



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SILAS FERNANDES NASCIMENTO

**ESTUDO E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA PLANTA DE EXTRAÇÃO DO
ÓLEO ESSENCIAL DO CAPIM-LIMÃO POR HIDRODESTILAÇÃO**

PAU DOS FERROS – RN
2021

SILAS FERNANDES NASCIMENTO

**ESTUDO E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA PLANTA DE
EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DO CAPIM-LIMÃO POR
HIDRODESTILAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido -
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, como
requisito para a obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Paulo Fonseca
Melo.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F118e Fernandes , Silas .
 ESTUDO E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA PLANTA DE
EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DO CAPIM-LIMÃO POR
HIDRODESTILAÇÃO / Silas Fernandes . - 2021.
 47 f. : il.

 Orientador: Ricardo Fonseca Melo .
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2021.

 1. Processos químicos. 2. Hidrodestilação. 3.
Engenharia química. 4. Processos industriais. 5.
Óleos essenciais. I. Fonseca Melo , Ricardo ,
orient. II. Título.

SILAS FERNANDES NASCIMENTO

**ESTUDO E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA PLANTA DE
EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DO CAPIM-LIMÃO POR
HIDRODESTILAÇÃO**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal Rural do Semi Árido, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Pau dos Ferros/RN, 01 de junho de 2021.

BANCA EXAMINADORA

RICARDO PAULO
FONSECA
MELO:05408862461

Assinado de forma digital
por RICARDO PAULO
FONSECA
MELO:05408862461
Dados: 2021.06.02 08:30:03 -03'00'

Prof. Dr. Ricardo Paulo Fonseca Melo (UFERSA)
Orientador

SHIRLENE KELLY
SANTOS

CARMO:05656671496

Assinado de forma digital por
SHIRLENE KELLY SANTOS
CARMO:05656671496

Dados: 2021.06.02 14:50:12 +01'00'

Profa. Dra. Shirlene Kelly Santos Carmo (UFERSA)
Membro Examinadora

TYCIANNE
JANYNNE DE
OLIVEIRA

Assinado de forma digital
por TYCIANNE JANYNNE
DE OLIVEIRA

CABRAL:09381932441

CABRAL:09381932441 Dados: 2021.06.02 18:31:03 -03'00'

Profa. Dra. Tycianne Janyne De Oliveira Cabral (UFERSA)
Membro Examinadora

Dedico primeiramente a Deus, a minha querida mãe pelo exemplo de coragem e simplicidade em suas metas, e com muito carinho me ensinou o caminho da justiça, a minha família e a todos os meus colegas de curso que contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela dádiva da vida e por toda a força de vontade e sabedoria que me trouxe até aqui. Desejo expressar meus agradecimentos a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para que minha trajetória acadêmica se tornasse uma busca prazerosa. Meu muito obrigado!

Aos meus pais, Adonias e Francilene, pela educação que me proporcionaram e por todas as oportunidades e facilidades que, sobremaneira, foram fundamentais para meu desenvolvimento pessoal e profissional. Gostaria de ressaltar minha gratidão por vocês se preocuparem com meu futuro e por ter confiado em mim todos esses anos de formação acadêmica que só acaba de iniciar, me aconselhando e dando força para prosseguir. Ao meu irmão Messias pela compreensão por todos esses anos. À minha avó amada Maria das Graças por todos os conselhos e incentivos, nos meus momentos mais difíceis da vida acadêmica e pessoal.

Às minhas tias maternas Maria Solangea e “Lilinha”, pela atenção demandada e por todo zelo que sem dúvidas nenhuma traduz o significado de família. Ressalto o quanto importante vocês foram para nós, nos fornecendo uma base sólida que reflete exatamente na pessoa que me tornei hoje. Aos meus tios paternos Rosangela, Paulo, Francisco de Assis e Ivoneide que me proporcionaram todo carinho e ajuda na construção de um sonho. Quero agradecer imensamente por ter crescido ao lado de vocês. Agradeço incansavelmente a todos da minha família por cada atitude de apoio diante da minha caminhada. Sem ajuda de vocês seria impossível chegar até aqui.

Às minhas irmãs de alma Maria Renata e Maria Yasmim, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei ao curso.

Aos meus amigos, com imenso carinho a Maria Gabriela, Maria Soraya, Mileno Alexandre, Davi Euclides, Lucas Queiroz, Maria de Fátima, Aparecida Lima, Maria Mayara (*in memoria*) e tantos outros que fizeram parte direta e indiretamente da minha vida e acompanharam toda trajetória, uma imensa gratidão, por toda força, cada conversa, por cada momento compartilhados. Tenham certeza, foi mais leve com a presença de vocês, espero retribuir a cada um, da mesma maneira que fizeram por mim.

Aos meus mestres, pelos constantes incentivos e crescimento acadêmico e profissional, em especial aos meus queridos orientadores Dr. Ricardo Paulo Fonseca Melo e Dr.^a Shirlene Kelly Santos Carmo, por todo apoio que me ofereceu na realização deste estudo, a dedicação e amizade, assim como o entusiasmo científico de ambos que soube me transmitir em todos esses meses de trabalho juntos. Obrigado por ter confiado em mim desde o primeiro dia que iniciei o estudo e por compartilhar seus conhecimentos acadêmico. É muito prazeroso conviver ao lado de pesquisadores que estão sempre em busca de novos desafios e sem medo de inovar.

À instituição de ensino Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) campus Pau dos Ferros, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A produção de óleos essenciais vem crescendo a cada ano, devido a utilização em atividades tradicionais, como na indústria alimentícia e no ramo terapêutico, além das novas aplicações orgânicas e biológicas que estão surgindo. Esses óleos são extraídos dos galhos, raízes e folhas de matérias-primas aromatizantes por meio de processo de destilação, sendo os principais a hidrodestilação e destilação por arraste a vapor. Vale ressaltar o baixo teor de óleo essencial após a extração da matéria-prima, fato que motiva estudos que visem a otimização do processo. A otimização é constituída de um sistema de equações, que representam o balanço de massa e energético unidimensional nas fases vapor e sólida. Esse sistema matemático surge como forma de projetar ótimas condições operacionais para o processo de hidrodestilação, visando assim, um melhor rendimento na extração desses óleos. No desenvolvimento do estudo foi proposto um protótipo de fluxograma, representando uma planta piloto do processo de extração do óleo essencial do capim-limão. Dessa forma, realizou-se o estudo das variáveis e detalhamento das etapas de processo que viabilizassem um melhor rendimento na obtenção do óleo após a extração. A matéria-prima em estudo foi o capim-limão, cujo óleo tem diversas propriedades, sendo eficaz na inibição de infecções bacterianas no cólon, estômago, vias urinária, feridas, sistemas respiratórios e outros sistemas orgânicos. Através do estudo realizado, foi possível, a partir da manipulação de variáveis, investigar as condições e variáveis do processo que atuam diretamente sobre o rendimento de óleo extraído, e assim, otimizar o processo de forma a maximizar esse objetivo principal da planta industrial.

Palavras-Chave: Processos químicos. Hidrodestilação. Engenharia química. Processos industriais. Óleos essenciais.

ABSTRACT

The production of essential oils has been growing every year, due to their use in traditional activities, such as in the food industry and in the therapeutic field, in addition to the new organic and biological applications that are emerging. These oils are extracted from the branches, roots and leaves of flavoring raw materials through a distillation process, the main ones being hydrodistillation and steam distillation. It is worth mentioning the low essential oil content after the extraction of the raw material, a fact that motivates studies aimed at optimizing the process. Optimization consists of a system of equations, which represent the one-dimensional mass and energy balance in the vapor and solid phases. This mathematical system appears as a way to design optimal operating conditions for the hydrodistillation process, thus aiming at a better yield in the extraction of these oils. In the development of the study, a prototype flowchart was proposed, representing a pilot plant of the lemongrass essential oil extraction process. Thus, the study of the variables and the detailing of the process steps that enabled a better yield in obtaining the oil after extraction was carried out. The raw material under study was lemongrass, whose oil has several properties, being effective in inhibiting bacterial infections in the colon, stomach, urinary tract, wounds, respiratory systems and other organic systems. Through the study carried out, it was possible, from the manipulation of variables, to investigate the conditions and variables of the process that act directly on the yield of extracted oil, and thus, optimize the process in order to maximize this main objective of the industrial plant.

Keywords: Chemical processes. Hydrodistillation. Chemical engineering. Industrial processes. Essential oils.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos rendimentos de extração de óleo essencial	25
Tabela 2 - Composição química do óleo essencial do capim-limão.....	25
Tabela 3 - Benefícios e contraindicações do óleo essencial do capim-limão.....	27
Tabela 4 - Entalpias em cada corrente	38
Tabela 5 - Balanço energético em cada equipamento e Balanço global do processo	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Formação de uma molécula de terpenóide	21
Figura 2 - Formação de uma molécula de fenilpropanóides	22
Figura 3 - Capim-limão	24
Figura 4 - Desenho esquemático do processo de extração dos óleos essenciais do capim-limão	31
Figura 5 - Proposta de fluxograma do processo de extração dos óleos essenciais de capim-limão.	31
Figura 6 - Janela de aplicação - ferramenta ' Solver '	34
Figura 7- Fluxograma para o balanço energético - Separação dos insumos da corrente B e temperatura em cada corrente.....	35
Figura 8 - Parâmetros obtidos para os fluxos em cada corrente do processo.	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 Plantas medicinais.....	18
3.2 Óleos essenciais.....	20
3.2.1 Constituintes dos óleos essenciais	21
3.2.1.1 Terpenóides	21
3.2.1.2 Fenilpropanóides	22
3.3 Capim-limão	23
3.3.1 Óleo do capim-limão	24
3.3.1.1 Aplicações do óleo do capim-limão	27
3.4 Técnica de extração dos óleos essenciais - hidrodestilação	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Fluxograma da planta do processo.....	30
4.2 Modelagem matemática.....	32
4.2.1 Balanço de massa	32
4.2.2 Balanço energético	35
4.3 Custo energético do processo	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6. CONCLUSÃO.....	41
RERERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

O capim-limão (*Cymbopogon citratus*) é uma planta herbácea da família Poaceae (*Gramineae*), nativa das regiões tropicais da Ásia, principalmente da Índia. A planta raramente floresce e não produz sementes férteis. O primeiro corte pode ser realizado cerca de seis meses após o plantio, permitindo cortes sucessivos em intervalos de 45 dias, num total de três cortes anuais. Um hectare produz de 8.000 a 10.000 kg de folhas em cada corte. Dela, é possível extrair um óleo essencial aplicável na fabricação de incensos e de repelentes de insetos. A composição média de óleo essencial presente nas folhas da planta é de 0,8% a 1,0%, porém nem todo óleo é passível de extração pelos métodos convencionais (SANTIAGO et al., 2017).

Várias espécies de plantas contêm compostos voláteis que podem ser extraídos na forma de óleo essencial. Diferentes métodos são usados para separar esses óleos, que podem inclusive estar presentes em variadas partes das plantas. Embora pareça relativamente simples isolar tais óleos, a composição do óleo pode variar, em grande parte, dependendo do método da extração usado. As vantagens e as desvantagens de alguns métodos foram discutidas por Scheffer, 1993; Cassel e Vargas, 2006.

Tanto a hidrodestilação quanto a destilação por arraste a vapor são processos conhecidos e difundidos mundialmente na obtenção de óleos essenciais de plantas aromáticas. A diferença básica entre a hidrodestilação e a destilação por arraste a vapor é que, na hidrodestilação, a matéria-prima está submersa em água, enquanto a destilação por arraste a vapor, o vapor passa pela matéria-prima. Existem poucos estudos sistemáticos para se conhecer os fenômenos que controlam o processo e permitam entendê-los física ou quimicamente, com o propósito de simular, controlar e otimizar eficientemente a operação industrial (CHAVEZ, 2007).

A hidrodestilação e a arraste a vapor são muito usados pelas indústrias por ser relativamente barata e mais simples quando comparada com os métodos tecnológicos mais avançados, por exemplo a extração com fluido supercrítico. Explicando de forma resumida, essa técnica consiste na vaporização a temperaturas inferiores às temperaturas de ebulição de cada um dos componentes voláteis por efeito de uma corrente direta de vapor de água. Os vapores gerados na caldeira permeiam pelo material vegetal contido no extrator e são resfriados no condensador, onde ocorre a liquefação e finalmente a separação em um decantador, conhecido como vaso florentino. A distribuição de matéria-prima no extrator deve ser feita de maneira que permita o maior contato superficial com o vapor (CASSEL & VARGAS, 2006).

O tempo de destilação é determinado por fatores técnicos e econômicos. Os fatores técnicos estão relacionados à composição do óleo essencial que é função do tempo de extração. Se a extração for rápida, o produto apresentará uma maior concentração de compostos voláteis, porém destituído das características aromáticas da planta original. Se a extração for prolongada, o custo do óleo essencial será mais elevado em função do consumo de energia.

Dessa forma, os óleos essenciais são complexas misturas de metabólitos secundários e, devido ao seu grau de complexidade, conseguem ser mais efetivos, tendo uma redução por exemplo, a resistência dos insetos aos repelentes produzidos pela extração de compostos orgânicos. Outra vantagem nos usos destes compostos derivados de plantas está na sua baixa persistência e toxicidade ao ambiente (SCHEFFER, 1993; CASSEL & VARGAS, 2006).

O uso dos óleos essenciais para fins medicinais, cosméticos e para o combate a insetos é conhecido desde a antiguidade. Há registros históricos encontrados em papiros egípcios sobre o uso desses óleos essenciais em práticas religiosas relacionadas a cura de enfermidades, nas unções dos faraós e para o embalsamento dos corpos. Na China e Índia antiga a utilização de substâncias aromáticas derivadas de plantas eram comumente observadas em incensos e outros produtos que eram aplicados diretamente sobre o corpo. Porém a expansão no uso e até mesmo a comercialização destes óleos essenciais ocorreu a partir da Idade Média com o desenvolvimento dos processos de destilação (FRACETO et al., 2015).

Devido ao uso destes compostos aromáticos em diversas aplicações, pesquisas incentivando o desenvolvimento de novos produtos, baseados nestas matérias-primas, estão sendo cada vez mais difundidas no meio científico, comprovando suas propriedades como moléculas biologicamente ativas.

A partir disso, nota-se a necessidade do aumento da demanda das plantas aromáticas produtoras de óleos essenciais, da garantia de qualidade desses produtos de maior disponibilidade comercial dos óleos essenciais e, conseqüentemente, uma sistematização da produção em larga escala, observando que a maioria das pesquisas sobre óleos essenciais ainda são realizadas com óleos obtidos em laboratório.

Nos dias atuais as aplicações de óleos essenciais tornou-se mais contundente, e dentre está o óleo de capim-limão, um tipo de óleo essencial bastante utilizado atualmente por sua eficácia, benefícios à saúde e uma ampla variedade de aplicações, seja nas indústrias farmacêuticas na, fabricação de repelente e incenso, óleos aromáticos para prevenção de supostas doenças crônicas e psicológicas como, a rinite e ansiedade, sendo também um excelente inibidor de pragas e insetos presentes em grandes plantações frutíferas.

Nesse sentido, a partir de um estudo sistemático acerca dos processos de extração do óleo essencial de capim-limão, foram analisados as variáveis e o detalhamento das etapas de processo que viabilizassem um melhor rendimento na extração deste. Assim, a partir de uma melhor compreensão a respeito do processo de hidrodestilação, esse trabalho apresentou uma proposta piloto de uma planta industrial de hidrodestilação para extração do óleo essencial do capim-limão. Dessa forma, foi avaliado a partir do balanço de massa e energia do processo, o gasto energético requerido para atingir o objetivo da proposta em função do rendimento do óleo estabelecido.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor uma planta operacional de extração de óleo essencial do capim-limão, a partir de um estudo de otimização da carga energética gasta no processo.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantamento bibliográfico acerca da extração do óleo essencial do capim-limão e seus véis de modelagens;
- Comparação da extração do óleo essencial em processos industriais;
- Proposta de fluxograma de processo de extração do óleo de capim-limão;
- Realização do balanço de massa e de energia;
- Otimização do rendimento do processo por meio do Solver – Excel.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir são detalhados os conceitos e as definições necessárias para o melhor entendimento a respeito das plantas medicinais e seus constituintes, assim como, sobre as técnicas de extração de óleos essenciais que se apresentam presentes nos processos industriais.

3.1 Plantas Medicinais

As plantas pelas suas propriedades terapêuticas ou tóxicas adquiriram um fundamento importante na medicina popular. A flora brasileira e algumas espécies que se adequaram com a região é riquíssima em exemplos que são utilizados pela população como plantas aromáticas medicinais.

Segundo Biazzi (2003), as ervas aromáticas ou ervas-de-cheiro são plantas, normalmente de pequenas dimensões, cujas folhas e outras partes verdes soltam aromas que as tornam muito procuradas na culinária e outros usos domésticos e industriais.

Biazzi (2003) reforça ainda que estas plantas são utilizadas desde tempos imemoriais, devido às suas propriedades antimicrobianas que, não só evitam algumas infeções, como a própria deterioração dos alimentos frescos. Além disso, muitas destas plantas têm propriedades medicinais, principalmente na facilitação dos processos digestivos.

De acordo com Chevalier (1996), o uso de plantas medicinais para o tratamento das pessoas remonta aos primórdios da civilização. As plantas medicinais sempre desempenharam um papel significativo na vida do ser humano, seja pelo valor místico que certas culturas lhe atribuem, seja pelo seu uso terapêutico, bastante difundido em todas as culturas e povos. Contudo, ainda hoje elas são largamente utilizadas, principalmente por populações que têm mais dificuldade de acesso ao medicamento sintético (WHO, 2002).

Martins (1998) ensina que a utilização das plantas medicinais é uma das mais antigas armas empregadas para o tratamento das enfermidades humanas e muito já se conhece a respeito de seu uso por parte da sabedoria popular. Com os avanços científicos, esta prática milenar perdeu espaço para os medicamentos sintéticos, entretanto, o alto custo destes fármacos e os efeitos colaterais apresentados contribuíram para o ressurgimento da fitoterapia.

Durante muito tempo as pessoas recorreram às plantas medicinais aromáticas para amenizar dores, incômodos e para tratar de doenças, sendo usadas pelos povos antigos e ainda valorizadas nos dias de hoje (OLGUIN et al., 2007).

No Brasil, a utilização de plantas como meio de curativo é uma atividade altamente difundida e popular, às vezes, empregada de maneira equivocada e até mesmo maléfica, afinal muitas plantas possuem princípios tóxicos e o seu uso indiscriminado pode causar sérios problemas (BRASIL, 2001).

As plantas medicinais aromáticas são importantes fontes de princípios ativos com os quais se produzem medicamentos eficazes e seguros na cura das doenças. Considerando que o Brasil é detentor de uma das maiores biodiversidades do mundo, muitas plantas que compõem sua flora têm atraído a atenção das indústrias farmacêuticas e, por isso, vêm sendo avaliadas a partir de estudos etnofarmacológicos, pré-clínicos e clínicos que estudam sua composição química, sua ação farmacológica e sua indicação terapêutica (LORENZI, 2002). O Brasil sempre foi um país de amplo uso de plantas medicinais aromáticas, devido à riqueza de sua flora, à falta de acesso aos serviços de saúde e à tradição de uso da Fitoterapia por pessoas de baixo poder aquisitivo e por aquelas com um maior convívio com o meio rural.

Os vegetais não apresentam uma concentração uniforme de princípios ativos durante seu ciclo de vida, variando esta concentração de acordo com o habitat, a colheita e a preparação (TESKE e TRENTINI, 2001). Daí a necessidade de tomar certos cuidados ao cultivar o vegetal, como verificar época e local de plantio, horário de colheita, cuidados na adubação, tipos de solo, temperatura ideal, métodos de secagem e armazenamento de cada erva, sempre obedecendo às características e às necessidades particulares de cada espécie (PEREIRA e DEFANI, 2007).

Segundo Martins (1998) com a revolução da Ciência e da Pesquisa e decorrente descoberta de fórmulas químicas, a humanidade atraída pelos resultados e impelida pela publicidade e estratégias de interesses econômicos, tem deixado em segundo plano a tradição milenar do uso de plantas medicinais

Para Ferreira (1998), apesar da riqueza da flora brasileira e da ampla utilização de plantas medicinais pela população, existe o consenso da insuficiência de estudos científicos acerca do assunto. Portanto, torna-se necessário estimular a realização desses estudos, tendo em vista a importância dos seus resultados tanto individuais como sociais, assim como divulgar os resultados dos estudos já existentes.

3.2 Óleos Essenciais

Segundo a Resolução - RDC nº 2, de 15 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), Óleos Essenciais (OEs) são produtos voláteis de origem vegetal obtidos por processo físico (destilação por arraste com vapor de água, hidrodestilação, destilação a pressão reduzida ou outro método adequado). Podem se apresentar isoladamente ou misturados entre si, retificados, desterpenados ou concentrados. Entende-se por retificados, os produtos que tenham sido submetidos a um processo de destilação fracionada para concentrar determinados componentes; por concentrados, os que tenham sido parcialmente desterpenados; por desterpenados, aqueles dos quais tenha sido retirada a quase totalidade dos terpenos.

São misturas bastante complexas de várias substâncias voláteis, que em geral, apresentam baixo peso molecular, sendo constituídas na sua maioria por terpenos (MORAIS, 2009). Quando em temperatura ambiente, tem aspecto oleoso, sendo a alta volatilidade uma de suas principais características. Geralmente são incolores, ou podem apresentar leve coloração amarela, também são pouco estáveis e pouco solúveis em água (SIMÕES; SPITZER, 1999; SAITO; SCRAMIN, 2000 apud MORAIS, 2009).

Segundo Vitti e Brito (2003), uma ampla gama de constituintes químicos pode ser identificada nos óleos essenciais, como hidrocarbonetos terpênicos, álcoois, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas, entre outros. Alguns dos componentes dos óleos essenciais se apresentam em grande concentração sendo conhecidos como componentes principais, outros se apresentam em baixas quantidades e são conhecidos como componentes traço.

Justamente com o objetivo de facilitar a busca de informações sobre determinado óleo essencial, foram criados diferentes recursos, como o CAS (*Chemical Abstract Service*), classificando-os com uma espécie de número de identidade, substâncias simples e compostas devidamente registradas. Cada constituinte de um óleo essencial possui um CAS, assim como o óleo essencial em si (AZAMBUJA, 2015a).

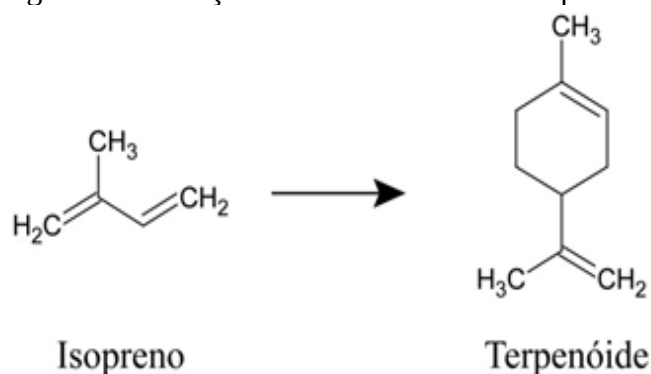
3.2.1 Constituintes dos Óleos Essenciais

Os componentes dos óleos essenciais compreendem duas classes principais quimicamente distintas: os terpenóides e os fenilpropanóides. Estes são obtidos a partir de diferentes precursores metabólicos primários e são produzidos por rotas biossintéticas diferentes. Os fenilpropanóides são formados a partir da via do ácido chiquímico e os terpenóides através da via do mevalonato. Os terpenóides são produzidos a partir de cinco unidades de carbono de isopentenil pirofosfato (IPP) e seu isômero, dimetilalil pirofosfato (DMAPP) (SANGWAN et al., 2001).

3.2.1.1 Terpenóides

Pesquisas relatam que já foram catalogados aproximadamente 25.000 diferentes compostos terpênicos. A estrutura química desses compostos foi estabelecida como sendo o produto da fusão de duas ou mais unidades de isopreno (C_5H_8), o que corresponde a hidrocarbonetos de fórmula geral $(C_5H_8)_n$ (DONELIAN, 2004). A Figura 1 mostra a rota de formação de um terpenóide. Os compostos terpênicos encontrados com maior frequência são os monoterpenos (C_{10}) (cerca de 90% dos óleos voláteis) e os sesquiterpenos (C_{15}). Os diterpenos (C_{20}) são encontrados apenas em óleos essenciais extraídos com solventes orgânicos, já que é necessária uma alta temperatura para volatilização desses compostos (SIMÕES & SPITZER, 2001).

Figura 1- Formação de uma molécula de terpenóide



Fonte: Cabral (2020)

Quanto a conformação do esqueleto carbônico, os monoterpenos podem ser agrupados em acíclicos, monocíclicos e bicíclicos. Os sesquiterpenos podem ser agrupados em

monocíclicos, bicíclicos e tricíclicos. O único diterpeno notório em óleo essencial é o canforeno, encontrado no óleo de cânfora e que é monocíclico (HEATH, 1981).

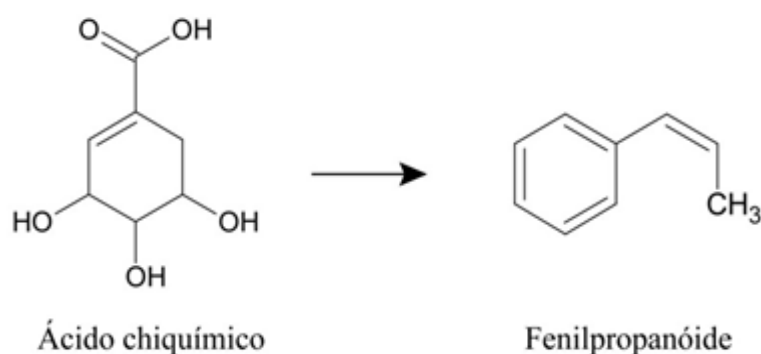
Apesar desses compostos apresentarem composições significantes em vários óleos essenciais, muitos desses compostos possuem pouco valor odorizante e saborizante em relação aos seus derivados oxigenados. Os derivados oxigenados dos hidrocarbonetos terpênicos compreendem álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos, ésteres e óxidos (MAGALHÃES, 1985).

3.2.1.2 Fenilpropanóides

A estrutura dos fenilpropenos é formada basicamente por um anel benzênico ligado a cadeia lateral com três carbonos, a qual possui dupla ligação e podem apresentar grupo funcional com oxigênio (WATERMAN, 1993).

Os fenilpropanóides são formados a partir do ácido chiquímico, que forma as unidades básicas dos ácidos cinâmico e p-cumárico. Os principais fenilpropanóides conhecidos são: eugenol, metil eugenol, miristicina, elemicina, chavicol, metil chavicol, dilapiol, anetol, estragol e apiol. Apesar dos compostos terpênicos ocorrerem com mais frequências e abundância nos óleos essenciais, os fenilpropanóides, quando estão presentes, fornecem um sabor e odor indispensáveis e significativos ao óleo (SANGWAN et al., 2001). A figura 2 a obtenção de um fenilpropanóide.

Figura 2 - Formação de uma molécula de fenilpropanóides



Fonte: Cabral (2020)

3.3 Capim-Limão

O capim-limão, cujo nome científico é *Cymbopogon citratus*, é também conhecido como capim-santo, capim-cidreira, capim-cheiroso, capim-cidrão, dentre outros. É uma planta original da Índia, mas muito comum nas regiões tropicais do Brasil (SANTOS et al., 2009). É muito utilizada na forma de chás, tanto com as folhas fervidas em água, como em infusão (PEIXOTO et al., 2015). O óleo essencial obtido dessa planta tem como composição o limoneno, citronelal, mirceno, geraniol, e seu principal o citral (ZAGO et al., 2009), que é citado na maioria dos efeitos terapêuticos.

Estudos têm mostrado que o capim-limão é muito utilizado pela população brasileira empiricamente, tem efeitos antibacterianos (LUCENA et al., 2015) e calmantes (PEIXOTO et al., 2015) comprovados cientificamente. O uso popular do fitoterápico para tratar cólicas abdominais, febres, dores abdominais e hipertensão, é muito frequente e com resultados satisfatórios (MARTINS; NUNES, 2015; LIMA et al., 2013; NETO, 2015; MARTINS, 2010).

O aroma da folha é resultado de um óleo essencial conhecido internacionalmente como *lemongrass essence*. Esse óleo é constituído principalmente por uma substância conhecida como citral, que garante à planta sua ação calmante e espasmolítica. Além do citral, são encontradas substâncias, como o mirceno, flavonoides, alcaloides e triterpenos. Muito usado na cozinha asiática em razão do sabor de limão, o capim-limão é usado no Brasil tradicionalmente na medicina popular. Normalmente essa planta é preparada na forma de infusão de suas folhas e é usada como calmante, analgésico e para alívio de dores de estômago, abdominais e de cabeça. Além disso, seu uso também é feito para diminuir a febre, como antirreumático e diurético, bem como em distúrbios digestivos (SANTOS, 2021).

Diferentemente de muitas plantas usadas como medicinais pela população, existem estudos que comprovam a eficácia do capim-limão como antiespasmódico, analgésico, anti-inflamatório, diurético, bactericida, antifúngico, anti-helmíntico e antimutagênico. Além de ser usado como planta medicinal, o capim-limão é usado na indústria para aromatizar alguns produtos, como sabonetes e detergentes, além de funcionar como repelente de insetos, uma vez que possui capacidade inseticida (SANTOS, 2021). A Figura 3 apresenta a planta do capim-limão.

Figura 3 - Capim-limão



Fonte: Autor.

3.3.1 Óleo do Capim-Limão

O óleo essencial do capim-limão é largamente utilizado como agente aromatizante na indústria de perfumaria e cosmética, na preparação de sabonetes, colônias e desodorantes, bem como na indústria química para obtenção do citral que é utilizado como material de partida para a síntese de ianonas e vitamina A (SILVA et al., 2003).

Segundo Carvalho et al. (2005), atualmente está essência vem sendo utilizado também como feromônio artificial para a captura de enxames de espécies nativas de abelhas, pois proporciona um aumento real na captura e povoamento de enxames, o qual torna-se de suma importância visto que a aquisição de novos enxames possui altos valores comerciais.

A demanda por esses óleos é crescente devido os seus constituintes majoritários, com um volume expressivo sendo absorvido pelas grandes indústrias da área de alimentos, fármacos, perfumes e cosméticos, inseticidas, detergentes e desinfetantes. Entre os fatores influenciam o rendimento de óleo essencial extraído de plantas estão às condições e características de cultivo, como requer boa disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio e matéria orgânica no solo. Os baixos valores de pH e de disponibilidade de fósforo (P) nos solos brasileiros representam grande restrição ao desenvolvimento de plantas cultivadas, e podem comprometer o crescimento e a produção de biomassa em cultivos comerciais de capim-limão. (LEAL et al., 2001).

Tomando como base os estudos da literatura de Silva et al. (2014) em que retrata por meio da análise do rendimento e da composição do óleo, a comparação de métodos convencionais, de extração, tem-se como observação um extrator construído em que apresenta

desempenho satisfatório quanto a um sistema de vedação, tendo um tempo médio para início da condensação do óleo cerca de 40 minutos, sendo observado a formação de gotículas de óleo essencial extraído.

O rendimento do óleo essencial apresentado pelo extrator citado na literatura foi comparado ao método convencional de hidrodestilação como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação dos rendimentos de extração de óleo essencial

Método de extração	Rendimento obtido (%)	Rendimento da literatura (%)
Hidrodestilação	0,544	0,80 (MATASYOH et al, 2011)
Arraste com vapor	0,448	0,90 (GBENOU et al, 2012)

Fonte: Silva (2014)

Quando comparados com os dados da literatura (MATASYOH et al, 2011; GBENOU et al, 2012) observou-se que foi obtido um menor rendimento, tanto na hidrodestilação quanto no arraste a vapor, o que não indica relação direta com a construção e eficiência do protótipo de extrator, uma vez que o sistema tradicional de hidrodestilação apresentou uma redução equivalente, ou seja, outros fatores podem estar influenciando na quantidade de óleo essencial extraído, como aponta dados da literatura (SCHWOB, 2004; ANGELOPOULOU, 2002; PALÁ-PAÚL, 2001; CONEJERO, 2001; LOPES, 1997; PITAREVIC, 1984) que destacam fatores tais como a sazonalidade, tipo de solo, horário de coleta, idade do vegetal, forma de cultivo, método de extração entre outros.

Interessante que apesar de ter sido obtido o maior rendimento por hidrodestilação, as composições das extrações por arraste a vapor foram melhores. Para a sua comercialização há a necessidade de, no mínimo 75% de citral (ALMEIDA E CANECCHIO FILHO, 1973).

A composição química do óleo essencial obtido por hidrodestilação e arraste a vapor pode ser analisada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do óleo essencial do capim-limão

Constituinte	Hidrodestilação	Arraste a vapor
α -Citral (Geranial)	20,63	44,69
β -Citral (Neral)	14,50	32,42
β -Mirceno	-	10,72
Acetato de n-propila	4,64	-
Acetato de isobutila	2,29	-

2,7-Dimetiloct-2,7-dienol	10,79	-
Tetradecino	17,14	-
Ácido 3-(but-3-enil) -2,2-dimetilciclopropanóico	3,00	-
Verbenol	-	1,95
Nerol	-	3,07
Ciclooctanona	3,02	-
Ácido Nerólico	1,80	-

Fonte: Silva (2014)

Pela análise dos componentes e suas concentrações obtidas pelos diferentes métodos de extração pode-se perceber que a hidrodestilação apresenta um maior número de substâncias químicas quando comparado com o método de arraste com vapor. Isso pode ser devido ao fato que na hidrodestilação ocorrer o contato direto do material vegetal com a água em ebulição, ou seja, um meio com uma mistura complexa de substâncias submetida à alta temperatura, condições que propiciam várias reações, podendo formar vários artefatos (produtos que não estão presentes no óleo in natura, mas que são formados durante o processo de extração) (SIMÕES, 1999), também pode ter ocorrido a degradação térmica de alguns compostos ou evaporação de alguns componentes do óleo obtido pela extração por arraste a vapor.

Quanto à composição, os dois métodos apresentaram como constituintes majoritários o α -Citral (Geranial) e o β -Citral (Neral) resultados divergentes aos relatados por Oliveira (2011) que obteve estes dois constituintes totalizando 73,83% da constituição do óleo essencial de Capim-limão, usando o método da hidrodestilação. Na tabela os majoritários na hidrodestilação foi o α -Citral (Geranial) com 20,63% dos seus constituintes e o Tetradecino com 17,14%, totalizando 37,77% referente aos constituintes, que são relevantes ao processo. Já a composição apresentada (32,42% de Neral, 44,69% de Geranial e 10,72% de Mirceno, totalizando 87,83% da composição total) pelo método de extração a vapor se assemelha a relatada por Gbenou (2013), que obteve mirceno (27,83%), neral (19,93%) e geranial (27,04%) totalizando 74,80% da constituição do óleo essencial de *C. Citratus*, utilizando este mesmo método de extração. Wenqiang (2007) realizou a extração de cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata Thunb*) por hidrodestilação e arraste a vapor.

O óleo essencial do capim-limão apresenta diversos benefícios ao organismo, porém, algumas contraindicações também são observadas, conforme visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Benefícios e contraindicações do óleo essencial do capim-limão

Benefícios do óleo essencial de capim-limão e suas propriedades medicinais.	Contraindicação e efeitos colaterais do óleo essencial de capim-limão.
Aromaterapia - O óleo essencial de capim-limão é muito utilizado na aromaterapia, já que ajuda a aliviar sintomas de depressão, estresse e tensão do corpo.	Risco de causar queimaduras caso o local em que houve aplicação direta seja exposto ao sol (assim como a citronela, limão, laranja e outros cítricos).
Cataplasma (massa medicamentosa) - é usado para tratar dores de artrite e em banhos para aliviar músculos doloridos.	Em doses excessivas, pode causar sonolência, diarreia, hipotensão arterial, fraqueza e sedação.
Analgésico - ajuda a aliviar espasmos musculares, reduzindo dores abdominais, de cabeça, de estômago e nas articulações.	É contraindicado durante a gestação, já que pode provocar abortos devido ao relaxamento da musculatura uterina.
Óleo essencial diluído - pode ser usado como antifúngico para condições de pele, incluindo micoses e pé-de-atleta.	É contraindicado para pessoas que possuem pressão baixa e para pacientes com glaucoma. Como ele é um vasodilatador, pode aumentar a pressão intraocular.
Antisséptica - seu extrato também pode ser aplicado a feridas recentes e abertas, uma vez que a erva atua como antisséptico.	Superdosagem pode provocar hipocinesia (deficiência nas funções ou atividades motoras, devida a diversas causas), ataxia, bradipneia, perda de postura, sedação e diarreia.

Fonte: Adaptado de Sullivan (2020)

3.3.1.1 Aplicações do Óleo do Capim-Limão

O óleo essencial de capim-limão é empregado em cosméticos, como óleo perfumados, shampoos, sabonetes e sabões, desodorizantes e loções, entre outros. Seus principais constituintes são o citral, antimicrobiano e antifúngico eficaz na inibição e destruição de micro-organismos, e o mirceno, responsável pela ação analgésica; outros cinco de seus componentes possuem o poder de inibição da coagulação sanguínea. O citral também aumenta a capacidade do corpo de aproveitar a vitamina A.

O óleo essencial diluído do capim-limão é também usado como um antifúngico para condições de pele, incluindo micose e pé-de-atleta. Seu extrato pode ser aplicado a feridas recentes e abertas, uma vez que a erva atua como um antisséptico que previne infecções, além de ser usada na desintoxicação dos órgãos digestivos do corpo, como o pâncreas, fígado, rim e bexiga (ECYCLE,2019).

3.4 Técnica de extração dos óleos essenciais - Hidrodestilação

A composição dos óleos essenciais pode ser alterada devido a vários fatores, dentre os quais se pode citar o método utilizado para a extração, a temperatura e o contato da amostra com solventes. Segundo Prins et al. (2006), a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda o uso da hidrodestilação. Para esta técnica é utilizado um aparelho tipo Clevenger.

Hidrodestilação é o método de extração de óleos essenciais mais utilizado em escala laboratorial e Industrial. A matéria prima em estudo é totalmente imersa em água, ocorre então a destilação em temperatura inferior a 100° C, a fim de evitar a perda de constituintes sensíveis a elevadas temperaturas, e, assim formam-se vapores que arrastam os componentes voláteis. No entanto, os óleos essenciais não se misturam com a água, que posteriormente por decantação se separam da fase aquosa, em que a fase oleosa fica na parte de cima, e a fase aquosa, na parte de baixo. Visto que o aparelho possui uma torneira, faz-se o seguinte: a torneira é aberta e primeiro obtém-se a água; fecha-se a torneira e, através de outro recipiente, abre-se novamente a torneira para que o óleo essencial separado seja coletado. Mas até mesmo este método pode ser falho, a temperatura e a velocidade de aquecimento, assim como o contato com a água podem alterar a composição do óleo (AZAMBUJA, 2015c). Por isso, recomenda-se a utilização do sulfato de sódio anidro e o cloreto de metileno, para retirar a água que tenha ficado no óleo MAJDA ELYEMNI al (2019).

A literatura reporta a utilização da hidrodestilação na extração dos compostos voláteis de muitas espécies de plantas. Tankeu et al (2013) empregou a hidrodestilação na extração dos óleos essenciais para identificar diferentes quimiotipos da espécie *Tagetes minuta*. Porres-Martínez et al (2013) identificou, com o auxílio da extração por hidrodestilação, a composição química do óleo essencial de *Salvia lavandulifolia*, especiaria utilizada para dar sabor, cor e aroma aos alimentos. Outros trabalhos utilizaram mais de uma técnica de extração, na qual, a hidrodestilação está incluída e tem como finalidade a comparação dos constituintes químicos

que são extraídos nos diferentes procedimentos empregados GEABRAS (2011) & HERZI (2013).

No trabalho de Herzi et al (2013) duas espécies de *eucalyptus* foram utilizadas na extração de seus respectivos óleos essenciais por hidrodestilação e por fluido supercrítico de CO₂, na qual os rendimentos de materiais obtidos foram comparados, bem como a composição química das amostras. Yilmaz et al (2013) utilizou a destilação por forno em micro-ondas e a tradicional técnica de hidrodestilação na extração dos óleos essenciais provenientes das flores, folhas e caule da espécie *Astragatus hamzaoglui*, bem como a análise qualitativa de cada amostra em seus respectivos procedimentos de extração.

A hidrodestilação possui um baixo custo e praticidade. Por outro lado, por não ser um método de extração sofisticado, apresenta algumas desvantagens como, longo tempo de extração, variando de 2 a 3 horas, a depender da natureza do material. (TANKEUS & PORRES-MARTÍNEZ, 2013) Além disso, perdas de compostos voláteis, decomposição e formação de produtos de oxidação são problemas frequentes nesse processo SCHOSSLER et al (209).

Tal método baseia-se na diferença de volatilidade dos compostos presentes nas amostras estudadas, sendo muito utilizado por sua simplicidade e economia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa baseou-se em uma análise bibliográfica acerca do processo de extração de óleos essenciais, sustentada na elaboração de uma proposta referente a uma unidade de hidrodestilação de óleo essencial de capim-limão, na qual foram realizadas modelagens matemáticas através de um estudo a respeito do balanço de massa e energético, tomando como referência principal para as observações o que é depreendido pelo livro de Felder, Rousseau e Bullard (2015).

Assim, após compreender as etapas de processo da hidrodestilação do óleo essencial do capim-limão através dos estudos laboratoriais descritos ao longo do trabalho, projetou-se a nível industrial, analisando especialmente, as proporções de insumos a serem utilizadas com a quantidade de óleo essencial obtida e o consumo energético.

Tendo em vista a larga utilização e a importância desta planta pela sociedade, buscou-se realizar um estudo em torno da proposta de uma planta de extração do óleo essencial de capim-limão a partir do processo de hidrodestilação, trazendo configurações a nível industrial. Dessa forma, será observadas variáveis que interferem diretamente no rendimento e qualidade do óleo essencial de capim-limão, por exemplo as temperaturas de operação em cada

equipamento e corrente de fluxo, bem como a quantidade de calor a ser absorvida ou liberada em cada etapa, que afetam diretamente o custo econômico.

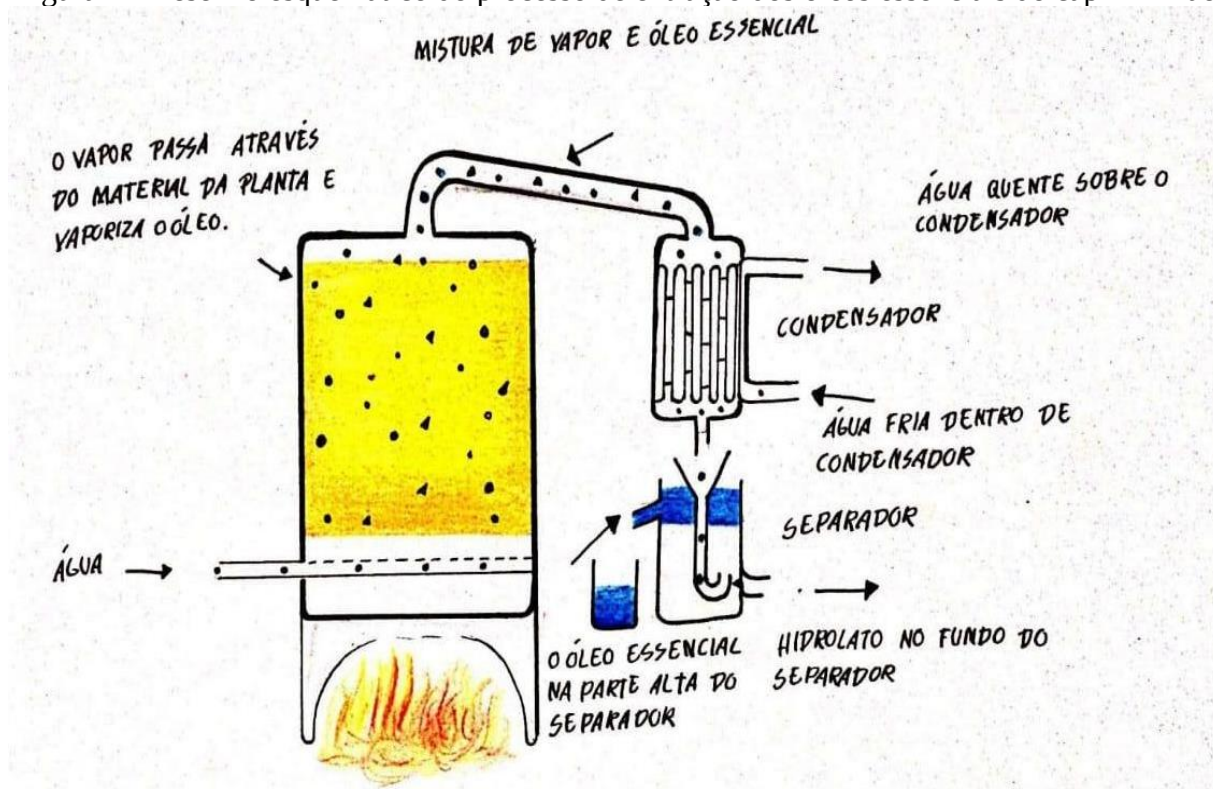
4.1 Fluxograma da planta do processo

O processo de extração do óleo essencial de capim-limão é realizado em um sistema batelada. Os cálculos foram realizados considerando um sistema global fechado. No processo produtivo, adiciona-se a planta de capim-limão em uma caldeira industrial juntamente com água destilada de modo que se contenha água até a superfície das folhas. Após isso, aquece-o para dar início ao processo de hidrodestilação do óleo essencial presente no capim-limão.

Nesse método, a amostra é imersa na água, ocorrendo o contato direto e, com o aumento da temperatura causada pela caldeira, a água vaporiza-se e arrasta o óleo também na forma de vapor, passando por um condensador que esfriará a mistura. Como o óleo é menos denso que a água, eles se separam em uma escala volumétrica existente no aparelho.

Para a coluna de destilação, regula-se a temperatura inferior a 100° C, o que evita a perda de compostos sensíveis à alta temperatura, entretanto, torna a destilação mais lenta e com menor rendimento. Tal procedimento ocorre durante cerca de uma hora até a extração do óleo. Na saída da destilação, o destilado será coletado, ficando em repouso, para que se possa separar algum resquício de água presente na parte de óleo que possa ter sido mantido. Todo o procedimento descrito é simplificado na Figura 4.

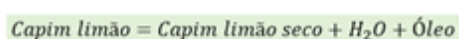
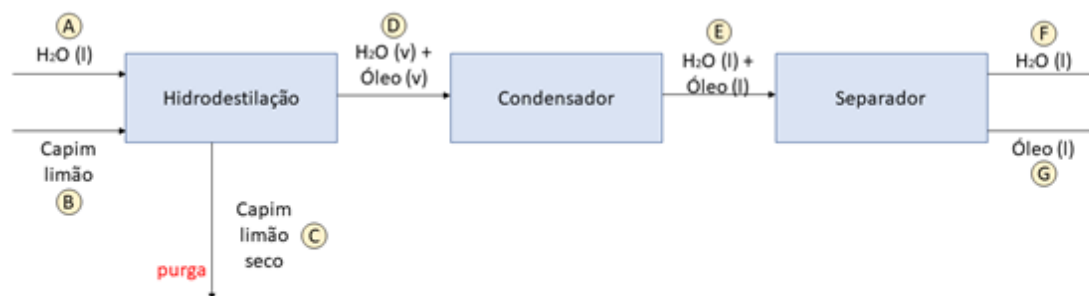
Figura 4 - Desenho esquemático do processo de extração dos óleos essenciais do capim-limão



Fonte: Autor.

A proposta da planta de extração do óleo essencial do capim-limão pode ainda ser descrita conforme fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Proposta de fluxograma do processo de extração dos óleos essenciais de capim-limão.



Fonte: Autor.

Conforme apresentado no fluxograma, o capim-limão é adicionado em uma caldeira industrial juntamente com água destilada (H_2O). Essa caldeira é aquecida atingindo a fase de ebulição, ocorrendo assim a hidrodestilação. O vapor da água arrasta a substância aromática volátil e chega ao condensador, passando por resfriamento, onde essa mistura volta para o estado líquido, havendo a fase de separação da água e do óleo. Logo em seguida, após o resfriamento da caldeira é retirado o capim-limão seco, ocorre o processo de purga.

Previamente, para tais desenvolvimentos, adotou-se as seguintes condições para o processo:

- A proporção de água adicionadas na corrente A em relação ao capim-limão da corrente B é de 6,0606 L/kg, adiciona-se 400mL de água para cada 66g de capim-limão.
- Considerando a entrada de água a 20°C, a densidade da água nessa temperatura é de 998,23 kg/m³, então para cada 1 kg de capim-limão devem ser adicionados 6,05 kg de água. Uma vez que o capim-limão pertence ao reino *Plantae*, possui de 80 a 90% de água (PIMENTEL, 2004).
- Além da redução da atividade de microrganismos, a secagem pode promover o aumento do rendimento da extração do óleo, uma vez que promove a quebra da cutícula de cera protetora (RAHARJO & RETNOWATI, 2012).
- Por fim, considera-se que o processo de hidrodestilação retira 80% em massa de água do capim-limão proveniente; dessa forma, o rendimento passível a ser obtido para o óleo em relação à massa de capim-limão inicial é de 0,4% - média compreendida na literatura como a adequada (SANTOS et al., 2014, SANTIAGO et al., 2017, GOMES, 2003).

4.2 Modelagem matemática

Para a obtenção dos fluxos necessários em cada corrente, baseados no objetivo da pesquisa, foi utilizado o suplemento denominado por solver, ferramenta do Microsoft Excel, utilizando para isto as equações obtidas por meio do balanço de massa em torno do fluxograma de processo.

4.2.1 Balanço de Massa

Realizou-se a modelagem matemática por meio do balanço de massa apresentado nas equações seguintes:

Número de incógnitas: 7, sendo elas $\dot{m}_a, \dot{m}_b, \dot{m}_c, \dot{m}_d, \dot{m}_e, \dot{m}_f$ e $\dot{m}_g$, que representam os fluxos mássicos em cada uma das correntes do processo conforme descritas na Figura 3 - a letra subscrita nas incógnitas remete às nomenclaturas das correntes da figura.

Número de equações: 7, são elas:

$$\text{Balanço Global: } \dot{m}_a + \dot{m}_b = \dot{m}_c + \dot{m}_f + \dot{m}_g \quad (1)$$

$$\text{Balanço hidrodestilação: } \dot{m}_a + \dot{m}_b = \dot{m}_c + \dot{m}_d \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\text{Balanço de água na hidrodestilação:} \\ &\dot{m}_a + \dot{m}_b^{H_2O} = \dot{m}_d^{H_2O} \Rightarrow \dot{m}_a + 0,8 \dot{m}_b = \dot{m}_f \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Balanço condensador: } \dot{m}_d = \dot{m}_e \quad (4)$$

$$\text{Balanço separador: } \dot{m}_e = \dot{m}_f + \dot{m}_g \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &\text{Relação da entrada de água com a entrada de capim-limão:} \\ &\dot{m}_a = 6,05 \cdot \dot{m}_b \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &\text{Relação da quantidade de óleo com a entrada de capim-limão:} \\ &\dot{m}_g = 0,004 \dot{m}_b \end{aligned} \quad (7)$$

O que garante zero graus de liberdade e a possibilidade de resolução desse sistema de equações. A base de cálculo utilizada para os cálculos foi de 20 kg/h de capim-limão nesse processo, assim, $\dot{m}_b = 20 \text{ kg/h}$.

O método de otimização utilizado foi o Simplex, é um método iterativo utilizado para se determinar, numericamente, a solução ótima de um modelo de Programação Linear. Para Ploskas e Samaras (PLOSKAS; SAMARAS, 2014) a escolha do elemento de articulação em cada iteração é um dos passos mais críticos para o algoritmo simplex.

A flexibilidade da seleção de variáveis que entram e saem permite desenvolver várias regras de articulação. No trabalho de San e Chen (SAN; CHEN, 2007), é proposto um algoritmo híbrido melhorado-simplex genética (HSIGA), que combina o método simplex (SM) e algoritmo genético (GA) para resolver problemas de otimização numérica globais. Tan, Chin e Dou (TAN; CHIN; DOU, 2003) em seu artigo utilizam o modelo de sinal de ativação que é identificado através do método de “downhill simplex” multidimensional onde os resultados em tempo real, verificar a eficácia do esquema proposto. Diversos autores utilizaram o Método Simplex para resolver problemas de engenharia (YAMAMURA; KITAKAWA, 2003), (VELILLA; VALENCIA; MORENO, 2008), dentre outros. Ferramenta Solver do Excel, figura 6.

Figura 6 - Janela de aplicação - ferramenta ' Solver '

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: ☐ Máx. ☒ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

☒ Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Fonte: Autor.

O primeiro passo consiste em criar uma folha de cálculo com a informação contida no modelo. Nessa folha de cálculo deve-se ter:

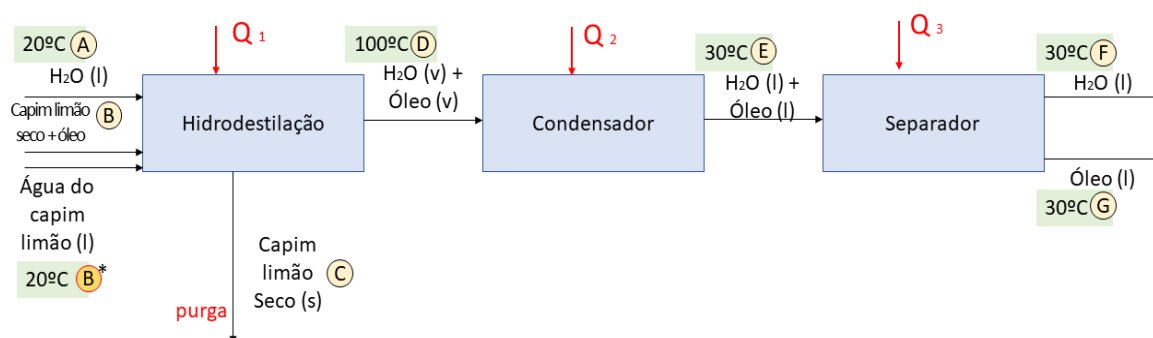
- As células onde serão colocados os valores das variáveis de decisão.
- Os coeficientes da função objetivo.
- A fórmula que relaciona estes coeficientes com as variáveis de decisão – a função objetivo propriamente dita.
- Os coeficientes da matriz das restrições.
- A fórmula que relaciona estes coeficientes com as variáveis de decisão – o lado esquerdo das restrições.
- As constantes que constituem o lado direito das restrições.

Seguindo essas restrições passo a passo tem-se os resultados aproximados no qual foi feito manualmente.

4.2.2 Balanço Energético

Para análise do balanço energético no processo foi observado quais equipamentos requerem fonte de calor (Q) para as transformações necessárias. Na Figura 7 é possível verificar o que ocorre em cada etapa.

Figura 7- Fluxograma para o balanço energético - Separação dos insumos da corrente B e temperatura em cada corrente.



Fonte: Autor.

Observe que, comparando-se tal fluxograma com a análise feita na Figura 3, tem-se agora informações adicionadas quanto à temperatura esperada em cada corrente e as quantidades de calor (Q) requeridas em cada equipamento. Adotou-se, inicialmente, que todos os equipamentos eram endotérmicos; caso contrário, o resultado final teria apenas um sinal negativo.

Além disso, vale salientar a divisão adotada previamente quanto a corrente B (entrada de capim-limão no processo). Conforme observou-se anteriormente, a planta possui uma parcela significativa de água, o qual chamamos de B*, e um restante que compreende ao óleo essencial e o “capim-limão seco”, ou seja, o material orgânico da planta propriamente dito.

Assim, é importante destacar, que se considera que o óleo essencial não apresenta variações na entalpia - embora ocorra a transformação do estado físico no processo de hidrodestilação - uma vez que o quantitativo de massa do óleo essencial é muito pequeno, fazendo a contribuição dessa variação de entalpia ser igualmente pequena e assim, adotada como desprezível.

A mesma consideração é feita quanto à massa do “capim-limão seco”, já que não apresenta variações consideráveis de temperatura para gerar variações na entalpia.

Portanto, apenas em relação ao cálculo energético, pode se considerar pela corrente B como somente o B*, que corresponde a água do capim-limão da entrada, já que é o único

componente da corrente B que contribui com variações na entalpia. Nesse sentido, essa ponderação é apenas para fins de cálculo, uma vez que essa corrente B* é integrante da corrente B previamente analisada no cálculo de massa e, portanto, apenas um simplificador para tratar somente da água da corrente B.

Partindo da primeira equação da termodinâmica aplicada em processos químicos:

$$\Delta \dot{E}_c + \Delta \dot{E}_p + \Delta \dot{H} = \dot{Q} + \dot{W} \quad (8)$$

Como nenhum dos processos citados caracteriza variações na energia mecânica nem realizações de trabalho sobre ou pelo sistema, o balanço energético torna-se:

$$\Delta \dot{H} = \dot{Q} \quad (9)$$

Portanto, baseado nas considerações realizadas acerca das entalpias do capim-limão seco e do óleo essencial no início e final do processo (que não apresentam variações), as seguintes Equações de Balanço de Energia podem ser escritas:

$$\text{Balanço de Energia Global: } \dot{H}_F - (\dot{H}_A + \dot{H}_{B*}) = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 \quad (10)$$

$$\text{Balanço de Energia na hidrodestilação: } \dot{H}_D - (\dot{H}_A + \dot{H}_{B*}) = \dot{Q}_1 \quad (11)$$

$$\text{Balanço de Energia no condensador: } \dot{H}_E - \dot{H}_D = \dot{Q}_2 \quad (12)$$

$$\text{Balanço de Energia no separador: } \dot{H}_F - \dot{H}_E = \dot{Q}_3 \quad (13)$$

Calculando essas entalpias separadamente:

$$\dot{H}_A = \dot{m}_A \cdot \hat{H}_{H_2O}^{20^\circ C} \quad (14)$$

$$\dot{H}_{B*} = \dot{m}_{B*} \cdot \hat{H}_{H_2O}^{20^\circ C} = 0,8 \dot{m}_B \cdot \hat{H}_{H_2O}^{20^\circ C} \quad (15)$$

$$\dot{H}_D = \dot{m}_D^{H_2O} \cdot \hat{H}_{H_2O}^{100^\circ C} = \dot{m}_F \cdot \hat{H}_{H_2O}^{100^\circ C} \quad (16)$$

$$\dot{H}_E = \dot{m}_E^{H_2O} \cdot \hat{H}_{H_2O}^{30^\circ C} = \dot{m}_F \cdot \hat{H}_{H_2O}^{30^\circ C} \quad (17)$$

$$\dot{H}_F = \dot{m}_F \cdot \hat{H}_{H_2O}^{30^\circ C} \quad (18)$$

As entalpias específicas foram obtidas, em tabelas de propriedades do vapor saturado.

4.3 Custo Energético do Processo

No que se refere a energia necessária gasta no processo da extração do óleo essencial do capim-limão, o hidrodestilador requer para funcionamento, uma carga de 355.106,3 KJ/h. Dessa forma para o custo total, foi utilizado a energia gasta em kw (Quilowatt) aplicada as horas trabalhadas mensalmente e as tarifas gasta de acordo com os dados em kWh (Quilowatt-hora) registrada pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte, com um custo aproximadamente 0,30R\$/kWh (Cosern, 2021).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises realizadas, foram obtidos os parâmetros, em escala industrial, sobre o processo de extração do óleo essencial do capim-limão. Os resultados referem-se aos fluxos mássicos (kg/h), conforme apresentado na Figuras 8.

Figura 8 - Parâmetros obtidos para os fluxos em cada corrente do processo.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Variáveis	mA	mB	mC	mD	mE	mF	mG
2		120,9964071	20	3,921956	137,0743	137,0743	136,9956	0,078967
3								
4	Euações:		LD	LE		(LD-LE)^2		
5	Balanço Geral	$mA+mB=mC+mF+mG$	140,9964	140,9966		2,48E-08		
6	Balanço hidrodestilação	$mA+mB=mC+mD$	140,9964	140,9962		2,88E-08		
7	balanço h2o hidrodestil.	$mA+0,8mB=mF$	136,9964	136,9956		5,85E-07		
8	balanço condensador	$mD=mE$	137,0743	137,0743		2,76E-09		
9	balanço separador	$mE=mF+mG$	137,0743	137,0746		7,55E-08		
10	água vs capim-limão entrada	$mA=6,05mB$	120,9964	120,9976		1,37E-06		
11	óleo vs capim-limão entrada	$mG=0,004mB$	0,078967	0,08		1,07E-06		
12								
13					Soma:	3,15E-06		

Fonte: Autor.

Concomitantemente, considerando-se que a densidade do óleo essencial do capim-limão é de aproximadamente 0,93 g/ml (SANTOS et al., 2014), logo 0,08 kg/h corresponderão a um volume produzido de 86,02 ml/h de óleo essencial produzidos a partir dos 20 kg/h do capim-limão de insumo inicial. Por outro lado, aplicando-se os dados obtidos nas tabelas de vapor saturado, calcula-se o balanço energético pelas Equações 14 a 18 e apresenta-se os resultados na Tabela 4.

E por fim, é possível calcular as quantidades de calor requeridas em cada etapa do processo pelas Equações 10 a 13 e expõe-se na Tabela 5 os resultados:

Tabela 4 - Entalpias em cada corrente

Entalpia de cada corrente	$\dot{H}_A$	$\dot{H}_{B^*}$	$\dot{H}_D$	$\dot{H}_E$	$\dot{H}_F$
Quantidade de energia (KJ/h)	10151,6	1342,4	366600,3	17220,4	17220,4

Fonte: Autor.

Tabela 5 - Balanço energético em cada equipamento e Balanço global do processo

Balanço Energético:	Calor (KJ/h)
Hidrodestilação ($\dot{Q}_1$)	355106,3
Condensador ($\dot{Q}_2$)	-349380
Separador ($\dot{Q}_3$)	0
Global ($\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$)	5726,4

Fonte: Autor.

Por meio dos dados obtidos, é possível observar os parâmetros de impacto sobre a extração de óleo essencial que vão permitir uma otimização no rendimento esperado do processo. Todavia, além das propriedades físico-químicas analisadas, é essencial, a nível industrial, que sua aplicabilidade seja pautada considerando aspectos como tempo e logística dos insumos e produtos, aspectos esses pertinentes a serem mais minuciosamente debatidos em trabalhos futuros em processamentos de extração do óleo essencial do capim-limão.

Assim, como proposta para implantação a nível industrial deste processo, objetivando um rendimento de 0,4% na extração do óleo - valor embasado nos resultados laboratoriais, que teve um rendimento de 0,44%. Outros autores, obtiveram rendimentos variáveis entre suas amostras em torno de 0,67%, porém discute que a literatura compreende como comum valores um pouco abaixo disso. O processo de 20 kg iniciais de capim-limão necessita de uma quantidade de calor de 355.106,3 kJ/h na hidrodestilação, liberando posteriormente no condensador 349380 kJ/h.

Tomando todos os dados necessários, realizou-se a modelagem matemática para o custo energético total no processo de extração durante um mês:

$$355.106,3 \frac{KJ}{hora} * \frac{1 hora}{3600 segundos} = 98.646 KW$$

Encontrando custo de *kwh* (quilowatt-hora) por mês:

$$1 * 98.646 KW * \frac{24 horas}{dias} * 30 dias = 71.025,12 \frac{KWh}{mês}$$

Dessa forma, para ser encontrado o custo total, tem-se:

$$71.025,12 \frac{KWh}{mês} * 0,30R\$ = 21.307,53 \frac{reais}{mês}$$

Portanto, é gasto mensalmente durante 24 horas ao dia R\$ 21.307,53 (vinte e um mil trezentos e sete reais e cinquenta e três centavos) na produção da extração do óleo essencial do capim-limão pelo método de hidrodestilação.

Como essa quantidade de calor liberado pode ser dimensionado de forma a ser reaproveitado por outros equipamentos e meios industriais, pode-se dizer que houve uma necessidade energética líquida de 5.726,4 kJ/h. Logo, os custos econômicos analisados, são avaliados a partir do total de 24 horas diárias de uso gasto no processo de extração, resultando a R\$ 21.307,53 (vinte e um mil trezentos e sete reais e cinquenta e três centavos) durante um mês, o valor trata somente da quantidade de energia para promover a hidrodestilação de maneira ideal, desprezando fatores como eficiência das máquinas e outros equipamentos associados ao processo.

6. CONCLUSÕES

No tocante ao processo de extração de óleo essencial do capim-limão, foi fundamental a realização de um estudo sistemático de caráter bibliográfico para compreender as condições de processo que contribuem para um melhor rendimento na extração deste óleo.

Nesse trabalho propôs-se um modelo matemático dinâmico baseado no balanço de massa e energia unidimensional nas fases fluido e sólido, para representar a extração de óleo essencial de capim-limão em unidade industrial por hidrodestilação. O modelo matemático desenvolvido ajustou-se aos dados experimentais de uma matéria-prima como base, o que caracteriza que o modelo pode ser experimentado em extração de outras espécies na obtenção dos óleos essenciais, como o alecrim, lavanda e cidreira, entre outros.

Foi possível verificar a importância das variáveis de processo, principalmente as condições de estado da matéria-prima. Pode-se observar que o modelo tem boa capacidade de predição, de acordo com o comparativo da literatura utilizada como base no rendimento volumétrico ao final do processo da extração do óleo essencial, visto que isso é dependente de parâmetros que fogem ao controle do processo de extração, como por exemplo, a quantidade inicial de óleo presente na folha.

A estratégia de estimação de parâmetros de quantidade de insumos utilizado no início do processo, resulta numa maior capacidade preditiva na extração do óleo essencial. A pesquisa objetivou o uso de ferramentas computacionais, visando uma melhor comparação ao nível industriais para obtenção dos resultados de modelagem matemática, com o auxílio da ferramenta Solver do Excel.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, comparados as literaturas encontradas com base ao rendimento de óleo extraído, porém em relação ao custo de energia gasta para obtenção do processo torna-se difícil ser encontrados na literatura, dificultando a busca por comparação nos resultados. Este trabalho serve como auxílio para o desenvolvimento de novas metodologia para caracterização da extração em unidades industriais, sabendo que o comportamento da extração é diferente para escalas distintas.

Estudos futuros sobre modificações no projeto, simulação por meio de software, assim como, uma análise econômica, trarão resultados ainda mais concretos para implantação deste fluxograma, a fim de confirmar o rendimento e realizar de maneira efetiva a caracterização química do óleo essencial.

REFERÊNCIAS

ANGELOPOULOU, D.; DEMETZOS, C.; PERDETZOGLU, D. Diurnal and seasonal variation of the essential oil labdanes and clerodanes from *Cistus monspeliensis* L. leaves. **Biochemical Systematics and Ecology**, 30, 189-203, 2002.

AZAMBUJA, Wagner. **Métodos de extração de óleos essenciais**. 2015a. Disponível em: <<http://www.oleosessenciais.org/metodos-de-extracao-de-oleos-essenciais/>> Acesso em 14 fev. 2021.

AZAMBUJA, Wagner. **Óleos essenciais: O início de sua história no Brasil**. 2015b. Disponível em: <<http://www.oleosessenciais.org/oleos-essenciais-o-inicio-de-suahistoria-no-brasil/>> Acesso em 14 fev. 2021.

AZAMBUJA, Wagner. **Química dos óleos essenciais e CAS**. 2015c. Disponível em: <<http://www.oleosessenciais.org/quimica-dos-oleos-essenciais-e-numero-cas/>> Acesso em 13 fev. 2021.

BIAZZI, E. **O maravilhoso pode das plantas**. Ed. Ampliada e autorizada de Saúde Pelas plantas. Casa Publicadora Brasileira, Tatuí-SP, 2003.

BRASIL, **Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA**. Resolução - RDC nº 2, de 15 de janeiro de 2007. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em 29 março de 2021.

BRASIL, **Ministério da Saúde Proposta de política nacional de plantas medicinais e medicamentos Fitoterápicos**. Brasília, Ministério da Saúde, 2001.

CABRAL, Tycianne Janyne de Oliveira. **Otimização da extração e da destilação molecular do óleo essencial de patchouli**. 2020. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Cap. 02.

CARVALHO, C. M. Rendimento da produção de óleo essencial de capim-santo submetido a diferentes tipos de adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, p. 58-65, 2005.

CASSEL, E. & VARGAS, R.M.F. (2006). **Experiments and modeling of the Cymbopogon winterianus essential oil extraction by steam distillation**. J. Mex. Chem. Soc. v. 55, p. 57-60.

CHAVEZ, M. G. C. **Hidrodestilacion de aceites esenciales: modelado y caracterizacion**. Tese (DOUTORADO) – Universidade de Valladolid, April 2007.

CHEVALIER, A. **The Encyclopedia of Medicinal Plants**. London: Dorling Kindersley, 1996. Disponível em: <http://www.revistascire.com.br/artigo/2015/MAR%C3%87O/UtilizacaoPlantasMedicinais_Inacio_Romao.pdf>

COMPANHIA ENERGETICA DO RIO GRANDE DO NORTE – COSERN (2021). **Tabela de Tarifas e preços finais de energia elétrica - Grupo B.**

DONELIAN, A. **Extração do óleo essencial de patchouli *Pogostemon Cablin* (blanco) benth utilizando dióxido de carbono supercrítico.** 2004. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina.

ECYCLE. **Sua pegada mais leve.** 2019 Disponível em < <https://www.ecycle.com.br/3828>.

ELYEMNI, Majda; LOUASTE, Bouchra; NECHAD, Imane; ELKAMLI, Taha; BOUIA, Abdelhak; TALEB, Mustapha; CHAOUCH, Mahdi; ELOUTASSI, Nouredine. Extraction of Essential Oils of *Rosmarinus officinalis* L. by Two Different Methods: hydrodistillation and microwave assisted hydrodistillation. **The Scientific World Journal**, [S.L.], v. 2019, p. 1-6, 1 abr. 2019. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2019/3659432>.

FELDER, R.M. & ROUSSEAU, R.W. & BULLARD, L.G. (2015). **Elementary Principles of Chemical Processes.** 4 ed, Wiley.

FERREIRA, S. H. (Org.). **Medicamentos a partir de plantas medicinais no Brasil.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1998, 131 p.

FRACETO, L.F. & CAMPOS, E.V.R. & OLIVEIRA, J.L. & MEDEIROS, G.A. de. (2015). **Os repelentes botânicos e seu potencial de uso no controle de insetos: os repelentes botânicos e seu potencial de uso no controle de insetos, Jornal Cruzeiro do Sul.** Disponível em: <https://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/612056/os-repelentes-botanicos-e-seu-potencial-de-uso-no-controle-de-insetos> Acesso em: 27 jan 2021.

GBENOU, J. D.; AHOUNOU, J. F.; AKAKPO, H. B.; LALEYE, A.; ELÉONORE, Y.; GBAGUIDI, F.; BABA-MOUSSA, L.; DARBOUX, R.; DANSOU, P.; MOUDACHIROU, M.; KOTCHONI, S.O. **Phytochemical composition of *Cymbopogon citratus* and *Eucalytus citriodora* essential oils and their anti-inflammatory and analgesic properties on Wistar rats.** Molecular biology reports, 20, 1127-34, 2013.

GOMES, E.C. (2003). CAPIM-LIMÃO - *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf: **Subsídios para melhoria de qualidade do cultivo, industrialização e comercialização no estado do Paraná.** 184 f. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PA, Brasil.

HEATH, H. B. **Source book of flavors.** USA: Van Nostrand Reinhold, v. 2, 1981.

HERZI, N.; BOUAJILA, J.; CAMY, S.; CAZAUX, S.; ROMDHANE, M.; CONDORET, J. S. Comparison between supercritical CO₂ extraction and hydrodistillation for two species of eucalyptus: yield, chemical composition, and antioxidant activity. **J. Food Sci.** v. 78, p. C667-C672, 2013.

LEAL, T.C.A. de B.; FREITAS, S. de P.; SILVA, J.F. da; CARVALHO, A.J.C. de. **Avaliação do efeito da variação estacional e horário de colheita sobre o teor foliar de óleo essencial de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf).** Revista Ceres, v.48, n. 278, p. 445-453, 2001.

LIMA, L.L. et al. **A Prática da fitoterapia a partir do conhecimento popular em três comunidades do valentina, João Pessoa – Paraíba.** Revista Ciência Saúde Nova Esperança; vol. 11, n. 03, p. 20-31, 2013.

LOPES, N. P.; KATO, M. J.; ANDRADE, E. H. A.; MAIA, J. G. S.; YOSHIDA, M.; **Circadian and seasonal variation in the essential oil from *Virola surinamensis* leaves.** Phytochemistry, 46, 689, 1997.

LORENZI, H. **Plantas que curam.** São Paulo:/BRASA, 2002. 279p.

LUCENA, B.F.F. et al. **Avaliação da atividade antibacteriana e moduladora de aminoglicosídeos do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.** (DC) Stapf. Acta biol. Colomb. Vol. 20, n. 01, p.39-45, 2015.

Disponível em <<https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.41673>>

MAGALHÃES, M. T. **Composição química de óleos essenciais.** In: I Simpósio de óleos essenciais, 1985, p. 21-25, São Paulo.

MARTINS, A. F. **Contribuição ao Estudo das Plantas medicinais:** Manual de Preservação da Natureza. Cabral Editora Universitária, 1998.

MARTINS, L.S. **A utilização da Fitoterapia em três comunidades quilombolas da mesorregião do agreste da Paraíba.** 2010. 37 f. Trabalho de conclusão de Curso de bacharelado e licenciatura em Enfermagem. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2010. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/780/1/PDF%20-%20Leandro%20de%20Souza%20Martins.pdf>>

MATASYOH, J. C.; WAGARA I. N.; NAKAVUMA J. L.; KIBURAI, A. M. **Chemical composition of *Cymbopogon citratus* essential oil and its effect on mycotoxigenic *Aspergillus* species.** African Journal of Food Science. 5, 138-142, 2011.

MORAIS, Lilia A. S. de, 2009. **Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais.**

Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_3/P_4_Palestra_Resumo_Lilia_Ap.pdf.

NETO, I. R. S; ALVES, M.G.L.; MARTINS, M.T.C.S. **Utilização de plantas medicinais pelos grupos de idosos e de jovens no município de Parari – PB.** Revista Acadêmico científica: vol. 07, n. 1 p. 1-15, 2015.

NUNES, M.G.S.; BERNARDINO, A.O.; MARTINS, R.D. **Uso de plantas medicinais por pessoas com hipertensão.** Revista Rene; vol. 16 n. 6, p. 775-81 2015. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufc.br/index.php/rene/article/viewFile/2855/2218>>

OLGUIN, C. F.A.; CUNHA, M.B.; DAL BOSCO C.B.; SCHNEIDER, M.B.; BOCARDI, BERGAMIN, J.M. Plantas medicinais: estudo etnobotânico dos distritos de Toledo e produção de material didático para o ensino de ciências. **Acta Sci. Human Soc. Sci**, Maringá, v.29, n.2, p.205-209, 2007.

OLIVEIRA, M.M.M.; BRUGNERA, D.F.; CARDOSO, M.G.; GUIMARÃES, L.G.L.; PICCOLI, R.H. Rendimento, composição química e atividade antilisterial de óleos essenciais de espécies de *Cymbopogon*. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais** 13, 8-16, 2011.

PALÁ-PAÚL, J.; PÉREZ-ALONSO, M. J.; VELASCO-NEGUERUELA, A.; PALÁ-PAÚL, R.; SANZ, J.; CONEJERO, F. **Plants as source of drugs. Biochemical Systematics and Ecology**. 29: 663-665, 2001.

PEIXOTO, M.I. et al. **Plantas medicinais utilizadas por idosos da zona rural de Fagundes** – PB. Congresso Internacional de envelhecimento Humano: vol. 02, n. 01, 2015. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/cieh/trabalhos/TRABALHO_EV040_MD4_SA3_ID337_27082015172304.pdf>

PEREIRA, M.C; DEFANI, M.A. **Plantas medicinais: modificando Conceitos**. 2007. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/284-4.pdf>. Acesso em 29 de março de 2021.

PIMENTEL, Carlos. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur, 191p., 2004.

PITAREVIC, I.; KUFTINEC, J.; BLAEVIC, N.; KUŠTRAK, D. **Seasonal variation of essential oil yield and composition of dalmatian sage, *Salvia officinalis***. Journal of Natural Products, 47, 3, 409-412, 1984.

PLOSKAS, N.; SAMARAS, N. The Journal of Systems and Software GPU accelerated pivoting rules for the simplex algorithm. **The Journal of Systems & Software**, v. 96, p. 1–9, 2014

PORRES-MARTÍNEZ, M.; GONZÁLEZ-BURGOS, E.; ACCAME, M. E. C.; GÓMEZ-SERRANILLOS, M. P. Phytochemical composition, antioxidant and cytoprotective activities of essential oil of *Salvia lavandulifolia* Vahl. **Food Research International**. v. 54, p. 523-531, 2013.

PRINS, C. L.; LEMOS, C. S. L.; FREITAS, S. P. **Efeito do tempo de extração sobre a composição e o rendimento do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*)**. Rev. Bras. Pl. Med., v.8, nº 4, p. 92-95, 2006.

RAHARJO, S. J; RETNOWATI, R. Yield increasing of patchouli oils of result steam distillation of patchouli leaf of dewaxing, fermentation, and drying process. **Journal Basic Science and Technology**, v.1, n. 3, p. 12-18, 2012.

SANGWAN, N. S.; FAROOQI, A. H. A.; SFIABIH, F.; SANGWAN, R. S. Regulation of essential oil production in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 34, p. 3-21, 2001. v. 34, p. 3–21, 2001.

SANTIAGO, J.C.C. & COSTA, F.M. & COSTA, J.J.C. da & SILVA, M.D. de B. (2017). **Extração do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus*)** 14º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia.

SANTOS, A. et al. Determinação do rendimento e atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf em função de sazonalidade e consorciamento. **Revista**

Brasileira de Farmacognosia; vol. 19 n. 2^a, p. 436-441, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbfar/v19n2a/a17v192a.pdf>>

SANTOS, M. S.; SOUSA, K. A. P.; MENEZES, L. C.; VALE, R. C.; VANSCONCELOS, A. F. F. EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM LIMÃO (CYMBOPOGON CITRATUS). In: **54º Congresso Brasileiro de Química, ABQ - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA**, Natal, 2014.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. **Capim-santo: saúde e bem estar. Saúde e Bem estar**. Vanessa Sardinha dos Santos. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/saude-bem-estar/capimsanto.htm>. Acesso em: 29 mar. 2021.

SAN, R. E. N. Z.; CHEN, Y. Hybrid Simplex-improved Genetic Algorithm for Global Numerical Optimization. **ACTA Automatica Sinica**, v. 33, n. 1, 2007.

SCHANEBERG, B.T., & KHAN, I.A. **Comparison of extraction methods for marker compounds in the essential oil of lemon grass By GC**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 1345–1349, 2002.

SCHEFFER, J.J.C. (1993). **The isolation of essential oils-factors influencing the oil composition**. Acta Hort. 344, p. 2-8.

SCHOSSLER, P.; SCHNEIDER, G.L.; WUNSCH, D.; SOARES, G.L. G.; ZINI, C.A. Volatile Compounds of Baccharis punctulata, Baccharis dracunculifolia and Eupatorium laevigatum obtained using Solid Phase Microextraction and Hydrodistillation. **J. Braz. Chem. Soc.** v.20, p.277-287, 2009.

SCHWOB, I.; BESSIERE, J. M.; MASOTTI, V.; VIANO, J.; BIOCHEM. **Syst. Ecol.** 32, 735. 2004.

SILVA, Felipe Maia; BERTINI, Luciana Medeiros; ALVES, Leonardo Alcântara; MOURA, Luciano Fernandes; BARBOSA, Plínio Tavares; FERNANDES, Alexandre Bruno Dantas. Análise da composição química do óleo essencial de capim-limão (**Cymbopogon citratus**) **obtidos através de extrator por araste com vapor d'água construído com materiais de fácil aquisição e baixo custo**. Holos, [S.L.], v. 4, p. 144, 14 ago. 2014. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <<http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1762>>

SILVA, P. A. Efeitos da adubação orgânica e mineral na produção de biomassa e óleo essencial do capim-limão [Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf]. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, R. P.; GOSMANN, G.; MELLO, P. C. J.; MENTZ, A. L.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia da planta medicamento**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.

SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre/Florianópolis: UFRGS/UFSC, 2001. Cap.18. 1986.

SULLIVAN, Debra. **Capim-santo: conheça benefícios e propriedades medicinais**: Por que usar o óleo essencial de capim-limão beneficia você. [S. l.]: Healthline, 13 abr. 2020. Disponível

em: <https://www.healthline.com/health/lemongrass-essential-oil#takeaway>. Acesso em: 11 abr. 2021.

TAN, K. K.; CHIN, S. J.; DOU, H. F. **Feedforward suppression of force ripple based on a simplex optimized dither signal**. p. 19–27, 2003.

TANKEU, S.Y.; VERMAAK, I.; VILJOEN, A.M.; SANDASI, M.; KAMATOU, G.P.P. Essential oil variation of *Tagetes minuta* in South Africa – A chemometric approach. **Biochemical Systematics and Ecology**. v. 51, p. 320-327, 2013.

TESKE, M.; TRENTINI, A.M. **Herbarium: Compêndio de Fitoterapia**. 4.ed. Curitiba: Laboratório Botânico, 2001.

VELILLA, E.; VALENCIA, J. A.; MORENO, G. “Using genetic algorithm and the simplex method to obtain equivalent circuits of the grounding systems”. **IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America**, p. 1–5, 2008.

VITTI, Andrea M. S.; BRITO, José O. **Óleo essencial de eucalipto**. Documentos florestais, n 17, p 1-26, 2003.

WATERMAN, P. G. The chemistry of volatile oils. In: HAY, R.K.M., WATERMAN, P.G. eds. **Volatile Oil Crops: Their Biology, Biochemistry and Production**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1993, p 185.

WENQIANG, G.; SHUFEN, L.; RUIXIANG, Y.; SHAOKUN, T.; CAN, Q. **Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods**. Food Chemistry, 101, 1558–1564, 2007.

WHO, J. H. **Traditional Medicine Strategy 2002-2005**. Geneve, 2002.

YAMAMURA, K.; KITAKAWA, T. “Finding all solutions of piecewise-linear resistive circuits using the simplex method”. **Circuits and Systems 2003. ISCAS '03. Proceedings of the 2003 International Symposium on**, v. 3, p. III–III, 2003.

YILMAZ, I. N.; KAHRIMAN, N.; TOSUN, G.; TERZIOGLU, S.; ALPAY, K. S.; YAYLI, N. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from the aerial parts of *Astragalus hamzaoglui* extracted by hydrodistillation and microwave distillation. **Rec. Nat. Prod.** v. 7, p. 177-183, 2013.

ZAGO, J.A.A. et al. Sinergismos entre óleos essenciais e drogas antimicrobianas sobre linhagens de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* isoladas de casos clínicos humanos. **Revista Brasileira de Farmacognosia**: vol.19, n. 04, p. 828- 833, 2009. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v19n4/05.pdf> >