromolaena+squalida+(DC.)+R.M.King+&+H.Rob.&formaVida=null&substrato=null&ocorreBrasil=QUALQUER&ocorrencia=OCORRE&endemismo=TODOS&origem=TODOS&regiao=QUALQUER&estado=QUALQUER&ilhaOceanica=32767&domFitogeograficos=QUALQUER&bacia=QUALQUER&vegetacao=TODOS&mostrarAte=SUBESP_VAR&opcoesBusca=TODOS_OS_NOMES&loginUsuario=Visitante&senhaUsuario=&contexto=consulta-publica#:~:text=Chromolaena%20squalida%20%C3%A9%20uma%20esp%C3%A9cie,a%20estudarem%20Eupatorium%20e%20Chromolaena.>. Acesso em: 25 abr. 2024.

SARTO, M. P. M.; JUNIOR, G. Z. **Atividade antimicrobiana de óleos essenciais**. Revista Uningá. Universidade Estadual de Maringá, 2014. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1559>. Vol.20, n.1, pp.98-102 (Out - Dez 2014).

SARTOR, R. B. **Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade Industrial de Extração de Óleos Essenciais por Arraste a Vapor**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21924/000737903.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SEIDEL, L. R. **Prevenção e Controle de Perdas**. Uniasselvi, 2010. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=10252>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SERVER. **Tabela classificação EX**. Disponível em: <https://server.projectista.pt/app/uploads/2013/09/Tabela_Classificacao_EX_3_A3.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2024.

SILVA, S. A. D. **Solventes Orgânicos Industriais**. Rauter Química. Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, 2021. Disponível em: <https://www.rauter.com.br/>. Acesso em: 01 jul. 2024.

SILVEIRA, J. C. et. al. **Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais**. Enciclopédia Biosfera. Universidade Federal do Espírito Santo, 2012. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20exatas%20e%20da%20terra/levantamento%20e%20analise.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2024.

SOLVEN. **As principais aplicações de solventes na indústria química**. 08 abr. 2024. Disponível em: <https://solven.com.br/solventes-e-thinners/as-principais-aplicacoes-de-solventes-na-industria-quimica/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SOUSA, A. S. et. al. **A pesquisa bibliográfica: Princípios e Fundamentos**. Programa de pós-graduação em Educação. Universidade Federal de Uberlândia. Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83/2021.

STEFFENS, A. H. **Estudo da composição química dos óleos essenciais obtidos por destilação por arraste a vapor em escala laboratorial e industrial**. Dissertação para a obtenção do título de mestre em engenharia e tecnologia de materiais. Porto Alegre, 2010.

TAGOUT. **Análise de risco: entenda o que é, importância e como fazer.** Ago. 2023. Disponível em: <https://www.tagout.com.br/blog/analise-de-risco-entenda-o-que-e-importancia-e-como-fazer/>. Acesso em: 01 jul. 2024.

TEODORO. **Análise Preliminar de Risco, o que é e como realizar uma? Acidente de trabalho, segurança do trabalho na construção civi**l. Disponível em: <https://onsafety.com.br/apr-analise-preliminar-de-risco-o-que-e-e-como-realizar-uma/>. Acesso em: 03 jul. 2024.

UFV. **Segurança do Trabalho**. Universidade Federal de Viçosa, 2020. Disponível em: <https://www.segurancadotrabalho.ufv.br/analise-preliminar-de-riscos/>. Acesso em: 04 jul. 2024.

VITOR, K. **Análise preliminar de risco**. Três Lagoas, MS. 2024.

WEG. **Guia para atmosferas explosivas**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/he5/h77/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076428-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.