

Variabilidade química de óleos essenciais de *Protium heptaphyllum*

Chemical variability of essential oils from *Protium heptaphyllum*

Variabilidad química de los aceites esenciales de *Protium heptaphyllum*

Recebido: 12/07/2022 | Revisado: 22/07/2022 | Aceito: 24/07/2022 | Publicado: 31/07/2022

Thiago Soares Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-644X>
Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil
E-mail: thiago.soaresr@hotmail.com

Ana Luiza Coutinho Matos Santana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8986-9102>
Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil
E-mail: analuiza.coutinho.santana@gmail.com

Taina Soraia Müller

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3295-5034>
Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil
E-mail: yhataina@hotmail.com

Marilza Machado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3801-6759>
Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil
E-mail: marilzabio@gmail.com

Gisele Lopes de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8036-299X>
Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil
E-mail: gibiologia2@hotmail.com

Resumo

Protium heptaphyllum, conhecida como amescla, amelcegueira e breu-branco, possui ampla distribuição nacional, encontrada especialmente na Amazônia e Mata Atlântica. É uma espécie rica em óleo essencial, porém destaca-se o uso da resina como medicinal. Diante disso, este estudo teve como objetivo levantar a variabilidade química entre óleos essenciais de *Protium heptaphyllum* de diferentes localidades. Trata-se de uma revisão sistemática nas bases de dados SciElo, PubMed e Google Scholar, tendo como estratégia de busca os descritores “essential oil” e “*Protium heptaphyllum*”, nos idiomas português e inglês, publicados entre os anos de 2000 a 2020. Um total de 10 artigos foram selecionados para a análise do perfil químico e de variabilidade química do óleo essencial de *P. heptaphyllum*, entretanto, foi possível levantar 28 análises químicas diferentes para 10 acessos distintos de coletas. Das 28 análises químicas, 21 foram realizadas de óleos extraídos da resina, 03 de folhas e 04 de frutos e um total de 145 substâncias foram levantadas. A variabilidade química dos óleos essenciais entre cada localidade foi evidente, com destaque para 21 substâncias majoritárias. Os grupos dos monoterpenos foi o mais representativo, com destaque para o limoneno, α -terpineol, 1,8-cineol, *p*-cimeno, α e β -felandreno. Conclui-se que as alterações ambientais podem ser as responsáveis por essa variabilidade não descartando a possibilidade de algum acesso se tratar de quimiotipo.

Palavras-chave: Burseraceae; Resina; Planta medicinal.

Abstract

Protium heptaphyllum, known as amescla, amelcegueira and breu-branco, with wide national distribution, found especially in the Amazon and Atlantic Forest. It is a species rich in essential oil, but the use of resin as a medicine stands out. Therefore, this study aimed to survey the chemical variability between essential oils of *Protium heptaphyllum* from different locations. This is a systematic review in SciElo databases, PubMed and Google Scholar, with the search strategy descriptors "essential oil" and "*Protium heptaphyllum*" in Portuguese and English, published between 2000 and 2020. Ten articles were selected for analysis of the chemical profile and chemical variability of the essential oil of *P. heptaphyllum*, however, it was possible to survey 28 different chemical analysis for 10 different collection accessions. Of the 28 chemical analyses, 21 were carried out from oils extracted from the resin, 03 from leaves and 04 from fruits and a total of 145 substances were raised. The chemical variability of essential oils between each location was evident, with emphasis on 21 major substances. The monoterpene group was the most representative, especially limonene, α -terpineol, 1,8-cineole, *p*-cymene, α and β -phelandrene. It is possible to conclude that environmental changes may be responsible for this variability, not ruling out the possibility that some access is a chemotype.

Keywords: Burseraceae; Resin; Medicinal plant.

Resumen

Protium heptaphyllum, conocida como amezcla, amelcegueira y breu-branco, tiene una amplia distribución nacional, encontrándose especialmente en la Amazonia y Mata Atlántica. Es una especie rica en aceite esencial, pero se destaca el uso de su resina para uso medicinal. Delante de eso, este estudio tuvo como objetivo hacer un relevamiento de la variación química entre los aceites esenciales de *Protium heptaphyllum* de diferentes localidades. Se trata de una revisión sistemática de las bases de datos SciElo, PubMed e Google Scholar, teniendo como estrategia de búsqueda los descriptores “essential oil” e “*Protium heptaphyllum*”, en los idiomas portugués e inglés, publicados entre los años de 2000 a 2020. Un total de 10 artículos fueron seleccionados para el análisis del perfil químico y de variabilidad química del aceite esencial de *P. heptaphyllum*, entretanto, fue posible levantar 28 análisis químicos diferentes para 10 accesos distintos de colectas. De las 28 análisis químicas, 21 fueron realizadas de aceites extraídos de la resina, 03 de hojas y 04 de frutos y un total de 145 sustancias fueron levantadas. La variabilidad química de los aceites esenciales entre cada localidad fue evidente, con destaque para 21 sustancias mayoritarias. Los grupo de los monoterpenos fue el más representativo, con destaque para el limoneno, α -terpineol, 1,8-cineol, *p*-cimeno, α e β -felandreno. Se llegó a la conclusión que las alteraciones ambientales pueden ser las responsables por esa variación, no descartando la posibilidad de algún acceso tratarse de quimiotipo.

Palabras clave: Burseraceae; Resina; Planta medicinal.

1. Introdução

Os óleos voláteis, também chamados de essenciais, são utilizados em tratamentos de enfermidades e práticas religiosas desde a antiguidade, com registros egípcios de mais de 6 mil anos (Almeida, 2015). Atualmente, as confirmações de atividades biológicas e farmacológicas desses óleos, como agente antimicrobiano, com atividades anti-inflamatória, antioxidante, inseticidas, antisséptica, repelente, larvicida, anestésica, dentre outras, tem estimulado a intensificação do uso e comercialização de óleos voláteis de várias espécies, servindo também de matéria-prima para a indústria de cosméticos, sendo a indicação do uso diretamente relacionada com o perfil químico desse óleo (Miranda et al., 2016; Silva, et al., 2017; Melo et al., 2015).

Em relação ao perfil químico, os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias lipofílicas, especialmente pertencentes aos grupos dos monoterpenos, sesquiterpenos, fenilpropanoides, podendo chegar a 300 componentes em algumas espécies (Simões et al., 2017; Wolffenbüttel, 2016). Variações na composição química do óleo em uma mesma espécie, ou mesmo no mesmo exemplar, é comum e estão relacionadas a fatores intrínsecos do vegetal, como a variabilidade genética, ou extrínsecos, como localização, tipo de solo, meses e horário de colheita, precipitação, além de interações biológicas, luminosidade, temperatura, tratamento pós-colheita e procedimento de obtenção (Taiz & Zeiger, 2013; Ribeiro et al., 2018).

Assim como outros princípios ativos, os óleos essenciais são produzidos pelas plantas para auxiliar na sua sobrevivência, especialmente para autodefesa contra predadores e microrganismos, atração de polinizadores, proteção contra a perda de água e aumento da temperatura foliar, especialmente em plantas de regiões secas e quentes. Podendo ser produzidos por vários órgãos, como folhas, flores, frutos, caule e até exsudados com resinas (Wolffenbüttel, 2016).

A família Burseraceae, por exemplo, de distribuição pantropical e composta por 18 gêneros e cerca de 700 espécies, possui representantes com a capacidade de exsudar resinas ricas em óleos essenciais, podendo conter até 30% de óleos na resina fresca, e vestígios de látex branco resinoso na casca, como é o caso de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. (Rüdiger et al., 2007; Daly, 2022; Tostes, 2020). O gênero *Protium* é o mais representativo no Brasil e a espécie *P. heptaphyllum*, conhecida popularmente como breu, breu-branco, amelcegueira-vermelha, amezcla, amezcla-mirim, é bastante famosa por suas resinas aromáticas. A espécie apresenta uma vasta distribuição geográfica pelo Brasil tendo seu domínio fitogeográfico na Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (Lorenzi, 2008; Daly, 2009; Palermo et al., 2017; Daly, 2015).

O óleo essencial pode ser extraído de várias partes de *P. heptaphyllum*, como casca, resina, frutos e folhas, porém destaca-se o uso da resina como medicinal (Silva et al., 2016a; Mobin et al., 2016; Albino et al., 2017). As folhas e casca são utilizadas como hemostático, cicatrizante, anti-inflamatória e descongestionante nasal. A resina é indicada como contraceptivo, cicatrizante, expectorante, antisépticas, para doença de chagas, hemorragia, ansiedade, bronquite, sinusite, indigestão e

cicatrização, também como emoliente, e ainda utilizada como analgésica, principalmente para dores de cabeça, por comunidades da região Amazônica (Mobin et al., 2016; Murthy et al., 2016; Silva et al., 2016a). A resina também é usada na reparação de canoas e para a produção de fumaça no ambiente, servindo como repelente (Silva et al., 2016a). Em adição, estudos recentes comprovaram a atividade fungicida, acaricida, antimicrobiana, bactericida e gastroprotetora de óleos voláteis de *P. heptaphyllum* (Pontes et al., 2007a; Mobin et al., 2016; Lima et al., 2016; Cabral et al., 2018; Araujo et al., 2011).

Diante de tantas indicações de uso medicinal, potencial biológico e farmacológico de *P. heptaphyllum*, observa-se uma variação química do seu óleo essencial nos diversos estudos; e por se tratar de uma espécie com múltiplas utilidades, de grande importância tradicional e comercial, e levando em consideração a existência de projetos que incentivam o manejo sustentável de espécies de *Protium* para a geração de renda em comunidades tradicionais (Brancaion et al., 2012), é necessário conhecer e entender as diferenças químicas do seu óleo essencial para direcionar o melhor uso, indicação e garantir qualidade ao produto, além de estimular estudos sobre ecologia química. Assim, o presente trabalho teve como objetivo conhecer a variabilidade química dos óleos essenciais de *Protium heptaphyllum* de diferentes localidades.

2. Metodologia

O levantamento de dados foi realizado através de uma revisão bibliográfica sistemática nas bases de dados SciELO, PubMed e Google Scholar. Consideraram-se artigos publicados no período entre 2000 e 2020. A busca pelos artigos foi realizada utilizando os seguintes descritores e suas combinações nas línguas portuguesa e inglesa: “essential oil” e “*Protium heptaphyllum*”.

Como critérios de inclusão foram considerados os artigos completos em inglês e português e que continham os descritores selecionados, juntos ou separados. Foram excluídos livros, capítulos de livros, dissertações, teses e resumos de congressos. A revisão ocorreu nas seguintes etapas: (i) busca eletrônica nas bases de dados, (ii) leitura de todos os relatos na íntegra, (iii) seleção dos artigos elegíveis e (iv) extração dos dados dos estudos incluídos na revisão.

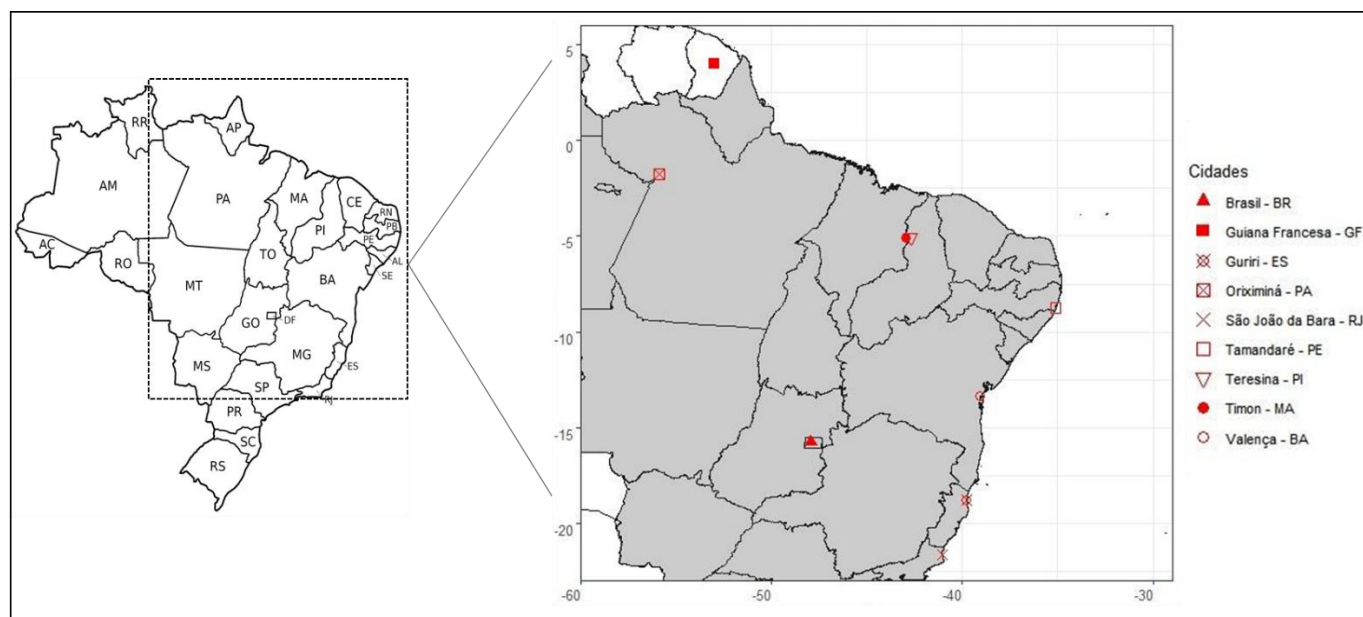
Durante a terceira etapa, os artigos foram separados em blocos de acordo com o ano de publicação e as informações levantadas foram sistematizadas em um banco de dados utilizando o *Microsoft Excel*®, a planilha foi organizada com título, ano de publicação e referência, e as informações sobre o perfil químico do óleo essencial de *P. heptaphyllum*, destes artigos, foram tabuladas e analisadas, com a finalidade de verificar a variabilidade química.

Após a inserção dos critérios de inclusão e exclusão, foram levantados 26 artigos publicados entre os anos 2000 e 2020. Destes, somente 10 artigos foram incluídos no presente estudo, pois, apenas estes apresentaram perfil químico do óleo essencial de *P. heptaphyllum*.

3. Resultados e Discussão

Um total de 10 artigos foram selecionados para a análise do perfil químico e de variabilidade química do óleo essencial de *P. heptaphyllum*, entretanto, foi possível levantar 28 análises químicas diferentes para 10 acessos distintos de coletas (Figura 1): Guiana Francesa, Guriri-ES, Oriximiná-PA, São João da Barra-RJ, Tamandaré-PE, Teresina-PI, Timon-MA (02 acessos), Valença-BA, Brasil-BR (2 localidades não identificadas).

Figura 1 – Acessos de coletas de *Protium heptaphyllum*



Fonte: R, Rstudio versão 4.1.2

Das 28 análises químicas, 21 foram realizadas de óleos extraídos da resina, 03 de folhas e 04 de frutos e um total de 145 substâncias foram levantadas. A variabilidade química dos óleos essenciais entre cada localidade foi evidente, com destaque para 21 substâncias majoritárias (Tabela 1). Foi possível observar, também, uma variação química dentro do mesmo acesso quando se tratava de diferentes coletas. Essas variações químicas de óleos voláteis de uma espécie e até em um espécime podem ocorrer devido às alterações ambientais, se forem extraídos de distintos órgãos, cultivados de formas ou em locais diferentes, e extraídos por métodos diversos (Wolffenbüttel, 2016).

Estudos químicos realizados com *Protium* mostram uma alta variedade de substâncias, com dominância de terpenos nos óleos essenciais das espécies, sendo as atividades biológicas atribuídas, principalmente, aos monoterpenos e sesquiterpenos, porém também é possível verificar a presença de fenilpropanóides com importantes atividades (Lima et al., 2016; Oliveira et al., 2018).

Tabela 1. Variabilidade e porcentagem de substâncias majoritárias do óleo essencial de *P. heptaphyllum* de 10 locais diferentes e 28 análises.

Substância	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	C	D	D
	PA ¹	PA ¹	PA ¹	PA ¹	MA ₂	MA ₂	MA ₂	MA ₂	MA ₂	MA ₂	MA ₂	BA ³	PE ⁴	PE ⁴
	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	FL	FL	FR
α-thujeno	-	-	0,4	0,3	-	-	-	-	-	-	0,4	1,0	-	-
δ-3-careno	-	-	-	-	9,7	6,2	7,1	7,0	6,2	5,9	6,1	-	-	-
p-cimeno	6,4	3,5	14,0	33,0	-	-	-	-	-	-	-	9,6	-	1,5
p-cymen-8-ol	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
β-elemeno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-
α-cubebeno	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limoneno/l-limoneno	-	-	-	-	26,3	21,3	16,5	17,2	15,5	15,9	36,0	-	0,8	3,7
α-terpineol	3,3	1,6	0,7	2,3	19,2	32,6	30,1	31,1	30,9	32,6	6,6	-	-	-
1,8-cineol /eucaliptol	-	1,5	-	-	18,9	14,3	8,7	9,9	8,6	8,1	18,7	-	-	-
14-hidroxi-9-epi-cariofileno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,7	-

α -terpineno	-	-	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,6
9-epi-cariofileno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,4	-
α -pineno	2,0	2,2	1,7	1,2	1,05	-	1,2	0,9	0,7	0,51	1,17	40,3	-	1,1
Trans-isolongifolanona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,3	-
Spathulenol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α -felandreno	0,9	2,1	12,9	-	11,4	8,1	7,8	7,8	7,4	6,9	2,4	10,3	-	-
β -felandreno	-	-	-	-	bc	bc	bc	bc	bc	bc	1,49	-	9,2	-
β -mirceno/ mirceno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	2,0
Carvona	-	-	-	-	-	-	0,9	-	0,8	0,8	1,1	-	-	-
γ -terpineno	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-
Terpinoleno / p-mentha-1,4(8)-dieno	1,1	0,7	0,7	-	0,9	-	1,7	1,5	1,6	1,4	-	12,1	-	-
Substância	E ES ⁵	E ES ⁵	E ES ⁵	F PI ⁶	F MA ₇	G Br ⁸	H Br ⁹	H Br ⁹	H Br ⁹	I RJ ¹⁰ *	I RJ ¹⁰ *	I RJ ¹⁰ **	I RJ ¹⁰ **	J GF ¹¹
	RE	RE	RE	RE	RE	RE	FL	FR V	FRM	RE	RE	RE	RE	FRV
α -tujeno	0,4	11,1	-	0,2	-	-	-	-	-	0,4	0,2	0,1	1,5	-
δ -3-careno	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	2,4	0,1	-	0,1	-
p-cimeno	7,9	26,7	38,1	17,0	26,9	13,6	-	-	-	18,2	6,8	23,3	38,1	1,5
p-cymen-8-ol	2,3	10,1	6,6	1,5	3,2	-	-	-	-	3,3	4,6	29,6	8,2	-
β -elemeno	-	-	-	-	-	-	17,2	8,2	-	-	-	-	-	-
α -cubebeno	-	-	-	-	-	-	11,6	-	-	-	-	-	-	-
Limoneno/l-limoneno	22,0	-	-	34,5	28,9	-	-	-	12,9	8,1	7,9	8,1	11,5	82,0
α -terpineol	-	-	-	9,8	18,4	3,8	-	-	-	0,3	-	1,5	0,5	-
1,8-cineol (eucaliptol)	-	-	-	20,6	-	-	-	-	-	2,2	0,1	1,3	-	-
14-hidroxi-9-epi-Cariofileno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α -terpineno	3,1	2,3	3,1	-	-	0,9	-	-	-	5,3	7,7	1,4	2,0	-
9-epi-cariofileno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α -pineno	4,2	4,4	-	0,7	2,9	4,5	-	-	-	14,6	5,1	3,5	11,0	5,4
Trans-isolongifolanona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spathulenol	-	-	-	-	-	-	12,6	-	7,8	-	-	-	-	-
α -felandreno	-	-	3,9	1,4	7,0	3,4	-	-	-	0,5	1,2	-	3,3	-
β -felandreno	-	-	-	-	-	60,7	-	-	-	-	-	-	-	-
β -mirceno/ mirceno	0,4	-	-	-	-	-	-	59,0	31,2	1,1	1,4	0,8	0,2	0,7
Carvona	-	-	-	1,6	1,3	0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,7
γ -terpineno	2,4	-	-	-	-	0,1	-	-	-	2,7	3,2	0,6	0,7	-
Terpinoleno/ p-mentha-1,4(8)-dieno	32,7	35,8	37,8	-	-	0,4	-	-	-	33,6	58,8	21,6	10,1	-

A - Silva et al., 2016a ; B - Mobin et al., 2016; C - Araujo et al., 2011; D - Pontes et al., 2007b; E - Lima et al., 2016; F - Mobin et al., 2017; G - Mendes et al., 2019; H - Cabral et al., 2018; I - Albino et al., 2017 (*resina fresca/**resina velha); J - Houël et al., 2015; ¹Oriximiná-PA; ²Timon -MA; ³Valença-BA, ⁴Tamandaré-PE, ⁵Guriri-ES; ⁶Teresina-PI; ⁷Timon-MA; ⁸Brasil; ⁹Brasil; ¹⁰São João da Barra-RJ; ¹¹Guiana Francesa; bc – Baixa concentração; RE – Resina; FL – Folha, FRV – Fruto Verde; FRM – Fruto maduro. Fonte: Própria.

Os óleos essenciais, representados por A-PA¹ (Tabela 1), foram extraídos da resina de quatro exemplares de *P. heptaphyllum* no município de Oriximiná - Pará, encontrados na mesma região - em uma comunidade quilombola – e conhecido localmente como breu-preto. Os quilombolas relatam se tratar de árvores baixas, em que seu óleo resina é utilizado na reparação de canoas e como fumaça em ambientes. Entretanto, os próprios autores indicam que o nome popular breu-branco

também é citado na literatura para *P. heptaphyllum*, mas o breu-branco utilizado nessa comunidade para fins medicinais trata-se de outras espécies de *Protium* (Silva et al., 2016a).

As substâncias majoritárias encontradas nos óleos essenciais de *P. heptaphyllum* em A-PA¹ foram os monoterpenos *p*-cimeno (maior concentração), α -terpineol, α -pineno e α -felandreno (Silva et al., 2016a). É possível observar uma variação na concentração (%) e presença dos componentes entre os exemplares, provavelmente, devido às alterações no ambiente.

A resina de *P. heptaphyllum*, representada por B-MA², também foi utilizada para extração dos óleos essenciais na coleta do município de Timon, Maranhão (Tabela 1). O estado possui clima tropical, porém, está em uma região de transição, do clima superúmido da região norte e o semiárido da região nordeste (Silva et al., 2016b; Mobin et al., 2016). Foram coletadas seis frações diferentes, uma a cada hora, e a última foi coletada com mais de seis horas de extração, totalizando sete amostras analisadas. Os constituintes majoritários encontrados por Mobin e colaboradores (2016) na primeira hora de extração, foram l-limoneno, α -terpineol, 1,8-cineol (eucaliptol), todos monoterpenos. Foi observado que com o passar do tempo a concentração do l-limoneno diminuía em quanto a do α -terpineol aumentava, além do aparecimento de outros compostos, ocorrendo uma variação das substâncias no mesmo dia, de acordo com o horário.

A diferença entre os compostos químicos obtidos e a quantidade, condiz com outras espécies, e no que diz respeito ao tempo de extração, em que tempos mais longos ou curtos favorecem compostos químicos diferentes, devido aos processos de biotransformação (Felipe & Bicas, 2017; Maróstica Júnior & Pastore, 2007; Mattana et al., 2015). Entretanto, o método de extração também é importante na obtenção dos óleos voláteis, como hidrodestilação e *headsapce* dinâmico, que utilizados na extração do óleo de *P. heptaphyllum* proporcionaram uma diferença na constituição química e nos compostos majoritários da espécie (Citó et al., 2006).

Amostras do acesso B-MA² ainda foram utilizadas em testes antifúngicos, apresentando atividade contra *Candida krusei* e outras espécies do gênero *Candida* (Mobin et al., 2016). A ação antifúngica pode estar relacionada aos compostos majoritários, uma vez que o limoneno tem demonstrado inibição do crescimento microbiano em alguns estudos, o 1,8-cineol (eucaliptol) tem atividade antisséptica e o α -terpineol é antifúngico (Mobin et al., 2016; Caldas, 2020; Aquino et al., 2014). É interesse ressaltar que o limoneno também é utilizado para biotransformação em α -terpineol, composto de maior valor comercial (Mobin et al., 2016; Caldas, 2020).

Essa biotransformação do limoneno, que provavelmente ocorreu nas amostras B-MA², é um processo comum nos metabólitos secundários, especialmente nos monoterpenos, sendo alguns dos derivados mais notáveis os compostos oxigenados α -terpineol, álcool perfílico, carveol, carvona e mentol (Pires et al., 2017; Maróstica Júnior & Pastore, 2007). O α -terpineol é um importante produto comercial, encontrado em pequenas quantidades em alguns óleos essenciais, como em coníferas e na lavanda, sendo utilizado na indústria em perfumes, cosméticos, produtos de limpeza, alimentos, e principalmente por indústria farmacêutica como antifúngico e antissépticos (Sales et al., 2020; Khaleel et al., 2018). A bioconversão do limoneno, nesse caso, ocorre através da epoxidação da ligação dupla na unidade isoprenil a α -terpineol (Maróstica Júnior & Pastore, 2007; Wróblewska, 2014).

O óleo essencial do acesso C-BA³ (Tabela 1) foi obtido das folhas no município de Valença, Bahia, pela Lazlo Aromaterapia Ltda. próximo ao delta do rio Jequiriçá, ambiente propício para as árvores (Araújo, et al., 2011). *P. heptaphyllum* pode ser encontrada nas matas ciliares úmidas, por se tratar de uma região costeira, de Mata Atlântica, com clima quente e úmido (Martins, 2012). Os componentes majoritários de *P. heptaphyllum* desse acesso foram os monoterpenos α -pineno, *p*-menta-1,4(8)-dieno (α -terpinoleno) e o α -felandreno (Araujo et al., 2011).

As amostras do acesso D-PE⁴ (Tabela 1) foram extraídas de folhas e frutos de *P. heptaphyllum* coletados na praia de Tamandaré em Pernambuco (Pontes et al., 2007b). Região fisiográfica de mata meridional, com formação original de floresta secundária, com característica de floresta ombrófila densa de terras baixas, de clima tropical úmido com verão seco (Coelho &

Araújo, 2011; Lopes et al., 2016). Diferentemente de C-BA³, o óleo essencial de D-PE⁴ apresentou mais sesquiterpenos (84,4%) nas folhas, sendo eles 9-epi-cariofileno, trans-isolongifolanona e 14-hidroxi-9-epi-cariofileno. Nos frutos, porém, foram encontrados 92,1% de monoterpenos, sendo o principal α -terpineno, com 47,6% (Pontes et al., 2007b).

Dois outros estudos, com perfil químico de folhas de *P. Heptaphyllum* coletadas na Colômbia, região de bioma amazônico, e também em Timon, Maranhão, não aparecem nos resultados obtidos nas três plataformas aqui utilizadas, entretanto, essas análises apresentaram resultados semelhantes aos de Tamandaré-PE (D-PE⁴), com uma maior quantidade de sesquiterpenos no óleo essencial das folhas de *P. heptaphyllum*. A amostra de Timon ainda mostrou quantidades maiores de monoterpenos no óleo essencial dos frutos, assim, como D-PE⁴ (Tafurt-García, G. & Muñoz-Acevedo, 2012; Citó et al., 2006).

As folhas e frutos (verdes e maduros) do acesso H-Br⁹ para extração dos óleos voláteis de *P. heptaphyllum* foram coletadas no Brasil (Tabela 1), mas a região específica não foi informada. O óleo essencial das folhas apresentou como componentes majoritários o β -elemeno o spathulenol e o α -cubebeno (Cabral et al., 2018). O β -elemeno e α -cubebeno também foram observados no acesso D-PE⁴ (Pontes et al., 2007b) porém, em quantidades inferiores. Já o óleo essencial dos frutos verdes apresentou, como majoritário, o monoterpeno β -mirceno (59,0%), enquanto nos frutos maduros foram observados os monoterpenos limoneno (12,9 %) e o β -mirceno (31,2%) (Cabral et al., 2018).

No acesso E-ES⁵, resinas foram utilizadas para extração dos óleos essenciais (Tabela 1), coletadas nos anos de 2009, 2011 e 2013, na ilha de Guriri, Espírito Santo, região de Mata Atlântica (Lima et al., 2016), coberta basicamente por restinga, composta por vegetação arbórea baixa, bromélias e gramíneas, com solo pobre em nutrientes e baixa capacidade de retenção de água (Braz, 2013; IBGE, 2019a). Os componentes majoritários durante os três anos de coletas foram monoterpenos, sendo o 3-careno, limoneno e terpinoleno em 2009; p-cimen-8-ol, α -thujeno, p-cimeno e terpinoleno em 2011; e 2013 foram, p-cimen-8-ol, terpinoleno e p-cimeno (Lima et al., 2016).

Os óleos essenciais do acesso E-ES⁵ também foram avaliados contra os microorganismos *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *S. mutans*, *Enterococcus faecalis* e *Candida albicans*, porém apenas uma baixa atividade contra *S. mutans* foi observada (Lima et al., 2016). Entretanto, a atividade antibacteriana do óleo essencial da *P. heptaphyllum* já foi observada contra *Vibrio parahaemolyticus*, porém não foi possível identificar qual substância com efeito bactericida (Mendes et al., 2019).

Resinas velhas (F-PI⁶) e resinas frescas (F-MA⁷) foram utilizadas para a extração do óleo essencial das coletas realizadas no mercado central em Teresina-PI e no município de Timon-MA, respectivamente (Tabela 1). Os componentes majoritários das resinas velhas (comercial) foram os monoterpenos limoneno, 1,8-cineol e p-cimeno, enquanto nas resinas frescas foram o limoneno, p-cimeno e α -terpineol. O óleo de resinas velhas mostrou ainda efeito vasorelaxante em bioensaios com ratos, sugerindo uma possível forma de tratamento alternativo para hipertensão (Mobin et al., 2017).

A empresa Laszlo Aromaterapia Ltda. também extraiu óleos voláteis de resinas de *P. heptaphyllum* do Brasil (G-Br⁸) e obtiveram como componentes majoritários os monoterpenos β -felandreno e p-cimeno (Tabela 1). O β -felandreno tem diversas aplicações comerciais e é um ingrediente chave para medicamentos, cosméticos e produtos de limpeza, enquanto o p-cimeno tem demonstrado possuir atividade antimicrobiana (Mendes et al., 2019).

O óleo essencial de *P. heptaphyllum* do acesso J-GF¹¹ (Tabela 1) também foi extraído de frutos verdes coletados na Guiana Francesa (Houël et al., 2015), país com florestas tropicais e clima equatorial, quente e úmido (Duarte, 2016). Teve como substância mais representativa o monoterpeno limoneno, com 82% (Houël et al., 2015).

O perfil químico do óleo essencial do acesso I-RJ¹⁰ (São João da Barra, Rio de Janeiro) apresentou um padrão semelhante ao observado no acesso da ilha de Guriri, Espírito Santo (E-ES⁵) (Tabela 1). Essa coleta do Rio de Janeiro foi realizada de resinas frescas e velhas (Albino et al., 2017). Trata-se de uma região de Mata Atlântica, de clima tropical subúmido seco com influência marinha, com muitas áreas de restinga (Burla et al., 2015; IBGE, 2019b). As principais

substâncias encontradas nos exemplares dessa localidade foram: terpinoleno, p-cimeno, p-cimen-8-ol, α -pineno, limoneno, α -terpineno e γ -terpineno. No óleo da resina fresca os compostos majoritários foram terpinoleno e p-cimeno; enquanto no óleo da resina velha foram p-cimen-8-ol, p-cimeno e terpinoleno; apresentando uma diferença entre as resinas frescas e velhas (Albino et al., 2017), o que pode ocorrer, normalmente, devido ao processo de biotransformação (Maróstica Júnior & Pastore, 2007).

Análises parciais no genoma de *P. heptaphyllum* também foram realizadas com esse acesso do Rio de Janeiro (I-RJ¹⁰), com resultados indicando um “metabolismo de monoterpenos” para *Protium* e sugerindo, ainda, a existência de fatores de conversão abiótica, como tempo e condições de armazenamento do óleo essencial ou óleo-resina, que influenciam em processos de oxidação e isomeria química, como a transformação do terpinoleno em p-cimeno e p-cimen-8-ol (Albino et al., 2017).

Observando o perfil químico dos óleos essenciais dos vários acessos, fica evidente a variabilidade química para *P. heptaphyllum* quando coletada em locais diferentes, dentro do mesmo acesso/localidade, quando coletada em horários distintos ou mesmo em diferentes épocas do ano, mostrando a importância da análise química de um óleo essencial em todas as coletas, para fins de comercialização ou pesquisa.

Dependendo da localização geográfica e tipo de solo a composição dos óleos voláteis podem variar, fator que também influencia qualitativamente e quantitativamente é a sazonalidade, com os compostos químicos podendo alterar durante o ano. Os metabólitos secundários podem mudar entre dia e noite, de um mês para outro, horário da coleta, e de acordo com a fase ontogênica e a idade da planta, com alterações desde as concentrações de substâncias como na própria constuição química (Gobbo-Neto & Lopes, 2007; Gonçalves, 2015).

Outros dois fatores que têm influência considerável sobre a produção de óleos voláteis é a temperatura e a disponibilidade de água para planta. A temperatura varia constantemente, durante o dia, meses e anos. Em temperaturas baixas, por exemplo, a *Artemisia annua*, após passar por estresse, faz com que aumente em 60% a produção do sesquiterpeno artemisinina - substância utilizada no tratamento de malária - enquanto em outras plantas, a temperatura mais elevada favorece o rendimento dos óleos, obtendo melhor produtividade, porém com perdas de alguns metabólitos secundários. No que diz respeito a água, fatores que também podem influenciar na produtividade e variabilidade química de óleos essenciais é a disponibilidade hídrica e a fotossíntese, como o comportamento dos estômatos, além de expansão e crescimento foliar. Estudos mostram que o estresse hídrico leva a maior produção de óleos essenciais, porém, após determinado tempo, pode levar à diminuição de biomassa e do crescimento total do vegetal, o que posteriormente prejudica a produção de óleos essenciais (Gobbo-Neto & Lopes, 2007; Paulus & Paulus, 2016).

A radiação ultravioleta também tem seu papel nesse processo. Os diferentes níveis de radiação afetam diretamente o metabolismo secundário, pois estes são formados através de rotas originadas no metabolismo primário vegetal, podendo alterar a concentração de substâncias que naturalmente são fotoprotetoras na planta. Além disso, a questão nutricional é outro fator importante, que causa não somente alteração dos óleos essenciais, como redução do crescimento vegetal. O estresse nutricional pode aumentar a produção de metabólitos secundários, como o rendimento de óleos essenciais, porém a falta de elementos como nitrogênio, enxofre, fósforo, potássio, zinco, cálcio, dentre outros, altera a composição química do óleo diretamente, pois são constituintes de suas rotas metabólicas. Também influenciam nos óleos essenciais fatores como altitude, poluição atmosférica, estímulos mecânicos e ataque de patógenos (Gobbo-Neto & Lopes, 2007; Paulus & Paulus, 2016).

Além da influência ambiental, propriamente dita, um comportamento intrínseco pode influenciar no perfil químico de óleos essenciais. Com a dispersão de uma espécie por um grande território geográfico, como é o caso de *P. heptaphyllum*, a pressão do ambiente leva à seleção natural nos diferentes ecossistemas, e pode haver, em certos casos, um isolamento geográfico que pode ocasionar a uma diferenciação genética com o passar do tempo (Oliveira et al., 2013). Uma pequena alteração genotípica pode levar à produção de metabólitos específicos com a expressão de determinados genes ocorrendo uma

variação na composição dos óleos voláteis em diferentes indivíduos e/ou comunidades de uma mesma espécie, conhecidos como quimiótipos (Gonçalves, 2015).

4. Conclusão

Os resultados obtidos evidenciaram a existência de grande variabilidade química nos óleos essenciais de *P. heptaphyllum* de vários acessos. As alterações ambientais podem ser as responsáveis por essa variabilidade não descartando a possibilidade de algum acesso se tratar de quimiótipo. O grupo dos monoterpenos foi o mais representativo, com destaque para o limoneno, α -terpineol, 1,8-cineol, *p*-cimeno, α e β -felandreno.

Referências

- Albino, R. C., Oliveira, P. C., Prosdociimi, F., Silva, O. F., Bizzo, H. R., Gama, P. E., Sakuragui, M., Furtado, C. & Oliveira, D. R. (2017). Oxidation of monoterpenes in *Protium heptaphyllum* oleoresins. *Phytochemistry*, 136, 141-146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.01.013>.
- Almeida, M. P., Romero, R. B., Romero, A. L. & Crespan, E. R. (2015). Explorando a química e a atividade antifúngica de óleos essenciais: uma proposta de projeto para a educação básica. *Latin American Journal Of Science Education*, 2, 1-14.
- Aquino, C. F., Sales, N. L. P., Soares, E. P. S., Martins, E. R. & Costa, C. A. (2014). Composição química e atividade in vitro de três óleos essenciais sobre *Colletotrichum gloeosporioides* do maracujazeiro. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16 (2), 329-336.
- Araujo, D. A. O. V., Takayama, C., Faria, F. M., Socca, E. A. R., Dunder, R. J., Manzo, L. P., Luiz-Ferreira, A. & Souza-Brito, A. R. M. (2011). Gastroprotective effects of essential oil from *Protium heptaphyllum* on experimental gastric ulcer models in rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21 (4), 721-729. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000117>.
- Brançalion, P. H. S., Silva, E. J. V. & Klauber, C. (2012). Reserva Legal pode ser boa oportunidade de negócios em propriedades rurais. *Visão Agrícola*, 7 (10), 19-21.
- Braz, D. M., Jacques, E. L., Somner, G. V., Sylvestre, L. S., Rosa, M. M. T., Pereira-Moura, M. V. L., Germano Filho, P., Couto, A. V. S. & Amorim, T. A. (2013). Restinga de Praia das Neves, ES, Brasil: caracterização fitofisionômica, florística e conservação. *Biota Neotropica*, 13 (3), 315-331. <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-06032013000300032>.
- Burla, R. S., Oliveira, V. P. S., Manhães, C. M. C., Francelino, F. M. A., Santos, J. C. O. R., Colucci, M. C. & Fontes, S. C. (2015). Characterization of the socioeconomic and agricultural production process of farmers in the watershed of the Rio Doce, São João da Barra, RJ. *Revista Vértices*, 17 (1), 149-162. <http://dx.doi.org/10.5935/1809-2667.20150010>.
- Cabral, R. S. C., Alves, C. C. F., Batista, H. R. F., Sousa, W. C., Abrahão, I. S., Crotti, A. E. M., Santiago, M. B., Martins, C. H. G. & Miranda, M. L. D. (2018). Chemical composition of essential oils from different parts of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand and their in vitro antibacterial activity. *Natural Product Research*, 34 (16), p.2378-2383. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2018.1536659>.
- Caldas, G. F. R., Dantas, L. P., Camurça, A. J. S. C., Teixeira, M. M. S., Rodrigues, F. F. G., Costa, J. G. M. & Wanderley, A. G. (2020). Propriedades farmacológicas e toxicologia do óleo essencial de *Hyptis martiusii* Benth. (cidreira-brava) e de seu composto majoritário 1,8-cineol: uma revisão. *Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia*, 8 (1), 461-471. <http://dx.doi.org/10.16891/2317-434x.v8.e1.a2020.pp461-471>.
- Citó, A. M. G. L., Costa, F. B., Lopes, J. A. D., Oliveira, V. M. M. & Chaves, M. H. (2006). Identificação de constituintes voláteis de frutos e folhas de *Protium heptaphyllum* Aubl (March). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8 (4), 4-7, 2006.
- Coelho, C. F. & Araújo, M. E. (2011). Divulgação de pesquisas científicas como ferramenta para sensibilização de turistas: o caso da Praia dos Carneiros, Pernambuco, Brasil. *Journal Of Integrated Coastal Zone Management*, 2 (11), 247-255.
- Daly, D. C. (2009). Burseraceae. In: Giuliatti, A.M.; Rapini, A.; Andrade, M.J.G.; Queiroz, L.P. De; Silva, J.M.C.D. (eds.). *Plantas raras do Brasil*. Belo Horizonte: Conservação Internacional, Universidade Estadual de Feira de Santana, 116-117.
- Daly, D. C. (2015). *Burseraceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB6593>>
- Daly, D. C., Perdiz, R. O., Fine, P. V. A., Damasco, G., Martínez-Habibe, M. C. & Calvillo-Canadell, L. (2022). A review of Neotropical Burseraceae. *Brazilian Journal of Botany*, 45, 103-137. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00765-1>.
- Felipe, L. O. & Bicas, J. L. (2017). Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química Nova na Escola*, 39 (2), 120-130. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160068>.
- Gobbo-Neto, L. & Lopes, N.P. (2007). Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, 30 (2), 374-381. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>.
- Gonçalves, J. M. (2015). *Atividades biológicas e composição química dos óleos essenciais de Achyrocline satureoides (Lam) DC. e Ageratum conyzoides L. encontradas no semiárido baiano* (Tese de Doutorado), Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil.

- Houël, E., Gonzalez, G., Bessière, J.M., Odonne, O., Eparvier, V., Deharo, E. & Stien, D. (2015). Therapeutic switching: from antidermatophytic essential oils to new leishmanicidal products. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110 (1), 106-113. <https://doi.org/10.1590/0074-02760140332>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019a). *Cidades: São Mateus*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/sao-mateus/panorama>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019b). *Cidades: São João da Barra*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/sao-joao-da-barra/panorama>.
- Khaleel, C., Tabanca, N. & Buchbauer, G. (2018). α -Terpineol, a natural monoterpene: a review of its biological properties. *Open Chemistry*, 16 (1), 349-361. <http://dx.doi.org/10.1515/chem-2018-0040>.
- Lima, E. M., Cazelli, D. S. P., Pinto, F. E., Mazuco, R. A., Kalil, I. C., Lenz, D., Scherer, R., Andrade, T. U. & Endringer, D. C. (2016). Essential oil from the resin of *Protium heptaphyllum*: Chemical composition, cytotoxicity, antimicrobial activity, and antimutagenicity. *Pharmacognosy Magazine*, 12 (45), p. S42-S46. <http://dx.doi.org/10.4103/0973-1296.176113>.
- Lorenzi, H. (2007). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 05. ed. Nova Odessa - SP: Plantarum, 2008.
- Maróstica Júnior, M. R. & Pastore, G. M. (2007). Biotransformação de Limoneno: uma revisão das principais rotas metabólicas. *Química Nova*, 30 (2), 382-387. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200027>.
- Martins, M. L. L. (2012). Fitofisionomia das formações vegetais da Restinga da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaibim, Valença, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 10 (1), 66-73.
- Mattana, R. S., Maia e Almeida, C. I., Oliveira, P. F. C., Lima, L. P., Haber, L. L., Ming, L. C. & Marques, M. O. M. (2015). Efeitos de diferentes tempos de extração no teor e composição química do óleo essencial de folhas de pariparoba [*Pothomorphe umbellata* (L.) Miq.]. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 17 (1), 150-156, mar. 2015. http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/09_119.
- Melo, B. A., Almeida, F. A. C., Silva, J. F. & Silva, R. C. (2015). Atividade inseticida do óleo de *Copaifera langsdorffii* Desf. (copaiba) sobre *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20 (4), 419-428, 2015.
- Mendes, J. L., Araújo, T. F., Carvalho, M. G., Catunda Júnior, F.E.A. & Costa, R.A. (2019). Chemical composition and mechanism of vibriocidal action of essential oil from resin of *Protium heptaphyllum*. *The scientific world journal*, 2019, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1155/2019/9563213>.
- Miranda, C. A. S. F., Cardoso, M. das G., Batista, L. R. B., Rodrigues, L. M. A. & Figueiredo, A. C. S. (2016). Essential oils from leaves of various species: antioxidant and antibacterial properties on growth in pathogenic species. *Revista Ciência Agronômica*, 47 (1), 213-220. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160025>.
- Mobin, M., Lima, S. G., Almeida, L. T. G., Takahashi, J. P., Teles, J. B., Szeszs, M. W., Martins, M. A., Carvalho, A. A. & Melhem, M. S. C. (2016). MDGC-MS analysis of essential oils from *Protium heptaphyllum* (Aubl.) and their antifungal activity against *Candida* specie. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18 (2), 531-538. DOI: 10.1590/1983-084X/15_110.
- Mobin, M., Lima, S. G., Almeida, L. T. G., Silva Filho, J. C., Rocha, M. S., Oliveira, A. P., Mendes, M. B., Carvalho, F. A. A., Melhem, M. S. C. & Costa, J. G. M. (2017). Gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry analysis and vasorelaxant effect of essential oil from *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. *BioMed Research International*, 2017, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/1928171>.
- Murthy, K. S. R., Reddy, M. C., Rani, S. S. & Pullaiah, T. (2016). Bioactive principles and biological properties of essential oils of Burseraceae: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5 (2), 247-258.
- Oliveira, G. L., Moreira, D. L., Mendes, A. D. R., Guimarães, E. F., Figueiredo, L. S., Kaplan, M. A. C. & Martins, E. R. (2013). Growth study and essential oil analysis of *Piper aduncum* from two sites of Cerrado biome of Minas Gerais State, Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23, 743-753.
- Oliveira, L. M., Queiroz, D. P. K., Melo, L. E. S., Marques, M. O. M., Facanali, R. & Lima, M. P. (2018). Constituintes voláteis dos galhos de quatro espécies de *Protium* ocorrentes na flora da reserva ducke. *Scientia Amazonia*, 7 (1), 68-73.
- Palermo, F. H., Nicolai, J. N., Seixas, D. P. S., Silva, S. C. M. & Rodrigues, T. M. (2017). Distribuição, morfologia e histoquímica do sistema secretor em raízes de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (Burseraceae). *Holos Environment*, 37- 44.
- Paulus, D. & Paulus, E. (2016). Influência dos Fatores Ambientais, Colheita e Secagem na Produção e na Composição de Óleos Essenciais de *Mentha* spp. In: Paulus, D. & Paris, W. (Org.). *Técnicas de manejo agropecuário sustentável*. Curitiba: UTFPR Editora, p. 329.
- Pires, T. C. M., Ribeiro, M. G. T. C. & Machado, A. A. S. C. (2017). Extração do R-(+)-Limoneno a partir das cascas de laranja: avaliação e otimização da verdura dos processos de extração tradicionais. *Química Nova*, 41 (3), 355-365. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170139>.
- Pontes, W. J. T., Oliveira, J. C. S., Camara, C. A. G., Lopes, A. C. H. R., Godim Junior, M. G. C., Oliveira, J. V. & Schwartz, M. O. E. (2007a) Composition and acaricidal activity of the resin's essential oil of *Protium bahianum* daly against two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), *Journal of Essential Oil Research*, 19 (4), 379-383. <https://doi.org/10.1080/10412905.2007.9699310>.
- Pontes, W. J. T., Oliveira, J. C. G., Câmara, C. A. G., Lopes, A. C. H. R., Godim Junior, M. G. C., Oliveira, J. V., Barros, R. & Schwartz, M. O. E. (2007b). Chemical composition and acaricidal activity of the leaf and fruit essential oils of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (Burseraceae). *Acta Amazonica*, 37 (1), 103-109. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100012>
- Ribeiro, S. M., Bonilla, O. H. & Lucena, E. M. P. (2018). Influência da sazonalidade e do ciclo circadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de *Croton* spp. da Caatinga. *Iheringia, Série Botânica*, 73 (1), 31-38. <http://dx.doi.org/10.21826/2446-8231201873104>
- Rüdiger, A. L., Siani, A. C. & Veiga Junior, V. F. (2007). The Chemistry and Pharmacology of the South America genus *Protium* Burm. f. (Burseraceae). *Pharmacognosy Reviews*, 1 (1), 93-104.

- Sales, A., Felipe, L. O. & Bicas, J. L. (2020). Production, Properties, and Applications of α -Terpineol. *Food And Bioprocess Technology*, 13 (8), 1261-1279. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-020-02461-6>.
- Silva, C. B., Silva, K. B., Oliveira, E. L. S., Soares, V. F., Costa, J. G. & Santos, A. F. (2017). A importância da ação antioxidante de óleos essenciais em benefício da saúde. *Diversitas Journal*, 2 (1), 52-55. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v2i4.483>.
- Silva, E. R., Oliveira, D. R., Melo, M. F. G., Bizzo, H. R. & Leitão, S. G. (2016a). Report on the Malungo expedition to the Erepecuru river, Oriximiná, Brazil. Part I: is there a difference between black and white breu? *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26 (5), 647-656. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2016.05.003>.
- Silva, F. B., Santos, J. R. N., Feitosa, F. E. C. S., Silva, I. D. C., Araújo, M. L. S., Guterres, C. E., Santos, J. S., Ribeiro, C. V., Bezerra, D. S. & Neres, R. L. (2016). Evidências de Mudanças Climáticas na Região de Transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31 (3), 330-336. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150149>
- Simões, C. M. O., Schenkel, E. P., Mello, J. C. P., Mentz, L. A. & Petrovick, P. R. (2017). *Farmacognosia: do produto natural ao medicamento*. Porto Alegre: Artmed, 486 p.
- Tafurt-García, G. & Muñoz-Acevedo, A. (2012). Metabolitos volátiles presentes en *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. colectado en Tame (Arauca - Colombia). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 11 (3), 223-232, 2012.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre. 820 p.
- Tostes, L. C. L., Gonçalves, J. F. C., Lins, A. L. F. A., Costa Neto, S. V., Ferreira, A. M. S., Castelo, A. & Dias, M. R. L. (2020). Identification of the secretory structures present in the trunk of *Protium Burm. f.* (Burceraceae) exuding oil-resin. *Brazilian Applied Science Review*, 4 (3), 1860-1872. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv4n3-090>
- Wolffenbüttel, A. N. (2016). *Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia. Abordagem técnica e científica*. Editora Laszlo, 466p.
- Wróblewska, A. (2014). The Epoxidation of Limonene over the TS-1 and Ti-SBA-15 Catalysts. *Molecules*, 19 (12), 19907-19922. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules191219907>.