

Vetiver (Vetiveria Zizanioides L.): Uma Planta De Interesse Para A Produção De Cosméticos Verdes.

Vetiver (Vetiveria Zizanioides L.): A Plant Of Interest For The Production Of Green Cosmetics.

karen Silva Pacheco de Oliveira

GRADUANDA DO CURSO DE FISIOTERAPIA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ

Jôse Maria Leite da Silva

MESTRE EM DESENVOLVIMENTO LOCAL E DOCENTE CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ

Cátia Malachias Silva

MESTRE EM CIÊNCIAS DA ATIVIDADE FÍSICA E DOCENTE CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ

Victor Ramos da Silva

MESTRE EM ESTUDOS DE LINGUAGEM E DOCENTE CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ

Thiago de Ávila Medeiros

MESTRE EM ENSINO DE CIÊNCIAS E DOCENTE CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão sobre o vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash), uma planta herbácea originária da Índia, que tem potencial para a bioeconomia contemporânea. O vetiver é uma planta versátil e adaptável, que protege o meio ambiente da erosão e da poluição por metais pesados. O vetiver também é uma fonte de óleo essencial, que é um dos mais valorizados na indústria de perfumaria e cosmética, por seu aroma amadeirado, terroso e balsâmico, e por suas propriedades farmacológicas, como antioxidante, anti-inflamatória, cicatrizante, hidratante e tonificante. O óleo essencial de vetiver pode ser usado na formulação de cosméticos verdes, que são produtos de beleza que usam ingredientes naturais e sustentáveis. O artigo aborda as características botânicas, químicas e farmacológicas do vetiver, bem como seus métodos de extração e suas aplicações industriais. O artigo também destaca as possibilidades de aplicação biotecnológica do vetiver, que ainda são pouco exploradas, mas que podem gerar bioprodutos inovadores e de alto valor agregado para a agroindústria.

Palavras-chave: *Vetiveria zizanioides* (L.). Cosméticos Vetiver. Composição do óleo essencial. Cosméticos naturais. Atividades antioxidantes.

ABSTRACT

This article presents a review on vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash), a herbaceous plant native to India, that has potential for the contemporary bioeconomy. Vetiver is a versatile and adaptable plant, that protects the environment from erosion and pollution by heavy metals. Vetiver is also a source of essential oil, that is one of the most valued in the perfume and cosmetic industry, for its woody, earthy and balsamic aroma, and for its pharmacological properties, such as antioxidant, anti-inflammatory, healing, moisturizing and toning. The essential oil of vetiver can be used in the formulation of green cosmetics, that are beauty products that use natural and sustainable ingredients. The article addresses the botanical, chemical and pharmacological characteristics of vetiver, as well as its extraction methods and industrial applications. The article also highlights the possibilities of biotechnological application of vetiver, that are still little explored, but that can generate innovative and high value-added bioproducts for the agroindustry.

Keywords: *Vetiveria zizanioides* (L.). Vetiver Cosmetics. Essential oil composition. Natural cosmetics. Antioxidant activities.

1. INTRODUÇÃO

A espécie vegetal, *Chrysopogon zizanioides* (L.) Nash (sinônimo *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), é uma planta herbácea perene da família Poaceae, originária da Índia, que se desenvolve em quase todos os tipos de solo, sendo a areia drenada o mais adequado. O vetiver é uma planta originária da Índia, que se adapta a diversos tipos de solo e condições climáticas. Há cerca de 100 anos, o vetiver foi introduzido em diversas regiões tropicais do mundo, onde é cultivado para vários fins. Atualmente, os principais produtores são Haiti, Índia, Indonésia e Ilha da Reunião. O vetiver tem aplicações nos mais diversos setores industriais, graças às suas características botânicas, fisiológicas e biotecnológicas. (Burger et al., 2017).

O vetiver é uma gramínea que se destaca pela sua biodiversidade e potencial biotecnológico. Suas características fisiológicas incluem a formação de grandes touceiras densas, com um sistema radicular fibroso e esponjoso, que pode atingir até 4 metros de profundidade no solo em um ano. Além disso, o vetiver tem um crescimento rápido, chegando a 3 cm por dia nas fases iniciais do desenvolvimento. Essas propriedades permitem a exploração de novas tecnologias e bioprodutos a partir do vetiver, que podem beneficiar diversos setores industriais. (Flora, 2020).

O vetiver tem uma estrutura robusta e ereta, com folhas rígidas e alternadas. A planta pode medir de 1 a 2,5 metros de altura e produz inflorescências, mas não produz sementes férteis. Isso evita que o vetiver se torne uma planta invasora e facilita o seu manejo. (Verma, 2020). O vetiver é uma planta altamente adaptável, que suporta variações de temperatura, umidade, pH do solo e estresse hídrico. Além disso, o vetiver é resistente a muitos agentes bióticos e abióticos que afetam outras plantas. Essas características fazem do vetiver uma planta versátil e útil para vários setores industriais, especialmente como um agente de biorremediação de amplo espectro (David et al., 2019).

O vetiver é uma planta que possui um grande potencial biotecnológico, graças aos avanços tecnológicos que permitem gerar derivados de alto valor a partir da planta. O vetiver é usado em diversos setores industriais, como biorremediação, farmacêutica e cosmetologia. Um dos principais produtos do vetiver é o óleo essencial, que tem propriedades aromáticas, antioxidantes e antimicrobianas. O óleo essencial do vetiver é um ingrediente importante na formulação de perfumes e cosméticos de alto valor de mercado (David et al., 2019; Kadarohman et al., 2014).

O óleo essencial do vetiver é uma fonte de bioprodutos inovadores e sustentáveis, que se alinham ao conceito de cosmética verde. Esses bioprodutos são cosméticos inteligentes e 100% naturais, que respeitam o meio ambiente e a saúde humana, e que podem ter aplicações como hidratantes, protetores solares, antienvhecimento, entre outras. Neste trabalho, realizamos uma revisão bibliográfica para entender as novas tecnologias e bioprodutos a partir do óleo essencial do vetiver, visando contribuir para a bioeconomia contemporânea e para uma nova cadeia produtiva da agroindústria, que valoriza uma matriz vegetal versátil e de alto valor agregado.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Vetiver para Biorremediação em Indústrias Químicas

Aproximadamente 10 milhões de toneladas de produtos químicos tóxicos são liberados todos os anos no meio ambiente. A gestão de tais resíduos químicos é essencial para manter boas condições de saúde dos seres humanos e de todos os seres vivos. O tratamento químico de resíduos por vetiver é uma abordagem econômica que tem predominado sobre a biorremediação química. Singh et al., 2008, investigou a biorremediação de fenol usando vetiver. O estudo relatou a remoção completa de fenol de uma solução com 50 - 100 mg/L e, 70%, 76% e 89% de remoção de 1000, 500 e 200 mg/L, respectivamente.

A produção de peróxido de hidrogênio e peroxidase é responsável pela remoção de fenol durante o crescimento da planta vetiver em ambiente fenólico. No entanto, o fenol inibe o crescimento do vetiver (Singh et al., 2008). Saeb et al., 2015, relataram 8 mg/kg de remoção de cianeto por vetiver de uma maneira dependente do pH. A capacidade

aumentou com o aumento da quantidade de água, pH e tempo de crescimento (Saeb et al., 2015). A cepa de *Achromobacter xylosoxidans* (uma bactéria endofítica) melhora o crescimento da biomassa de vetiver enquanto degrada o fenol (Ho Yn et al., 2012). TNT (2,4,6-trinitrotolueno) gerado durante locais explosivos é cancerígeno e representa sérios problemas de saúde. A grama Vetiver pode absorver TNT (Das et al., 2010; Markris et al; 2007). Makris e seus colaboradores relataram 1,03 mg/g de absorção de TNT por vetiver (Markris et al; 2007). Maior absorção de TNT (40 mg/g) foi relatada por um sistema vetiver-ureia devido ao efeito caotrópico da ureia (Das et al., 2010).

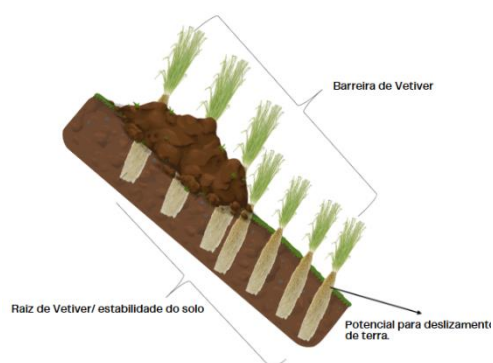
2.1.1. Vetiver para Biorremediação em Indústrias Farmacêuticas.

A contaminação química por produtos farmacêuticos é um problema ambiental que pode ser causado pelas indústrias farmacêuticas e pelo descarte inadequado de medicamentos vencidos ou não utilizados em clínicas e residências (Depledge, 2011; Wu et al., 2012; Wojcieszynska et al., 2015). Essa contaminação pode gerar resistência a antibióticos no solo e no ecossistema aquático (Panja et al., 2020). O vetiver é uma planta que pode tratar a água contaminada com antibióticos como a tetraciclina, por meio de reações de hidrólise de amida e conjugação mediada por GST (Sengupta et al., 2016).

O vetiver também pode remover o naproxeno (um anti-inflamatório não esteroide) do solo e das águas residuais (Marsidi et al., 2016). Em um estudo recente, Panja et al. demonstraram o potencial do vetiver para remover a ciprofloxacina e a tetraciclina do efluente de águas residuais, alcançando mais de 90% de remoção dos antibióticos em 30 dias. Além disso, o vetiver reduziu os níveis de nitrato, fosfato, carbono orgânico total e demanda química de oxigênio nas águas residuais em mais de 40%, 60%, 50% e 40%, respectivamente (Panja et al., 2020).

O vetiver é uma planta que ajuda a prevenir deslizamentos de terra, graças às suas raízes fortes e profundas, que podem atingir até dois metros de altura. As raízes do vetiver envolvem o solo e reduzem a sua expansão e a sua força expansiva. Assim, o solo fica menos compactado e mais estável. O vetiver é uma planta eficaz para a conservação do solo e a proteção de encostas, conforme mostrado na Figura 1 (Wang et al., 2020).

Figura 1. Representação do uso de biorremediação de vetiver em áreas de declive.



Fonte: próprio autor

O vetiver é uma planta que se destaca no tratamento de águas residuais, que podem conter agentes tóxicos e metais pesados provenientes de atividades de mineração e agricultura. O vetiver remove esses contaminantes por meio de suas raízes, que absorvem partículas de chumbo, cádmio, cobre, ferro e zinco e as transportam para a parte aérea da planta (Ng et al., 2020). Um exemplo de aplicação do vetiver no tratamento de águas residuais é o sistema que mostra o cultivo de grama em um local onde as raízes entram em contato com águas residuais de fábricas de papelão. Esse sistema pode remover cerca de 66% do chumbo e 64% do cádmio das águas residuais (Davamani et al., 2021).

O vetiver é uma planta que pode transportar partículas metálicas das raízes para as folhas, por meio dos vasos do xilema e do floema. Essas partículas se acumulam nos vacúolos celulares das folhas, onde podem ser extraídas como compostos bioativos. O vetiver também pode absorver fósforo do solo, especialmente em condições de inundação e irrigação com água salina. Essas condições causam um estresse hídrico e uma redução de oxigênio no solo, que afetam a absorção de fósforo pelo vetiver (Churreaem & Roongtanakiat, 2020). O potencial de absorção de partículas metálicas e outras pelo vetiver está relacionado à sua composição química e ao seu aproveitamento integral em outros setores industriais.

2.1.2. Estudos fitoquímicos visando a prospecção de biomoléculas.

O óleo essencial de vetiver (OEV) é um produto importante para o setor industrial, pois possui uma composição química diversificada, com mais de 100 elementos, destacando-se os sesquiterpenos, como o beta-vetiveneno e o beta-vetivona. Esses compostos conferem ao OEV um alto teor alcoólico e um aroma característico. As moléculas alcoólicas mais concentradas encontradas no OEV são: khusimol, isovalencenol e vetiselinenol, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2. Principais moléculas do Vetiver utilizada na indústria de perfumaria.



Fonte: próprio autor

O OEV possui uma composição química complexa e diversificada, que inclui vários álcoois, como o vetiverol, que é um fixador de aroma muito usado na indústria de perfumaria. O OEV também contém compostos carbonílicos, como a alfa-vetivona e a beta-vetivona, que contribuem para as características aromáticas do óleo. (Paillat et al., 2012).

Além disso, o OEV possui terpenoides e fenilpropanoides, que são biomoléculas com propriedades antiinflamatórias, antissépticas, afrodisíacas, cicatrizantes e tônicas. Essas biomoléculas são úteis para o tratamento de problemas ósseos, reumáticos, musculares e articulares. A elevada complexidade química do OEV justifica a sua ampla aplicação em diversos setores industriais (LUNZ & STAPPEN, 2021).

A nanoencapsulação de compostos ativos tem duas funções. Visa aumentar a sua estabilidade e eficácia. A nanoencapsulação protege os compostos ativos da oxidação, do calor, da luz e da degradação, prolongando o seu prazo de validade e a sua atividade biológica. Além disso, a nanoencapsulação permite a liberação controlada e direcionada dos compostos ativos para um alvo específico, evitando a perda por volatilidade, alteração sensorial (de odor e sabor) ou inativação (Sarheed et al., 2021).

Outro exemplo de aplicação cosmética do OEV nanoencapsulado é o filtro solar, que protege a pele dos raios ultravioleta e previne o envelhecimento e as manchas causados pelo sol. O OEV tem propriedades antioxidantes e anti-

inflamatórias, que podem melhorar a saúde e a aparência da pele. O OEV também tem um aroma amadeirado e terroso, que pode ser usado como fixador de perfumes. O OEV nanoencapsulado é indicado para o clareamento e a proteção de fototipos cutâneos altos, axila e virilha (Sarheed et al., 2021).

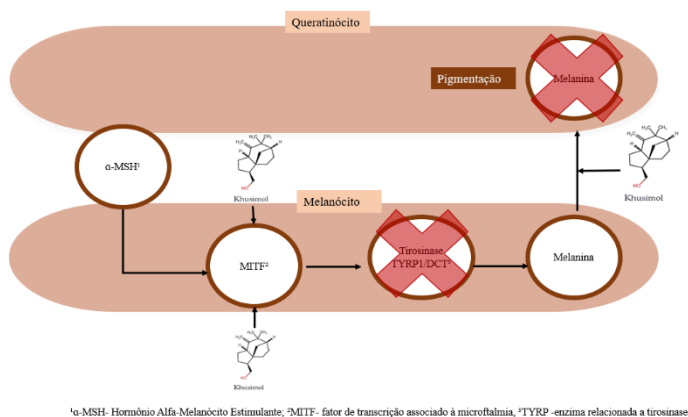
As nanoemulsões são sistemas formados por lipossomas, que são estruturas vesiculares compostas por uma ou mais bicamadas de fosfolípidios que envolvem um núcleo aquoso. Esses sistemas permitem a incorporação de drogas em forma de microesferas chamadas micelas, que são dispersas no veículo lipídico vesicular. As nanoemulsões são formulações de liberação de drogas baseadas em lipossomas, que apresentam vantagens como estabilidade, biocompatibilidade e biodisponibilidade (Cimino et al., 2021).

As microemulsões e as nanoemulsões são nanoestruturas que podem ser usadas para incorporar substâncias imiscíveis, como óleo e água. As microemulsões têm um tamanho de 100 a 400 nm e são mais estáveis do que as nanoemulsões, que têm um tamanho de 1 a 100 nm. Para formar essas nanoestruturas, é necessário usar uma substância que reduza a tensão entre as fases imiscíveis, chamada de surfactante. O surfactante envolve as gotículas de óleo ou de água e permite a sua dispersão na outra fase. As microemulsões e as nanoemulsões têm aplicações em diversos setores industriais, como farmacêutico, cosmético e alimentício (Ali et al., 2020).

A nanoencapsulação é uma técnica que permite a liberação controlada do princípio ativo do OEV, aumentando a sua biodisponibilidade e eficiência. Além disso, a nanoencapsulação proporciona um perfil farmacocinético mais seguro e eficaz, podendo ser usada para encapsular fármacos ou ativos cosméticos. Um exemplo de aplicação cosmética do OEV nanoencapsulado é o clareamento de manchas escuras na pele, como melasmas e hiperpigmentação (Ali et al., 2020).

O OEV atua no processo de melanogênese, que é a biossíntese de melanina, um pigmento que dá cor à pele (figura 3). O OEV inibe a enzima tirosinase, que é essencial para a melanogênese, reduz a formação de melanossomas e bloqueia a sua transferência para os queratinócitos, que são as células da pele. Assim, o OEV diminui a expressão de melanina na pele, clareando as áreas afetadas.

Figura 3 - esquema do mecanismo de ação do Vetiver.



¹o-MSH- Hormônio Alfa-Melanócito Estimulante; ²MITF- fator de transcrição associado à microftalmia; ³TYRP -enzima relacionada a tirosinase.

Fonte: próprio autor

O vetiver é uma planta que possui substâncias de interesse clínico, que podem ser isoladas por meio de tecnologias de encapsulamento. Essas tecnologias permitem a formulação de bioprodutos a partir do OEV, que atendem às diretrizes farmacêuticas de segurança, eficácia e qualidade. O encapsulamento também aumenta a biodisponibilidade e a estabilidade das biomoléculas presentes no OEV, que podem ter aplicações em diversas áreas da saúde (Pandey et al., 2020).

2.1.3. Prospecção de lignina a partir de derivados de plantas de vetiver.

As plantas produzem compostos fitoquímicos como forma de defesa biológica contra pragas e doenças. Esses compostos podem ser do metabolismo primário ou secundário da planta. Um exemplo de composto fitoquímico do metabolismo secundário é a lignina, que é um polímero fenólico que confere rigidez e resistência à parede celular das plantas. A lignina representa 15-30% em peso da matéria seca lignocelulósica (MLC), que é composta por celulose, hemicelulose e lignina (Figura 4). A lignina tem diversas aplicações biotecnológicas, como a produção de biocombustíveis, biomateriais e bioprodutos (Korányi et al., 2020).

Figura 4. A lignina presente no Vetiver apresenta possíveis aplicações.



Fonte: próprio autor

As biorrefinarias são conceitos que surgiram na Europa há cerca de uma década, que consideram as plantas como fontes de compostos ativos de alta complexidade. A lignina é um desses compostos, que é um polímero fenólico derivado do metabolismo secundário vegetal, presente nas folhas e raízes do vetiver. A lignina tem grande potencial para a plataforma de biorrefinaria, pois pode ser usada para produzir químicos aromáticos e energia. A lignina é um dos principais componentes da parede celular das plantas e tem papel importante nas vias anabólicas vegetais (Zhang et al., 2021).

A lignina é um biopolímero fenólico que é sintetizado a partir da fenilalanina e da tirosina nas células vegetais. É o segundo biopolímero mais abundante na biosfera, representando 30% do carbono orgânico. A lignina tem uma função essencial para o crescimento e a adaptação das plantas, pois é um dos principais componentes da parede celular vegetal. Além disso, a lignina pode ser usada como recurso para a indústria farmacêutica, na produção de bioprodutos para a saúde. As nanopartículas de lignina estão sendo estudadas como possíveis carreadores biológicos para a entrega de drogas, com o uso de técnicas de bioengenharia e biotecnologia (Liu et al., 2018).

A lignina é um composto fitoquímico que tem propriedades antioxidantes, neuroprotetoras e anticancerígenas. A lignina pode inibir a peroxidação lipídica e a formação de radicais de oxigênio, que são responsáveis pelo estresse oxidativo e

pelo dano celular. A lignina também pode interferir no sistema nervoso central e na proliferação de células cancerígenas, modulando a expressão molecular de genes envolvidos nesses processos (Korányi et al., 2020).

A lignina pode ser usada para produzir nanocompósitos, que são materiais formados pela combinação de nanopartículas com outros materiais. Os nanocompósitos à base de lignina têm um futuro promissor na área biomédica, pois apresentam biocompatibilidade e baixa citotoxicidade, ou seja, não são tóxicos para as células. Os nanocompósitos à base de lignina podem ser obtidos a partir das folhas e raízes do vetiver, aproveitando a sua biomassa como matriz (Wnorowski et al., 2020).

A lignina é um biopolímero fenólico que tem diversas aplicações biotecnológicas, graças à sua abundância, versatilidade e funcionalidade. A lignina pode ser usada como agente emulsificante na indústria alimentícia, como antioxidante natural na indústria de alimentos e cosméticos, como pesticida e fertilizante na agricultura, e como matéria-prima para a produção de nanomateriais com propriedades biológicas e físico-químicas. A lignina pode ser obtida a partir da biomassa de vetiver, que é uma planta com alto teor de lignina nas folhas e raízes. A biomassa de vetiver pode ser aproveitada para gerar valor agregado e sustentável a partir da lignina (Wnorowski et al., 2020).

As ligninas também podem absorver comprimentos de onda do ultravioleta ao visível em complexos policromóforos, o que representa um uso inovador para este composto. Portanto, ao mesmo tempo em que conferem tonalidades escuras às fibras vegetais, torna-as viáveis para o desenvolvimento de protetores solares com significativa capacidade de proteção contra os raios ultravioleta, por exemplo (CHEN et al., 2018).

A lignina é um composto fitoquímico que tem a capacidade de absorver a radiação ultravioleta e visível, devido à sua estrutura policromófora. Isso faz da lignina um composto inovador para o desenvolvimento de protetores solares naturais, que podem proteger a pele dos danos causados pelo sol. A lignina também confere uma cor escura às fibras vegetais, que pode ser usada como corante natural. A lignina pode ser extraída da biomassa de vetiver, que é uma planta rica em lignina nas folhas e raízes (Chen et al., 2018).

A biotecnologia oferece uma alternativa preventiva para o cenário de danos causados pela exposição solar, ao utilizar a lignina como matéria-prima para o desenvolvimento de filtros solares. Essa biomolécula possui excelentes propriedades antioxidantes e de absorção de UV, que permitem não só filtrar eficazmente os raios ultravioleta, mas também reparar o DNA danificado pela radiação (Figueiredo et al., 2018).

A lignina, uma biomolécula com baixa toxicidade, resistência aos raios ultravioleta, atividade antibacteriana e antioxidante, tem despertado o interesse da indústria farmacêutica por suas características físicas e químicas (Daji et al., 2020). A nanolignina, obtida por meio de tecnologias contemporâneas como precipitação anti-solvente, auto-montagem, adição gradual e métodos mecânicos, apresenta vantagens como robustez e biodisponibilidade do princípio ativo. Essas técnicas permitem a preparação de nanolignina com propriedades adequadas para diversas aplicações (Ago et al., 2017).

3. METODOLOGIA

Este trabalho é uma revisão de literatura sobre a avaliação e o tratamento de produtos refinados obtidos da raiz de *Vetiveria zizanioides*, uma planta aromática que fornece um óleo essencial de alto valor para perfumes e cosméticos. Para fundamentar cientificamente o tema, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em plataformas digitais como Google Acadêmico, SciELO, PubMed, usando as palavras-chave: *Vetiveria zizanioides*, Cosméticos Vetiver, Biotecnologia e Óleo Essencial Vetiver. Foram selecionadas publicações em português e inglês, no período de 2000 a 2022. Foram excluídos artigos que não eram gratuitos, que não abordavam especificamente o assunto pesquisado ou que eram anteriores a 2000. O estudo foi baseado em periódicos nacionais e internacionais.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os óleos essenciais (OE) de *Vetiveria zizanioides*, uma planta aromática originária da Índia, apresentam uma composição química bastante homogênea, independentemente do país de cultivo. A única diferença significativa é o teor de khusimol, um sesquiterpeno oxigenado que varia de 12,6% a 6,1% entre os OEVs de nove países diferentes (Brasil, Haiti, China, Índia, Java, Madagascar, México, Reunião e El Salvador) (Champagnat et al.,2006). O OEV do Haiti é o mais comercializado no mundo e tem seu perfil metabólico caracterizado por técnicas cromatográficas e avaliação olfativa. Os principais compostos responsáveis pelo aroma do OEV haitiano são: khusimol, β -Vetivone e α -Vetivone, conforme mostrado na Tabela 2 (Filippi et al.,2013).

Tabela 1. Principais moléculas encontradas no óleo essencial de vetiver e seus respectivos rendimentos.

| Composto | Função Química | Contribuição de composição (% V/V) |
|---------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| (E)-Isovalencenol | Alcohol I | 12.04 |
| Khusimol | Alcohol I | 9.59 |
| α -Vetivone | Ketone | 4.59 |
| Vetiselinenol | Alcohol I | 3.64 |
| α -Isonootkatol | Alcohol II | 3.46 |
| β -Vetivone | Ketone | 3.22 |
| <i>cis</i> -Eudesm-6-en-12-ol A | Alcohol | 2.00 |
| α -Cadinol | Alcohol III | 1.91 |
| Spirovetiva-3,7(11)-dien-12-ol | Alcohol I | 1.48 |
| β -Vetivenene | Hydrocarbon | 1.48 |
| <i>cis</i> -Eudesm-6-en-11-ol | Alcohol III | 1.38 |
| <i>cis</i> -Eudesm-6-en-12-ol B | Alcohol I | 1.36 |
| α -Amorphen | Hydrocarbon | 1.36 |
| Ciclopacampanol B | Alcohol I | 1.21 |
| Ciclopacampanol A | Alcohol I | 1.12 |
| Zizanoic acid | Carboxylic Acid | 0.93 |
| (E)-Isovalencenal | Aldehyde | 0.89 |

Fonte: adaptado de (Paillat et al., 2012).

O fracionamento do OEV haitiano por cromatografia em coluna de sílica gel é uma metodologia fitoquímica que permite identificar as moléculas responsáveis pelo odor característico da planta. Essa caracterização é essencial para garantir a qualidade e a segurança do OEV, bem como para desrepliar os derivados vegetais de interesse biotecnológico. A biotecnologia possibilita a conversão de moléculas bioativas em bioprodutos para diversas aplicações industriais (Paillat et al., 2012).

Usando solventes específicos, como éter etílico (Et2O) e éter de petróleo (PE), foi possível obter uma fração de alta polaridade do OEV, que apresentou um forte odor amadeirado e foi composta principalmente por sesquiterpenos. Essa fração foi obtida na proporção de 100:0 g/g entre Et2O e PE. Variações nessa proporção também foram testadas e resultaram em outras frações com diferentes perfis químicos e olfativos. Por exemplo, na proporção de 98:2 g/g, a fração exibiu predominância de óxidos sesquiterpênicos (organofuranos) e alguns ésteres (Ulian et al., 2010).

O fracionamento do OEV por solventes específicos permitiu a obtenção de frações com diferentes compostos químicos e propriedades olfativas. As frações foram obtidas variando a proporção entre Et2O e PE, conforme descrito a seguir: (95:5 g/g) presença de aldeídos, cetonas e álcoois terciários; (90:10 g/g) predominância de álcoois sesquiterpênicos terciários e vetivones, sendo estes últimos os principais responsáveis pelo aroma do OEV; (80:20 g/g) presença dos dois isômeros da vetivona e diferentes classes de álcoois sesquiterpênicos; (70:30 a 50:50 g/g) presença quase exclusiva de álcoois sesquiterpênicos primários e secundários (Chen et al., 2018).

O OEV é uma fonte de moléculas bioativas de alto valor agregado para as indústrias químico-farmacêuticas, mas sua diversidade química dificulta o isolamento eficiente dessas moléculas pelos processos tecnológicos convencionais. Esses processos ainda apresentam baixo rendimento e qualidade, o que limita o aproveitamento do OEV em formulações de produtos. Por isso, a biotecnologia e a bioengenharia surgem como alternativas inovadoras para extrair e purificar moléculas de interesse industrial a partir do vetiver, uma planta aromática com potencial comercial (Chen et al., 2018).

OEV é um derivado vegetal de alto valor econômico, pois possui compostos bioativos com potencial para diversas indústrias. Esses compostos são sintetizados principalmente pelos tricomas, que são estruturas especializadas que revestem as células das plantas de vetiver. A extração desses compostos, no entanto, é limitada pela parede celular, uma camada de celulose e pectina que envolve as células vegetais. Os métodos de extração tradicionais, como a destilação por arraste de vapor (DAV) e a hidrodestilação (HD), nem sempre são eficazes para romper essa barreira (Sharmeen et al., 2021).

Um método alternativo para a extração de OE é a extração por etanol expandido de dióxido de carbono (CXE), que apresenta vantagens em relação aos métodos convencionais, como a SFE. Segundo um estudo recente, o CXE obteve o maior rendimento total da extração (7,42%), que é a razão entre a quantidade de óleo extraído e a quantidade de amostra original. Esse rendimento foi superior ao da SFE (~5%), da HD (0,6%) e da DAV (0,3% - 0,5%) (ONU, 2021).

Os dados obtidos permitiram avaliar a atividade antioxidante do OEV em função do método de extração utilizado. As análises mostraram que o OEV apresentou maior capacidade de combater os radicais livres quando extraído por destilação indireta de vapor (DIV), seguido por hidrodestilação (HD), extração por etanol expandido de dióxido de carbono (CXE) e extração com fluido supercrítico (SFE). Esse resultado pode estar relacionado com o perfil químico do OEV, que apresenta variações na quantidade relativa dos compostos químicos dependendo do método de extração utilizado. Essas variações podem influenciar diretamente no desempenho das atividades biológicas, conforme mostrado na tabela 3 (ONU, 2021).

Tabela 2. Principais compostos, e seus respectivos rendimentos relativos, obtidos a partir do óleo essencial de vetiver de acordo com o método de extração empregado.

| Composto | HD ¹ | IVD ² | CXE ³ | SFE ⁴ |
|---------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| | Area, % | Area, % | Area, % | Area, % |
| cycloisolongifolene | 11.09 | 6.56 | 4.89 | 0 |
| Isoledene | 0 | 0 | 0 | 4.79 |
| β-patchoulen | 0 | 0.92 | 3.15 | 1.98 |
| Longifolene | 0 | 0 | 3.69 | 0 |
| Prezizaene | 0 | 0 | 0 | 2,25 |
| Khusimene | 2.16 | 5.86 | 1.48 | 4.44 |
| dehydroaromadendrene | 0 | 0 | 3.11 | 0 |
| β-cadinene | 3.05 | 1.05 | 6.23 | 0 |
| α-curcumene | 0 | 0 | 0 | 11.92 |
| γ-himachalene | 0 | 1.87 | 0 | 32.65 |
| α-amorphene | 0 | 0 | 3.54 | 0 |
| cis-eudesma-6,11-diene | 0 | 3.73 | 2.46 | 0 |
| β-guaiene | 15.31 | 1.02 | 0 | 0 |
| eudesma-4,6-diene | 0 | 4.93 | 0 | 0 |
| β-vetispirene | 2.23 | 0 | 0 | 0 |
| eudesma-3,11-diene | 2.18 | 0 | 1.36 | 0 |
| α-murolene | 3.4 | 0 | 2.46 | 0 |
| γ-cadinene | 0.12 | 0 | 18.08 | 0 |
| δ-cadinene | 1.15 | 0.85 | 4.06 | 0 |
| alloaromadendrene epoxide | 6.36 | 0 | 0 | 0 |
| β-vetivene | 3.89 | 0.73 | 0 | 0 |
| zierone | 0.87 | 3.48 | 0 | 0 |
| 10-epi-γ-eudesmol | 2.77 | 0 | 0 | 0 |
| valerenol | 0 | 0 | 18.48 | 0 |
| valerenal | 5.18 | 5.09 | 10.21 | 0 |
| cadina-4,9-diene | 4.86 | 0 | 0 | 0 |
| cedr-8-en-13-ol | 26.54 | 9.74 | 0 | 0 |
| zizanoic acid | 2.66 | 0 | 0 | 0 |

¹Óleo de Vetiver obtido por hidrodestilação convencional (HD); ² Óleo de Vetiver obtido por Destilação Indireta de Vapor (IVD); ³ Óleo de capim Vetiver extraído por Extração de Etanol Expandido com Dióxido de Carbono (CXE); ⁴ Óleo de vetiver obtido por extração com fluido supercrítico (SFE).

Fonte: adaptado de (Sharmeen et al., 2021).

O método de extração utilizado afeta tanto o rendimento do OEV quanto a composição química dos seus compostos. Os métodos de hidrodestilação (HD) e destilação indireta de vapor (DIV) resultaram em um OEV rico em cedr-8-en-13-ol, que foi o composto majoritário nesses casos (26,54% e 9,74%, respectivamente). O método de extração por etanol expandido de dióxido de carbono (CXE) produziu um OEV com alto teor de valerenol, que foi o biomarcador desse método, com 18,48% de concentração relativa. O método de extração com fluido supercrítico (SFE) gerou um OEV com predominância de γ-himachalene, que foi o composto mais abundante entre todos os métodos, com 32,65% de concentração relativa.

O rendimento das biomoléculas do OEV depende do processo extrativo utilizado, pois cada método de extração pode alterar o perfil químico dos compostos presentes no OEV. Isso ocorre porque algumas moléculas são formadas a partir da interação química com outras moléculas do OEV, que podem variar conforme as condições específicas de cada método. Além disso, as moléculas precursoras podem sofrer reações de decomposição ou de interação com o solvente de extração, resultando em diferentes composições de OE (ONU, 2021).

A planta de vetiver é uma fonte de óleos essenciais (OE) com diversas composições químicas, que podem ser extraídas por diferentes métodos. Os OE de vetiver contêm principalmente hidrocarbonetos, compostos carbonílicos, álcoois e

ácidos carboxílicos, que conferem propriedades aromáticas e farmacológicas à planta (David et al., 2019). Entre as atividades farmacológicas relatadas para o vetiver e seus derivados, destacam-se a ação antioxidante, anti-inflamatória (Grover et al., 2021), antifúngica, antibacteriana, antituberculose, anti-hiperglicêmica, antidepressiva, hepatoprotetora e nefroprotetora (Amarasiri et al., 2021).

O óleo essencial extraído da raiz de vetiver tem propriedades antioxidantes, que protegem as células do estresse oxidativo causado por agentes como o hidroperóxido de terc-butil e o peróxido de hidrogênio. Esse efeito se deve à capacidade do óleo de vetiver de eliminar os radicais livres, que são moléculas instáveis e nocivas. Alguns dos compostos químicos presentes no óleo de vetiver que contribuem para essa ação antioxidante são o beta-vetiveneno, o beta-vetivone e o alfa-vetivone, que foram isolados e identificados por meio de técnicas cromatográficas (Su-Tze et al., 2012) (Kim et al., 2005).

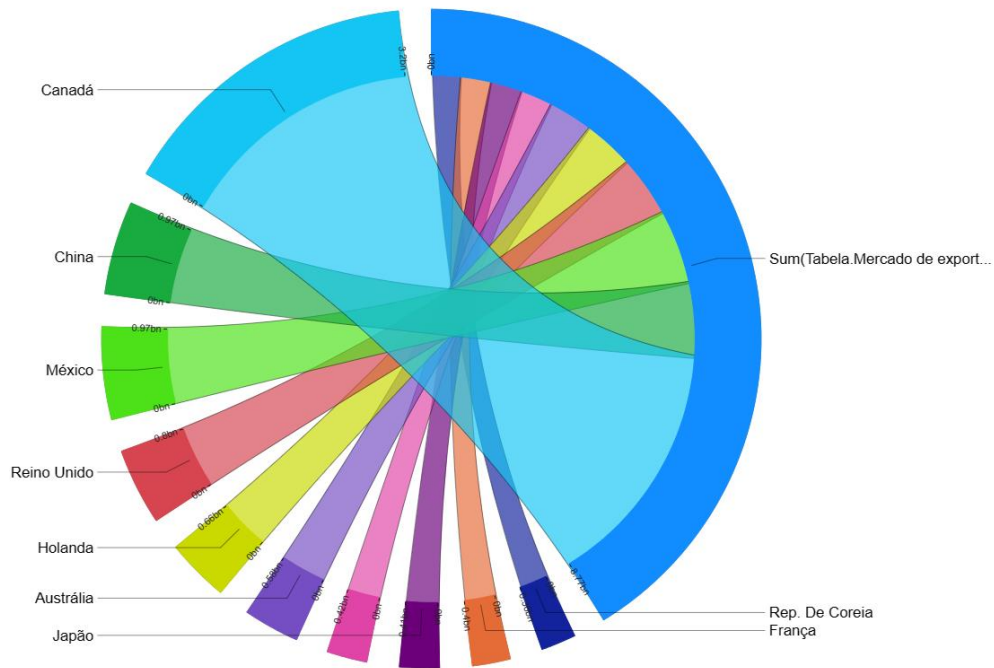
O óleo essencial de vetiver (OEV) é um derivado vegetal com diversas propriedades farmacológicas e cosméticas, que são atribuídas aos seus compostos químicos. Entre esses compostos, destacam-se o cedr-8-en-13-ol, o α -amorfeno, o β -vatirenene e o α -gurjunene, que foram isolados do extrato de vetiver e mostraram capacidade de suprimir as respostas inflamatórias em células estimuladas por lipopolissacarídeo (LPS), reduzindo a produção de óxido nítrico, a apoptose celular e a expressão de enzimas e citocinas inflamatórias (Chomchalow, 2000).

O OEV também demonstrou benefícios para a pele, como rejuvenescimento, alívio da acne, normalização da oleosidade, hidratação e efeito calmante. Além disso, o OEV reduziu a pigmentação da pele ao inibir a enzima tirosinase e a melanogênese, e aumentou os antioxidantes endógenos ao diminuir a peroxidação lipídica e aumentar as enzimas superóxido dismutase, catalase e glutatona peroxidase (Peng et al., 2014).

O OEV é uma matéria-prima importante para a indústria de fragrâncias, que busca bioprodutos mais ecologicamente responsáveis. O mercado global de OEV é liderado pelos países europeus, seguidos pela região Ásia-Pacífico e América do Norte (SHARMEEN et al., 2021).

O mercado de óleos essenciais (OE) e outros derivados de plantas é um setor econômico em expansão, impulsionado pelas indústrias cosmética e farmacêutica, que buscam ingredientes naturais de alta pureza para seus bioprodutos. Em 2021, os Estados Unidos foram o maior exportador mundial desses produtos, com um valor de US\$ 13,6 bilhões. Os principais destinos das exportações dos EUA foram o Canadá, com US\$ 3,2 bilhões (36%), a China, com US\$ 974,9 milhões (11%) e o México, com US\$ 965,4 milhões (11%). As exportações dos EUA incluíram não só OE, mas também perfumes, cosméticos e produtos de higiene à base de produtos naturais (Figura 5) (ONU, 2022).

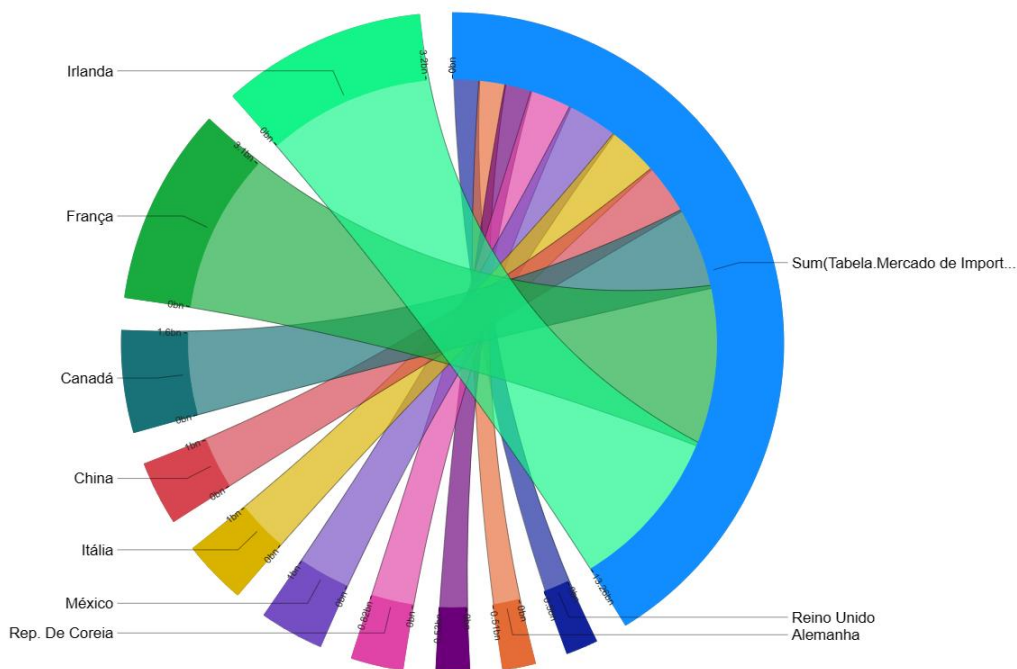
Figura 5 - Canadá o primeiro mercado para exportação de óleos essenciais, perfumes, cosméticos e produtos de saúde (2021).



Fonte: próprio autor

Os Estados Unidos foram o maior importador mundial de óleos essenciais (OE) e outros derivados de plantas em 2021, com um valor total de US\$ 16,5 bilhões. Esses produtos são usados principalmente nas indústrias de perfumes, cosméticos e produtos de higiene. O principal fornecedor desses produtos para os Estados Unidos foi a Irlanda, com US\$ 3,2 bilhões (24%), seguida pela França, com US\$ 3,1 bilhões (23%), e pelo Canadá, com US\$ 1,6 bilhão (12%). A Figura 6 mostra a distribuição das importações dos EUA por país.

Figura 6 - EUA - 10 mercados importadores de óleos essenciais, perfumes, cosméticos e produtos de saúde (2021).



Fonte: próprio autor

O mercado de óleos essenciais de vetiver (OEV) é impulsionado pela demanda crescente por derivados vegetais em diversos segmentos industriais. Os principais setores que consomem OEV são o alimentício (35%), o de fragrâncias, cosméticos e aromaterapia (29%), o de higiene (16%) e o farmacêutico (15%). Esses dados refletem a tendência do consumo consciente e sustentável das gerações contemporâneas (Barbieri & Bordotto).

O OEV é usado como aditivo para dar sabor e aroma a bebidas, cremes e produtos aromáticos, além de ter propriedades terapêuticas que auxiliam no tratamento de problemas de estresse e ansiedade. O OEV é um produto natural com múltiplos benefícios para a saúde humana e para o meio ambiente (Barbieri & Bordotto et al., 2018).

A raiz de vetiver é uma planta medicinal que possui diversas propriedades benéficas para a saúde. Ela pode ser usada como infusão para acalmar, reduzir a febre, aumentar a transpiração, estimular o apetite, aliviar espasmos, contrair os tecidos e melhorar a circulação sanguínea. A infusão da raiz de vetiver é um remédio natural para diversos problemas de saúde (Lunz & Stappen, 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma revisão sobre as diversas aplicações da *Vetiveria zizanioides*, uma espécie vegetal de gramíneas com potencial para a bioeconomia contemporânea. Essa planta tem um papel importante na preservação ambiental, pois suas longas raízes evitam a erosão do solo e resistem a variações de temperatura e pH. Além disso, sua raiz produz óleos essenciais com compostos bioativos de interesse para as indústrias farmacêutica e cosmética, que podem ser extraídos por diferentes métodos e usados para diversas finalidades terapêuticas e estéticas. Apesar dos avanços nos estudos biológicos e químicos dessa espécie, as aplicações biotecnológicas ainda são pouco exploradas, o que abre espaço para novas pesquisas e inovações. Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias e bioprodutos inovadores, como cosméticos inteligentes e 100% naturais, pode transformar essa matriz vegetal em uma fonte de prospecção de bioprodutos de alto valor agregado para a agroindústria.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGO, M.; TARDY, B.L.; WANG, L.; GUO, J.; KHAKALO, A.; ROJAS, O.J. **Supramolecular assemblies of lignin into nano-and microparticles**. MRS Bulletin. 2017, 42, 5, 371-378.

ALI, S.S.; AHMAD, N.; JAMAL GILANI, S.; ALI KHAN, N. **Isothiocyanates: a review**. Research Journal of Pharmacognosy. 2018, 5, 2, 71-89.

ALI, S.A.; NAYAK, A.K.; BANERJEE, S.; SEN, K.K. **In silico molecular docking of Vetiver oil and formulation of Vetiver oil-Encapsulated gellan gum-based Microcapsules for Antidepressant activity**. Research Journal of Pharmacy and Technology. 2020, 13, 7, 3135-3142.

AMARASIRI SS, ATTANAYAKE AP, ARAWWAWALA LDAM, JAYATILAKA KAPW, MUDDUWA LKB. **Nephroprotective activity of Vetiveria zizanioides (L.) Nash supplement in doxorubicin-induced nephrotoxicity model of Wistar rats**. J Food Biochem. 2021 Sep;45(9):e13901. doi: 10.1111/jfbc.13901.

BAHRI, TT RAHARJO, Y AMBARWATI AND NURHASANAH. **Isolation and Identification of Terpenoid Compound from Vetiver Grass-Root (Vetiveria zizanioides Stapf) as a Repellent against Termite (Cyrptotermes sp.) through Bioactivity Assa**. Journal of Physics: Conference Series. 1751 (2021) 012101. doi:10.1088/1742-6596/1751/1/012101

BAHRI, S.; RAHARJO, T.T.; AMBARWATI, Y. **Isolation and Identification of Terpenoid Compound from Vetiver Grass-Root (Vetiveria zizanioides Stapf) as a Repellent against Termite (Cyrptotermes sp.) through Bioactivity Assay**. In Journal of Physics: Conference Series. 2021, 1751, 1, 012101.

BARBIERI, C.; BORSOTTO, P. **Essential oils: market and legislation**. 2018, p.107-127. Publicado no EBOOK Potential of essential oils. 2018,196.

BURGER, P., LANDREAU, A., WATSON, M., JANCI, L., CASSISA, V., KEMPF, M., AZOULAY, S., & FERNANDEZ, X. (2017). **Vetiver Essential Oil in Cosmetics: What Is New?**. *Medicines (Basel, Switzerland)*, 4(2), 41. <https://doi.org/10.3390/medicines4020041>

CHAMPAGNAT, P.; FIGUEREDO, G.; CHALCHAT, J.C.; CARNAT, A.P.; BESSIÈRE, J.M. **A study on the composition of commercial Vetiveria zizanioides oils from different geographical origins**. Journal of Essential Oil Research. 2006, 18, 4, 416-422.

CHEN F, WANG X, KIM H. 2003. Antioxidant, Anticarcinogenic and Termiticidal Activities of Vetiver Oil. Disponível em: <http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/USA_medical.pdf> Acesso em: 12 nov 2022.

CHEN, K.; LEI, L.; QIAN, Y.; XIE, A.; QIU, X. **Biomass lignin stabilized anti-UV high internal phase emulsions: Preparation, rheology, and application as carrier materials.** ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2018, 7, 1, 810-818.

CHOMCHALOW, N., 2000. **The Utilization of Vetiver as Medicinal and Aromatic Plants with Special References to Thailand.** Tech. Bull. No. 2001/1, PVRN/ORDPB, Bangkok, Thailand

CHUSREEAEM, K.; ROONGTANAKIAT, N. **Selection of vetiver grass based on growth and nutrient content under saline water irrigation and waterlogging prior to mutagenesis.** Songklanakarin Journal of Science & Technology. 2020, 42, 1.

CIMINO, C.; MAUREL, O.M.; MUSUMECI, T.; BONACCORSO, A.; DRAGO, F.; SOUTO, E.M.B.; CARBONE, C. Essential oils: pharmaceutical applications and encapsulation strategies into lipid-based delivery systems. Pharmaceutics. 2021, 13, 3, 327.

DAS P, DATTA R, MAKRIS KC, SARKAR D. **Vetiver grass is capable of removing TNT from soil in the presence of urea.** Environ Pollut. 2010; 158: 1980-1983.

DAVAMANI, V.; PARAMESHWARI, C.I.; ARULMANI, S.; JOHN, J.E.; POORNIMA, R. **Hydroponic phytoremediation of paperboard mill wastewater by using vetiver (Chrysopogon zizanioides).** Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021, 9, 4, 105528.

DAVID, A.; WANG, F.; SUN, X.; LI, H.; LIN, J.; LI, P.; DENG, G. **Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activities of Vetiveria zizanioides (L.) nash essential oil extracted by carbon dioxide expanded ethanol.** Molecules. 2019, 24, 10, 1897.

DAJIC STEVANOVIC, Z.; SIENIAWSKA, E.; GLOWNIAK, K.; OBRADOVIC, N.; PAJIC-LIJAKOVIC, I. **Natural macromolecules as carriers for essential oils: From extraction to biomedical application.** Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2020, 8, 563.

DEPLEDGE M. **Pharmaceuticals: reduce drug waste in the environment.** Nature. 2011; 478: 36.

FENT K, WESTON AA, CARMINADA D. **Ecotoxicology of human pharmaceuticals.** Aquatic Toxicol. 2006; 76: 122-159.

FIGUEIREDO, P.; LINTINEN, K.; HIRVONEN, J.T.; KOSTIAINEN, M.A.; SANTOS, H.A. **Properties and chemical modifications of lignin: Towards lignin-based nanomaterials for biomedical applications**. Progress in Materials Science. 2018, 93, 233-269.

Flora of Brazil 2020 under construction, 2017. Botanical Garden of Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>> Acessado em: 12 Agosto 2022.

HO YN, MATHEW DC, HSIAO SC, SHIH CH, CHIEN MF, CHIANG HM, HUANG CC. **Selection and application of endophytic bacterium *Achromobacter xylosoxidans* strain F3B for improving phytoremediation of phenolic pollutants**. J Hazard Mater. 2012; 219: 43-49.

International Trade in Goods and Services visualization. Disponível em: <<https://dit-trade-vis.azurewebsites.net/?reporter=842&type=C&commodity=33&year=2020&flow=2>> Acessado em: 03 Jan 2022.

KADAROHMAN, A.; DWIYANTI, G.; KADARUSMAN, E. **Quality and chemical composition of organic and non-organic vetiver oil**. Indonesian Journal of Chemistry. 2014, 14, 1, 43-50.

KIM HJ, CHEN F, WANG X, CHUNG HY, JIN Z. **Evaluation of antioxidant activity of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) oil and identification of its antioxidant constituents**. J Agric Food Chem. 2005 Oct 5;53(20):7691-5. doi: 10.1021/jf050833e.

KORÁNYI, T.I.; FRIDRICH, B.; PINEDA, A.; BARTA, K. **Development of 'Lignin-First' Approaches for the Valorization of Lignocellulosic Biomass**. Molecules. 2020, 25, 12, 2815.

LIU, Q.; LUO, L.; ZHENG, L. **Lignins: biosynthesis and biological functions in plants**. International journal of molecular sciences. 2018, 19, 2, 335.

LUO Y, GUO W, NGO HH, NGHIEM LD, HAI FI, ZHANG J, ZIANG S, WANG XC. **A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment**. Sci Total Environ. 2014; 473-474: 619-641.

LUNZ, K.; STAPPEN, I. **Back to the Roots. An Overview of the Chemical Composition and Bioactivity of Selected Root-Essential Oils**. Molecules. 2021, 26, 11, 3155.

MAKRIS KC, SHAKYA KM, DATTA R, SARKAR D, PACHANOOR D. **High uptake of 2, 4, 6-trinitrotoluene by vetiver grass-potential for phytoremediation?** Environ Pollut. 2007; 146: 1-4.

MAO, L.; HENDERSON, G.; BOURGEOIS, W.J.; VAUGHN, J.A.; et al. **Vetiver oil and nootkatone effects on the growth of pea and citrus.** Industrial crops and products. 23 (2013) 327-332.

MARSIDI N, NYE CK, ABDULLAH SR, ABU HASSAN H, HALMI MI. **Phytoremediation of naproxen in waste water using *Vetiver zizanioides*.** J Eng Sci Technol. 2016; 11: 1086–1097.

PAILLAT, L.; PÉRICHET, C.; PIERRAT, J.P.; LAVOINE, S.; FILIPPI, J.J.; MEIERHENRICH, U.; FERNANDEZ, X. **Purification of vetiver alcohols and esters for quantitative high-performance thin-layer chromatography determination in Haitian vetiver essential oils and vetiver acetates.** Journal of Chromatography A. 2012, 1241, 103-111.

PANDEY, P.; GULATI, N.; MAKHIJA, M.; PUROHIT, D.; DUREJA, H. **Nanoemulsion: a novel drug delivery approach for enhancement of bioavailability.** Recent Patents on Nanotechnology. 2020, 14, 4, 276-293.

PANJA S, SARKAR D, DATTA R. **Removal of antibiotics and nutrients by Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) from secondary wastewater effluent.** International journal of phytoremediation. 2020;22(7):764-73.

PENG H.Y., LAI C.C., LIN C.C., CHOU S.T. **Effect of *Vetiveria zizanioides* essential oil on melanogenesis in melanoma cells: Downregulation of tyrosinase expression and suppression of oxidative stress.** Sci. World J. 2014;2014:9. doi: 10.1155/2014/213013.

RAMAN JK, GNANSOUNOU E. **A review on bioremediation potential of vetiver grass.** In: Waste Bioremediation 2018 (pp. 127-140). Springer, Singapore.

SAEB K, KHADAMI R, KHORAMNEJADIAN S, ABDOLLAHI E. **Use of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) in remediation of cyanide soil contamination.** J Biol Today's World. 2015; 4: 150-155.

SARHEED, O.; DIBI, M.; RAMESH, K.V.; DRECHSLER, M. **Fabrication of alginate-based O/W nanoemulsions for transdermal drug delivery of lidocaine: Influence of the oil phase and surfactant.** *Molecules*. 2021, 26, 9, 2556.

SENGUPTA A, SARKAR D, DAS P, PANJA S, PARIKH C, RAMANATHAN D, BAGLEY S, DATTA R. **Tetracycline uptake and metabolism by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L. Nash).** *Environ Sci Pollut Res*. 2016; 23: 24880-24889.

SHARMEEN, J.B.; MAHOMOODALLY, F.M.; ZENGIN, G.; MAGGI, F. **Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals.** *Molecules*. 2021, 26, 3, 666.

SINGH S, EAPEN S, THORAT V, KAUSHIK CP, RAJ K, D'SOUZA SF. **Phytoremediation of cesium and strontium from solutions and low-level nuclear waste by *Vetiveria zizanioides*.** *Ecotoxicol Environ Saf*. 2008b; 69: 306-311.

SINGH S, MELO JS, EAPEN S, D'SOUZA SF. **Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) for phytoremediation of phenol.** *Ecotoxicol Environ Saf*. 2008a; 71: 671-676.

SU-TZE CHOU, CHIA-PEI LAI, CHIH-CHIEN LIN, YING SHIH. **Study of the chemical composition, antioxidant activity and anti-inflammatory activity of essential oil from *Vetiveria zizanioides*.** *Food Chemistry Volume 134, Issue 1, 1 set 2012*, p 262-268.

ULIAN M.; PAULO T.V.; ROSA, C.M.; ALAIN L.P.B. DOMINIQUE, P.; MARIA A.A.M. **Accelerating the world's research. Valorization of Brazilian Vetiver. *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ex Small) Oil.** *J. Agric. Food Chem*. 2004, 52, 6578-6584.

VERMA, A.B. ***Vetiveria zizanioides* (L.) Nash: A review of magic grass.** *Journal of Medicinal Plants*. 2020, 8, 1, 58-61.

WANG, G.; HUANG, Y.; LI, R.; CHANG, J.; FU, J. **Influence of Vetiver Root System on Mechanical Performance of Expansive Soil: Experimental Studies.** *Advances in civil engineering*. 2020.

WNOROWSKI, A.; WNOROWSKA, S.; WOJAS-KRAWCZYK, K.; GREINDA, A.; STANIAK, M.; MICHALAK, A.; STRZEMSKI, M. **Toxicity of carlina oxide—A natural polyacetylene from the *Carlina acaulis* roots—In vitro and in vivo study.** *Toxins*. 2020, 12, 4, 239.

WOJCIESZYNSKA D, DOMARADZKA D, HUPERT-KOCUREK K, GUZIK U. **Bacterial degradation of naproxen - undisclosed pollutant in the environment.** J Environ Manage. 2015; 145: 157-161.

WU S, ZHANG L, CHEN J. **Paracetamol in the environment and its degradation by microorganism.** Appl Microbiol Biotechnol. 2012; 96: 875-884.

