

Joana Daniela Moreira Couto

**Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras
alocadas em Portugal com potencial aplicação farmacêutica**

Faculdade de Ciências da Saúde

Universidade Fernando Pessoa

Porto, 2024

Joana Daniela Moreira Couto

**Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras
alocadas em Portugal com potencial aplicação farmacêutica**

Faculdade de Ciências da Saúde

Universidade Fernando Pessoa

Porto, 2024

Joana Daniela Moreira Couto

**Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras
alocadas em Portugal com potencial aplicação farmacêutica**

Atesto a originalidade do trabalho

(Joana Daniela Moreira Couto)

Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Farmacêuticas, sob orientação da Professora Doutora Ana Cristina Vinha e coorientação da Professora Doutora Carla Sousa e Silva.

Porto, 2024

Resumo

As espécies vegetais invasoras são uma das ameaças mais sérias para a biodiversidade, serviços dos ecossistemas, segurança alimentar, saúde e meios de subsistência das populações. Os efeitos negativos destas espécies invasoras são cada vez mais invocados para justificar abordagens generalizadas da sua gestão ecológica e/ou erradicação. As políticas económicas e sociais aplicadas para o controlo de espécies vegetais invasoras, incluindo a sua prevenção e o controlo do seu crescimento, podem ser potenciadas através da valorização da composição química destas plantas ao tornar a sua colheita intencional e, consequentemente, convertendo-as numa mais-valia, para além de controlar a propagação da espécie vegetal em causa. Hoje em dia, já se sabe que muitos pigmentos naturais, além da capacidade de conferir cor a um produto, também proporcionam efeitos benéficos à saúde quando ingeridos, sendo considerados compostos bioativos. Neste sentido, a associação entre o consumo frequente de vegetais contendo pigmentos naturais e a diminuição da incidência de doenças crónicas e/ou degenerativas na população, como doenças cardiovasculares e neoplasias, já foi sugerida por muitos trabalhos científicos. Nesse âmbito, este trabalho visa identificar e quantificar pigmentos naturais de algumas espécies invasoras, com o intuito de diminuir o seu impacto ambiental e de as valorizar, perspetivando futuras aplicações na indústria farmacêutica, e de forma a promover a economia sustentável.

Palavras-chave: Espécies invasoras; pigmentos naturais; carotenoides; clorofila; antocianinas.

Abstract

Invasive plant species are one of the most serious threats to biodiversity, ecosystem services, food security, health and people's livelihoods. The negative effects of these invasive species are increasingly invoked to justify widespread approaches to ecological management and/or eradication. The economic and social policies applied to the control of invasive plant species, including their prevention and growth control, can be enhanced by valuing the chemical composition of these plants, making their harvesting intentional and, consequently, becoming an asset in controlling the spread of the plant species in question. It is now known that many natural pigments, in addition to their ability to give color to a product, also have beneficial effects on health when ingested, and are therefore called bioactive compounds. In this sense, the association between frequent consumption of vegetables containing natural pigments and a reduction in the incidence of many chronic-degenerative diseases in the population, such as cardiovascular diseases and neoplasms, has already been suggested by many scientific studies. Therefore, this work aims to identify and quantify natural pigments from some invasive species, in order to value their environmental impact in a sustainable economy, with future prospects in pharmaceutical applications.

Keywords; Invasive species; natural pigments; carotenoids; chlorophyll; anthocyanins.

Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras alocadas em Portugal
com potencial aplicação farmacêutica

“A alma é divina e a obra é imperfeita” (Fernando Pessoa)

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão por mais uma etapa da minha vida, que não teria sido possível sem a colaboração, auxílio, carinho e dedicação por parte de várias pessoas que me acompanharam ao longo de todo o meu percurso académico.

Primeiramente, começo por agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização de minha dissertação de mestrado. A todos os professores que colaboraram no meu ensino no decorrer destes 5 anos. À minha família por todo o apoio e suporte que me proporcionaram ao longo desta fase, e que me ajudaram em todas as minhas adversidades, não me deixando nunca desistir. À minha avó Laura que não estando mais entre nós fisicamente, permanece para sempre no meu coração e na minha mente, sempre tendo muito orgulho nas minhas conquistas.

Mostro também o meu agradecimento com os meus colegas e amigos por todo o apoio e cooperação, juntos enfrentamos desafios, celebramos conquistas e construímos memórias.

Gratifico também a minha orientadora Professora Doutora Ana Cristina Vinha e coorientadora Professora Doutora Carla Sousa e Silva, o apoio na conclusão deste projeto.

Por fim, um grande obrigado do fundo do coração a todos.

Índice geral

Resumo	v
Abstract	vi
Agradecimentos	viii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xii
I. Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia	3
II. Desenvolvimento	4
2.1 Pigmentos Naturais	4
2.1.1 Carotenoides.....	5
2.1.2 Flavonoides	7
i. Compostos antociânicos	8
2.1.3 Clorofilas.....	9
2.2 Espécies invasoras	11
2.2.1 Austrália (<i>Acácia melanoxylon</i>)	13
2.2.2 Mimosa (<i>Acácia dealbata</i>).....	14
2.2.3 Maia (<i>Cytisus striatus</i>).....	16
2.2.4 Chorão da praia (<i>Carpobrotus edulis</i>).....	18
2.2.5 Capuchinha (<i>Tropaeolum majus</i>)	20
2.3 Pigmentos naturais com potenciais aplicações farmacêuticas	22
III. Parte experimental.....	23
3.1 Objetivos.....	23
3.1.1 Objetivos específicos.....	23
3.2 Materiais e métodos	24
3.2.1 Recolha e preparação das amostras	24
3.2.2 Determinação de carotenoides e clorofilas	25
3.2.3 Determinação de compostos antociânicos totais.....	26
IV. Resultados e discussão.....	27
V. Conclusão	31

Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras alocadas em Portugal
com potencial aplicação farmacêutica

IV. Bibliografia.....	32
V. Anexos.....	40

Índice de Figuras

Figura 1. Morfologia das partes aéreas da <i>Acacia melanoxylon</i>	13
Figura 2. Morfologia das partes aéreas da <i>Acacia dealbata</i>	14
Figura 3. Morfologia das partes aéreas da <i>Cytisus striatus</i>	17
Figura 4. Morfologia das partes aéreas da <i>Carpobrotus edulis</i>	19
Figura 5. Morfologia das partes aéreas da <i>Tropaeolum majus</i>	21
Figura 6. Espécies invasoras estudadas e respetiva distribuição geográfica em Portugal continental (adaptado de https://www.flora-on.pt).	25

Índice de Tabelas

Tabela 1. Teores de clorofilas e β -caroteno obtidos nas diferentes flores das espécies invasoras em estudo.....	28
Tabela 2. Valores de compostos antociânicos totais, obtidos nas diferentes sumidades floridas em estudo.....	29

I. Introdução

Portugal é um país que detém elevado número de espécies autóctones (2400 identificadas), muitas delas ainda subvalorizadas e, como tal, detentoras de conhecimento científico restrito. As espécies nativas de um determinado local constituem um património importante de biodiversidade sendo fundamental a sua valorização económica (Vinha *et al.*, 2023). Contudo, a mesma espécie, outrora endémica, rapidamente assume-se como invasora, caracterizando-se pela sua rápida propagação e, conseqüentemente, tornando-se uma ameaça para a biodiversidade e para a produtividade do setor florestal (Sousa *et al.*, 2023). Na verdade, a migração de plantas invasoras provoca mudanças significativas nos ecossistemas, afetando as interações entre espécies e a biosfera (Silva *et al.*, 2024).

A introdução dessas espécies em ecossistemas já fragilizados pode causar alterações irreversíveis, deslocando espécies nativas e desequilibrando a biodiversidade. Este fenómeno pode levar à extinção de espécies locais, seja por competição direta ou por cruzamento, resultando na homogeneização global da fauna e flora e na conseqüente perda de biodiversidade. Por isso, é essencial monitorizar o impacto das plantas invasoras, considerando os seus riscos ambientais, sociais e económicos (Kupriyanov *et al.*, 2021), nomeadamente, devido às suas céleres capacidades reprodutivas e conseqüentes adaptações (Jones *et al.*, 2023).

Para além de afetarem diretamente a biodiversidade e os ecossistemas, as plantas invasoras também têm o potencial de influenciar processos fisiológicos essenciais nas plantas nativas, como a fotossíntese (Burgiel *et al.*, 2010). A biosfera depende grandemente da fotossíntese para a obtenção de energia, dependendo este processo metabólico da existência dos pigmentos de plantas e algas, nomeadamente da clorofila, (Cardoso, 2024).

As clorofilas, pigmentos verdes responsáveis pela fotossíntese das plantas, estão entre as moléculas orgânicas mais importantes do planeta. Para além das clorofilas, outros pigmentos como os carotenoides, flavonoides, incluindo-se as antocianinas e as betalaínas, desempenham papéis biológicos significativos no reino vegetal e na saúde humana (Ghosh *et al.*, 2023).

Estes pigmentos naturais, metabolitos secundários essenciais, desempenham múltiplos papéis em todo o ciclo de vida das plantas e são caracterizados pelas suas propriedades medicinais. Devido aos seus benefícios nutricionais e fitoquímicos, são considerados

aditivos naturais funcionais, capazes de proporcionar benefícios adicionais para a saúde, como a prevenção ou o retardamento do aparecimento de doenças crónicas, além de satisfazerem as necessidades nutricionais básicas (Malabadi,*et al.*, 2022).

Recentemente, muitos pigmentos extraídos de fontes vegetais e fungos têm sido estudados. Os corantes e pigmentos naturais podem e são utilizados em formulações farmacêuticas como excipientes. Na verdade, a principal aplicação dos corantes é conferir um aspeto apelativo aos produtos farmacêuticos. Para além da aparência, existem outras aplicações funcionais importantes dos corantes naturais que podem ser uma mais-valia para a indústria farmacêutica. Dada a relevância do tema, este trabalho foi dividido em duas partes distintas: primeiramente foi explorada a temática das plantas invasoras e a possível utilização no setor industrial farmacêutico, com intuito de dar resposta aos diferentes objetivos da Agenda 2030; e posteriormente foi realizada uma componente experimental, através da identificação e quantificação de pigmentos naturais em cinco espécies invasoras predominantes no território nacional: austrália (*Acácia melanoxylon*); mimosa (*Acácia dealbata*); maia (*Cytisus striatus*); chorão da praia (*Carpobrotus edulis*); capuchinha (*Tropaeolum majus*).

1.1 Motivação

A elaboração desta dissertação de mestrado foi motivada pelo facto de incluir uma parte experimental e de investigação pertinente e atual, tendo como objetivo valorizar o uso da biomassa de plantas invasoras, na ótica de apaziguar as atuais preocupações ecológicas que desencadearam um aumento progressivo no desenvolvimento de materiais de origem natural e biodegradável, com ênfase na procura de fontes alternativas de matérias-primas mais sustentáveis. Assim, começou-se por fazer uma revisão bibliográfica sobre espécies invasoras alocadas no território português, escolhendo-se cinco delas. A caracterização (identificação e quantificação) dos pigmentos naturais, associada às propriedades biológicas dos mesmos torna este estudo inovador, não só na vertente do conhecimento científico, como pelo seu estudo de carácter exploratório, tendo em vista a possível valorização dos diferentes órgãos destas espécies, como por exemplo, produção de extratos ricos em compostos bioativos com atividades biológicas, que possam ser explorados pela indústria farmacêutica.

1.2 Objetivos

Considerando a relevância dos pigmentos naturais e a crescente procura de recursos naturais em detrimento de sintéticos na indústria farmacêutica, o objetivo principal desta dissertação visou a identificação e quantificação de diferentes pigmentos naturais, hidrossolúveis e lipossolúveis, concretamente os carotenoides, as antocianinas e as clorofilas das espécies invasoras austrália (*Acácia melanoxylon*); mimosa (*Acácia dealbata*); maia (*Cytisus striatus*); chorão da praia (*Carpobrotus edulis*); capuchinha (*Tropaeolum majus*).

1.3 Metodologia

A elaboração deste trabalho experimental implicou uma revisão bibliográfica com relevância para o tema do trabalho. Os motores de busca utilizados para a pesquisa foram a PubMed, B-on, a Science Direct, e o Google Académico, com a finalidade de selecionar as publicações mais relevantes. Utilizaram-se as seguintes palavras-chave em inglês: “Invasive species”, “natural pigments”, “carotenoids”, “flavonoids”, “anthocyanins”, “chlorophylls”; “*Acacia melanoxylon*”, “*Acacia dealbata*”, “*Cytisus striatus*”, “*Carpobrotus edulis*”, “*Tropaeolum majus*” e “natural pigments”; “pharmaceutical applications” combinadas com os operadores booleanos “OF”, “WITH” e “AND”. Os critérios de inclusão abrangeram artigos internacionais, escritos em português e/ou inglês publicados entre 2015 e 2024. Os critérios de exclusão incluíram artigos que não se enquadravam na temática do presente estudo ou publicações cujo acesso ao texto integral não foi possível.

II. Desenvolvimento

2.1 Pigmentos Naturais

Os pigmentos são moléculas que, devido à sua composição química e estrutural, absorvem determinados comprimentos de onda da luz visível, enquanto refletem outros. A cor de um pigmento é determinada pelo comprimento de onda da radiação refletida, sendo a energia luminosa absorvida utilizada em processos como a fotossíntese, em que a luz é convertida em energia química, essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Taiz *et al.*, 2015; Academy, 2024). Os pigmentos fotossintéticos mais comuns incluem as clorofilas, carotenoides e ficobilinas, que desempenham um papel crucial na captura da luz solar (Simkin *et al.*, 2022).

Para além do seu papel biológico, os pigmentos têm uma ampla utilização industrial, nomeadamente como corantes nas indústrias alimentar, farmacêutica, cosmética e têxtil (Barreto *et al.*, 2023).

Os pigmentos naturais extraídos de plantas e de outros organismos, têm ganho popularidade devido à sua origem sustentável e à crescente procura por produtos isentos de toxicidade (Ghosh *et al.*, 2022). No entanto, a aplicação dos pigmentos sintéticos é comum, tendo em consideração a sua maior estabilidade química e custo reduzido (Molina *et al.*, 2023). Apesar das vantagens dos pigmentos sintéticos, a sua utilização tem gerado preocupações ambientais e de saúde, levando a uma procura crescente por alternativas naturais, que oferecem menos riscos e maior biodegradabilidade (Sigurdson *et al.*, 2017).

De facto, as substâncias sintéticas podem apresentar toxicidade, exercendo efeitos negativos quer para a saúde humana, quer para o ambiente (Ardila-Leal *et al.*, 2021).

Alguns corantes sintéticos originalmente aprovados pela Autoridade reguladora do medicamento dos Estados Unidos, “Food and Drug Administration” (FDA) foram relacionados a efeitos prejudiciais à saúde pública, incluindo-se o desenvolvimento de neoplasias e hiperatividade em crianças (Azman *et al.*, 2018). Desta forma, foram incentivados o uso de corantes naturais em todos os campos industriais, em detrimento dos sintéticos. Contudo, o recurso a estes corantes naturais ainda é um desafio, tendo em consideração aos fatores, como por exemplo, a instabilidade química das moléculas quando expostas ao calor, luz e a ambientes ácidos, entre outros (Venil *et al.*, 2020).

Além da possibilidade da utilização dos pigmentos naturais como corantes industriais, estes compostos têm evidenciado propriedades biológicas, como antimicrobiana (Campestrini *et al.*, 2019), antioxidante (Vega *et al.*, 2021), antineoplásica (Azman *et al.*, 2018), anti-inflamatória, cardio e neuroprotetoras (Ćujić *et al.*, 2018). Além disso, vários métodos têm sido desenvolvidos com vista na melhoria das suas estabilidades químicas e consequentes biodisponibilidades (Lu *et al.*, 2023).

As plantas, as algas e os microrganismos, incluindo bactérias e fungos, são as principais fontes de pigmentos naturais (Azman *et al.*, 2018). Os principais pigmentos vegetais possuem várias estruturas químicas que englobam: as antocianinas, uma classe de flavonoides que exhibe um espectro de cores alargado (do amarelo ao azul); os carotenoides, uma subcategoria de terpenos, com tonalidades que variam do amarelo a vermelho; as clorofilas (tonalidades verdes) e as betalainas de cores amarela a vermelha (Rodriguez-Amaya, 2016; Nabi *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023).

De entre os diversos pigmentos naturais existentes, estes podem classificar-se de acordo com a sua composição química, organizando-se em quatro categorias principais (Molina *et al.*, 2023):

- Estrutura de isopreno, característica dos carotenoides, que se encontram principalmente em vegetais, algas e bactérias.
- Compostos heterocíclicos que contêm oxigénio, como os flavonoides (antocianinas), que se encontram em vegetais e frutas.
- Compostos heterocíclicos com uma estrutura tetrapirrol, denominados clorofilas, presentes em vegetais.
- Compostos alcaloides sintetizados a partir do ácido betalâmico e de aminoácidos aromáticos (L-fenilalanina e de L-tirosina), denominados betalainas, 17 famílias da ordem Caryophyllales.

2.1.1 Carotenoides

Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis conhecidos pelo seu espectro de cores que variam entre o amarelo, laranja e vermelho (Milani *et al.*, 2017). Estes compostos são amplamente distribuídos na natureza, sendo encontrados em plantas superiores, algas, fungos e até em alguns animais (Montesano *et al.*, 2019). A sua estrutura pertence à

família dos terpenos, composta por oito unidades de isopreno que originam um esqueleto de 40 átomos de carbono (Yabuzaki, 2017; Maoka, 2020).

Os carotenoides são classificados em dois grandes grupos: os carotenos, que são exclusivamente hidrocarbonetos (como o licopeno e β -caroteno) e xantofilas, derivadas do anterior pela incorporação funções oxigenadas como grupos hidroxilo, metoxi, carboxilo, ceto ou epóxi, como a luteína, β -criptoxantina, zeaxantina e fucoxantina (Rutz *et al.*, 2016; Maoka, 2020). Além disso, os carotenoides podem ter uma estrutura acíclica, como o licopeno, ou têm uma estrutura cíclica diferente numa ou em ambas as extremidades, como o β -caroteno. Devido ao grande número de ligações duplas na cadeia, os carotenoides podem e existem em diferentes conformações *cis/trans* (Tan *et al.*, 2019). Os métodos de produção de carotenoides são classificados em sintéticos e naturais, com algumas abordagens híbridas. A produção sintética é geralmente mais rápida e económica, mas os carotenoides naturais são preferidos na indústria farmacêutica devido à sua pureza e rastreabilidade, ambas características essenciais para aplicações terapêuticas seguras (Bas *et al.*, 2021; Dias, 2021; Tamaki *et al.*, 2021).

Na indústria farmacêutica, os carotenoides têm demonstrado potencial em várias aplicações, incluindo a cicatrização de feridas e a saúde metabólica. Por exemplo, o β -caroteno e a astaxantina têm propriedades que auxiliam na regeneração da pele, enquanto a luteína e a zeaxantina mostram eficácia na melhoria da sensibilidade à insulina e na regulação do metabolismo da glicose, destacando o papel multifuncional destes compostos na saúde humana (Rodríguez-Amaya, 2016; Bohn *et al.*, 2021; Bas, 2024). Igualmente, no organismo humano, os carotenoides contribuem para a proteção da pele contra os efeitos da radiação ultravioleta (UV), e diversos estudos sugerem que podem ter um papel preventivo no desenvolvimento de doenças crónicas, incluindo diabetes, cancro e processos inflamatórios (Britton *et al.*, 2008; Havas *et al.*, 2018; Almagro *et al.*, 2022; Darvin *et al.*, 2022). Estudos recentes sugerem que a ingestão de carotenoides está associada à redução do risco de doenças crónicas, como doenças cardiovasculares e certos tipos de cancro (Galanakis, 2020; Wang *et al.*, 2023). Nas plantas, estes pigmentos são essenciais para a fotossíntese, auxiliando na absorção de luz e na proteção contra a foto-inibição. Estes são sintetizados nos plastídios das células vegetais e também atuam como precursores de compostos importantes, como o isopreno (Quián-Ulloa *et al.*, 2021).

A suplementação de carotenoides já é uma prática comum na promoção da saúde, pois são compostos com função pró-vitáminica A, exercendo um papel crítico na manutenção,

crescimento e diferenciação epiteliais (Mussagy *et al.*, 2019). Alguns estudos indicam que suplementos ou dietas com alimentos que apresentam conteúdo elevado de carotenoides são eficientes na foto-proteção sistémica. O β -caroteno, por exemplo, também é utilizado no tratamento de outras doenças induzidas ou agravadas pela exposição aos raios UV, como urticária solar, erupções polimórficas, reações alérgicas a fármacos e lúpus eritematoso (Quián-Ulloa *et al.*, 2021).

2.1.2 Flavonoides

Os flavonoides são uma classe diversa de metabolitos secundários, pertencentes à família dos fenilpropanoides, amplamente distribuídos no reino vegetal. As antocianinas, apresentam uma ação cromófora (refere-se à capacidade de certos grupos químicos, chamados de cromóforos, de absorver luz em faixas específicas do espectro visível), apresentando tonalidades que variam entre o amarelo até ao azul, desempenhando papéis cruciais na fisiologia das plantas, proteção e propagação das espécies vegetais (Roy *et al.*, 2022).

Estes pigmentos são solúveis em água e acumulam-se principalmente nos vacúolos das células vegetais, onde protegem contra danos causados por stresse ambiental, como a radiação ultravioleta e ataques de herbívoros (de Pascual-Teresa *et al.*, 2007; Mattioli *et al.*, 2020).

São caracterizados por uma estrutura química de 15 átomos de carbono, organizados em três anéis (C6-C3-C6). Esta configuração permite-lhes interagir com a luz de diferentes formas, tornando-os eficientes na absorção de radiação ultravioleta, o que protege os tecidos vegetais e minimiza danos celulares (Sieminska-Kuczer *et al.*, 2022). Além disso, estas moléculas possuem propriedades antioxidantes, que ajudam a neutralizar radicais livres, protegendo as plantas contra danos oxidativos (Hassanpour *et al.*, 2023).

Para além das suas funções na foto-proteção, os flavonoides também são importantes para a proliferação das espécies vegetais, atraindo os agentes polinizadores (Mattioli *et al.*, 2020).

Diversos estudos apontam para os efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios destes compostos, sugerindo que o consumo de alimentos ricos em flavonoides, como frutas, vegetais, chá e vinho tinto, pode ajudar a prevenir doenças cardiovasculares, neoplasias

e distúrbios neurodegenerativos (Ullah *et al.*, 2020; Szulc *et al.*, 2024). Em particular, as antocianinas encontradas em frutos vermelhos, como amoras e mirtilos, têm sido associadas à melhoria da saúde cardiovascular e da função cognitiva (Ashique *et al.*, 2024).

Os flavonoides são geralmente classificados em várias subclasses, incluindo flavonóis, flavonas, flavanonas, isoflavonas, antocianinas e chalconas, cada uma com diferentes propriedades e funções. Esta diversidade permite que desempenhem uma variedade de papéis biológicos, desde a proteção contra radiação solar até à regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas (Zhuang *et al.*, 2023). Por exemplo, enquanto os flavonóis ajudam na absorção de radiação ultravioleta, as antocianinas são mais eficazes em atrair polinizadores devido às suas cores apelativas (Stavenga *et al.*, 2020).

A versatilidade dos flavonoides é evidente na sua ampla aplicação nas indústrias alimentar, cosmética e farmacêutica. Na medicina, são alvo de estudos devido aos seus potenciais efeitos terapêuticos. Alguns tipos de flavonoides, como a quercetina e a catequina, têm mostrado propriedades anti-inflamatórias, capacidade de melhorar a circulação sanguínea e antineoplásicos (Farhan *et al.*, 2023). Esta versatilidade faz dos flavonoides um grupo de compostos com interesse crescente, tanto na pesquisa científica, quanto na formulação de produtos nutracêuticos, combinando estes últimos benefícios nutricionais e terapêuticos.

i. Compostos antociânicos

Os compostos antociânicos são uma classe de flavonoides com ação cromófora mais alargada quando comparados com os restantes grupos de flavonoides, e estão presentes em diversas partes das plantas, como flores, frutos, folhas e raízes (Shi *et al.*, 2023). Estes pigmentos são solúveis em água e estão localizados principalmente nos vacúolos das células vegetais (Khoo *et al.*, 2017; Mattioli *et al.*, 2020).

Tal como todos os restantes flavonoides, as antocianinas desempenham um papel crucial na proteção das plantas contra fatores de stresse ambiental, incluindo a radiação ultravioleta, secas e baixas temperaturas (Enaru *et al.*, 2021). As antocianinas são compostos altamente versáteis e possuem uma estrutura química que lhes permite agir como antioxidantes potentes. Esta capacidade antioxidante é uma das razões pelas quais

as antocianinas têm sido amplamente estudadas pelos seus potenciais benefícios para a saúde humana e aplicações farmacêuticas (Enaru *et al.*, 2021).

Entre os benefícios mais destacados, incluem-se a melhoria da saúde cardiovascular, a proteção contra a oxidação do colesterol LDL, a promoção de uma melhor função cognitiva e a potencial ação anticancerígena (Khoo *et al.*, 2017; Mattioli *et al.*, 2020).

Devido à crescente preocupação com o uso de corantes sintéticos e os seus potenciais efeitos adversos, as antocianinas emergem como uma alternativa natural e segura (Dey *et al.*, 2022). Adicionalmente, a indústria cosmética e farmacêutica tem demonstrado um interesse crescente pelos compostos antociânicos, devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e foto-protetoras (Camara *et al.*, 2022). Estes pigmentos podem ser utilizados em produtos de cuidado da pele, com a função de proteger contra os danos causados pelos radicais livres e pela exposição solar, contribuindo para a manutenção de uma pele saudável (Diaconeasa *et al.*, 2020).

2.1.3 Clorofilas

As clorofilas são um grupo de pigmentos essenciais presentes nas plantas, algas e algumas bactérias, sendo responsáveis pela absorção de luz durante o processo de fotossíntese (Carle *et al.*, 2016). Estes pigmentos, que conferem a cor verde característica às folhas e caules, desempenham um papel crucial na captura de energia luminosa, convertendo-a em energia química que é utilizada para sintetizar hidratos de carbono a partir de dióxido de carbono e água (Ebrahimi *et al.*, 2023). Essa função é vital para a manutenção do ecossistema global, pois a fotossíntese é a base da cadeia alimentar e um dos principais processos de produção de oxigénio no planeta (Naselli-Flores *et al.*, 2023).

Existem vários tipos de clorofilas, sendo os mais comuns nas plantas superiores a clorofila a e a clorofila b. A clorofila a é considerada o principal pigmento fotossintético, uma vez que é diretamente responsável pela conversão de energia luminosa em energia química. Por outro lado, a clorofila b atua como um pigmento acessório, ampliando o espectro de luz que as plantas podem usar para a fotossíntese, ao absorver comprimentos de onda diferentes dos absorvidos pela clorofila a. Esta complementaridade permite que as plantas maximizem a eficiência da fotossíntese, especialmente em condições de luz fraca ou sob sombra parcial (Lichtenthaler, 1987).

Para além das clorofilas a e b, existem outros tipos, como a clorofilas c, d, e f, que são encontradas em diferentes organismos fotossintéticos, como algas e cianobactérias. Essas variantes permitem a adaptação dos organismos a diferentes ambientes aquáticos e níveis de luz, o que demonstra a versatilidade e adaptabilidade dos mecanismos de fotossíntese (Martins *et al.*, 2023). A clorofila d, por exemplo, foi descoberta em cianobactérias que habitam em ambientes marinhos, onde a luz vermelha é limitada, e permite a utilização de comprimentos de onda de luz que não são acessíveis às clorofilas a e b (Kiang *et al.*, 2022).

Do ponto de vista químico, a estrutura das clorofilas é composta por um anel de porfirina central que contém um átomo de magnésio, o que é essencial para a captura de luz. Este anel é ligado a uma longa cadeia hidrocarbonada, que confere à molécula propriedades lipofílicas, permitindo a sua inserção nas membranas dos tilacoides nos cloroplastos. A interação com outras proteínas e pigmentos dentro do complexo fotossintético facilita a transferência eficiente de energia, permitindo uma fotossíntese eficaz e bem regulada (Blankenship, 2021)

Além do papel vital na fotossíntese, as clorofilas também apresentam outras funções. Derivados de clorofila podem atuar como antioxidantes e têm sido explorados pelos seus potenciais benefícios para a saúde humana. Os compostos derivados da clorofila podem ajudar na neutralização de radicais livres, oferecendo proteção contra o stresse oxidativo e danos celulares, o que tem levado ao aumento do interesse por suplementos e produtos à base deste pigmento para promover a saúde e o bem-estar (Al-Tameemi *et al.*, 2022).

Na indústria, as clorofilas são amplamente utilizadas como corantes naturais (aditivos E140 e E141), substituindo os corantes artificiais (Silva *et al.*, 2022). Além disso, o uso de clorofilas como corantes é vantajoso não apenas por serem naturais, mas também pela sua atividade antioxidante, que pode contribuir para a preservação de produtos processados (Al-Tameemi *et al.*, 2022).

A investigação contínua sobre as clorofilas e seus derivados aponta para novas aplicações industriais e médicas. Estudos recentes focam-se no uso de derivados de clorofila para terapias fotodinâmicas, um método promissor para o tratamento de certos tipos de cancro e infeções, utilizando a capacidade dessas moléculas de neutralizar espécies reativas de oxigénio (EROs) (Abrahamse *et al.*, 2016; Heo *et al.*, 2023; Aebisher *et al.*, 2024). Este tipo de aplicação ilustra o potencial vasto e diversificado das clorofilas, para além do seu papel tradicional na fotossíntese.

2.2 Espécies invasoras

Estudos recentes sugerem que as plantas invasoras têm impactos profundos na biodiversidade local, alterando a estrutura dos ecossistemas e competindo pelos recursos disponíveis com as espécies nativas (Kueffer *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2021).

Em Portugal continental, várias espécies exóticas têm mostrado comportamento invasor, ainda que algumas sejam invasivas apenas em certas regiões específicas. Estas espécies estão bem documentadas em relação às suas origens, datas e razões de introdução, diversidade taxonómica e habitats onde se estabeleceram (Anastacio *et al.*, 2019). A introdução de muitas dessas plantas ocorreu devido a práticas de jardinagem ornamental, agricultura e florestação, especialmente durante os séculos XIX e XX (Almeida e Freitas, 2001).

Ao longo dos últimos dois séculos, e especialmente nas últimas décadas, o número de espécies de plantas exóticas em Portugal continental aumentou significativamente. Atualmente, existem registadas mais de 670 espécies de plantas exóticas, o que representa cerca de 15% da flora local (Almeida *et al.*, 2001; Nunes *et al.*, 2019). Este aumento é um reflexo das trocas comerciais globais e da introdução intencional de plantas ornamentais que escaparam ao controlo e se estabeleceram na natureza (Hulme, 2021). A situação nos arquipélagos portugueses é ainda mais preocupante. Na Madeira e nas ilhas Selvagens, há registo de cerca de 430 espécies exóticas, representando aproximadamente 43% da flora vascular do arquipélago (Borges *et al.*, 2008; Flor *et al.*, 2021). A elevada diversidade de habitats e a insularidade tornam estas regiões mais vulneráveis à invasão de espécies exóticas, com implicações significativas para a flora nativa.

Nos Açores, o problema é ainda mais acentuado. Das aproximadamente 1.000 espécies de plantas vasculares presentes, cerca de 60% são consideradas exóticas (Silva *et al.*, 2005). Esta proporção elevada é uma consequência direta de séculos de introdução de espécies para agricultura, ornamentação e florestação (Borges *et al.*, 2020).

O comportamento invasor dessas plantas varia significativamente consoante as condições ambientais locais, como tipo de solo, clima e presença de distúrbios ecológicos. Isso explica por que algumas espécies são invasoras em certas regiões e não noutras, mesmo dentro do mesmo país (DeBerry *et al.*, 2024). Estudos recentes destacam a necessidade de monitorizar essas espécies e implementar estratégias de gestão que controlem a sua

propagação e mitiguem os impactos na biodiversidade local (Gillingham *et al.*, 2024; Sesay *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024).

No ano de 1999, a lei portuguesa reconheceu a seriedade desta questão através do Decreto-Lei no 565/99, de 21 de dezembro. Este regulamentou pela primeira vez, de maneira ampla, a introdução de espécies não-indígenas (exóticas) na natureza, identificando aproximadamente 30 espécies de plantas como invasoras. No ano de 2019, o decreto precedente foi anulado e substituído pelo Decreto-Lei n.º 92/2019, de 10 de julho, que identifica mais de 200 espécies de plantas exóticas como invasoras em Portugal Continental e na Madeira. Este regulamento veda a posse, o cultivo, a produção e a venda de espécies tidas como invasoras e de perigo ecológico, estando a introdução de novas espécies dependente de autorização (com algumas exceções).

O efeito das plantas invasoras nos ecossistemas é uma das principais razões para a diminuição da biodiversidade global, particularmente em alguns grandes focos de perda de biodiversidade claramente identificados (Kueffer *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2021). É crucial compreender o seu potencial de invasão para elaborar estratégias de controlo e evitar novas invasões, especialmente em cenários adversos causados pelas mudanças climáticas.

Entre as espécies invasoras mais conhecidas estão a acácia (*Acacia dealbata*), a erva-das-pampas (*Cortaderia selloana*) e o jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes*), que foram introduzidas inicialmente por motivos ornamentais, mas acabaram por se expandir para além dos locais de cultivo, invadindo ecossistemas naturais e seminaturais (Nunes *et al.*, 2019). A acácia, por exemplo, é particularmente problemática devido à sua capacidade de adaptação e rápida propagação, o que lhe permite dominar habitats diversos, competindo diretamente com espécies nativas (Vieites-Blanco *et al.*, 2020).

De acordo com (Simões, 2015), a *Acacia dealbata*, popularmente conhecida como mimosa, destaca-se em Portugal pela sua notável capacidade de invasão, principalmente devido a três fatores: alta produção de sementes, elevada taxa de germinação (superior a 70%) e rápido crescimento aliado a uma forte habilidade alelopática. Esta última permite que a espécie liberte substâncias químicas que inibem o crescimento de outras plantas ao seu redor, dando-lhe uma vantagem competitiva significativa.

O impacto ecológico da *Acacia dealbata* é particularmente grave em regiões que abrigam espécies florestais nativas e habitats protegidos. Para além dos danos ecológicos, a

expansão das populações de acácias tem consequências económicas significativas (Richardson *et al.*, 2023).

Quando estas espécies invasoras proliferam em áreas adjacentes a plantações agrícolas, interferem diretamente na germinação e crescimento de culturas alimentares, causando prejuízos aos agricultores. A presença de acácias em terrenos agrícolas pode dificultar a manutenção das plantações e aumentar os custos associados ao controlo e erradicação dessas plantas invasoras (Nunes *et al.*, 2021). Além disso, a sua proliferação é também observada em áreas públicas, parques urbanos e locais de recreio, afetando negativamente o uso e o valor desses espaços para as comunidades locais (Ngorima *et al.*, 2019; Raposo *et al.*, 2021).

2.2.1 Austrália (*Acácia melanoxylon*)

A *Acacia melanoxylon* (Figura 1) conhecida como austrália, é uma espécie nativa da Austrália, presente em diversas regiões costeiras e montanhosas do sudeste do país, incluindo Victoria, Tasmânia e Nova Gales do Sul. Esta árvore de médio a grande porte desempenha um papel fundamental na ecologia das florestas australianas, formando parte importante do sub-bosque e contribuindo para a regeneração de ecossistemas após distúrbios naturais como incêndios (Cabi, 2019b).



Figura 1. Morfologia das partes aéreas da *Acacia melanoxylon*.

É conhecida pela sua capacidade de fixação de azoto, uma característica que enriquece o solo e apoia a diversidade de plantas nas florestas. Essa função ecológica é crucial, especialmente em solos pobres em nutrientes, onde esta acácia promove o crescimento de outras espécies vegetais, ajudando na recuperação de áreas degradadas (Arán *et al.*, 2017).

Além disso, a sua resistência a condições adversas permite que prospere em ambientes variados, desde florestas húmidas até áreas de menor precipitação (Kiptoo *et al.*, 2024). A madeira desta espécie é amplamente valorizada pela sua durabilidade e beleza estética, o que a torna popular na produção de móveis de alta qualidade e instrumentos musicais. Esta procura incentivou práticas de manuseamento sustentável na Austrália, que visam equilibrar a exploração comercial da espécie com a conservação dos seus habitats naturais (Gibson *et al.*, 2020; da Costa *et al.*, 2022). A Austrália tornou-se uma espécie invasora em várias regiões onde foi introduzida, como na Nova Zelândia, África do Sul e partes da Europa. Fora do seu habitat natural, esta espécie apresenta uma rápida taxa de crescimento e adaptação, o que a torna competitiva em ecossistemas locais (Arán *et al.*, 2017). No que toca à caracterização química desta espécie, alguns estudos reportaram alguns compostos bioativos nas flores, tais como quercetina-3-D-galactosídeo dihidroflavonoides, leucoantocianidinas e acamelina (uma furanoquinona) (Correia *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2021).

2.2.2 Mimosa (*Acácia dealbata*)

A *Acacia dealbata* (Figura 2), conhecida como mimosa ou acácia-prateada, é uma árvore originária do sudeste da Austrália e da Tasmânia. Esta espécie foi introduzida em diversas regiões do mundo, incluindo a Europa, África do Sul, Nova Zelândia, Estados Unidos, Ásia, América do Sul e Madagáscar, onde frequentemente apresenta comportamento invasor (Cabi, 2019a).



Figura 2. Morfologia das partes aéreas da *Acacia dealbata*.

É uma árvore de grande porte que pode atingir entre 2 e 30 metros de altura. A sua casca varia do cinzento a cinzento-escuro, e as folhas bipinadas apresentam uma coloração que vai do verde-prateado ao verde-escuro, sendo densamente peludas. As flores são amarelas ou douradas e surgem em grande quantidade, enquanto as vagens variam do azul-acinzentado ao castanho-avermelhado, contendo sementes pretas que podem permanecer viáveis no solo durante muitos anos (Cabi, 2019a; Dessì *et al.*, 2021). Esta capacidade de formar bancos de sementes persistentes torna a espécie extremamente resiliente e difícil de controlar, já que as sementes podem germinar após longos períodos de dormência (Raposo *et al.*, 2021).

A mimosa reproduz-se tanto por dispersão de sementes quanto por multiplicação vegetativa, com capacidade de rebrotar após distúrbios como incêndios, cortes ou geadas. Esta característica, aliada à produção de um grande número de sementes viáveis, contribui para a sua capacidade de expansão e colonização de novas áreas (Nunes *et al.*, 2021). Embora prefira solos húmidos, é também tolerante a condições mais secas, ventos fortes, geadas moderadas e até neve, suportando temperaturas de até -7°C . Em situações de seca severa, a espécie adapta-se, crescendo na forma de arbustos, mantendo ainda assim uma alta capacidade de invasão, especialmente após incêndios (Cabi, 2019a).

A capacidade invasora da mimosa deve-se a várias características adaptativas. A árvore é capaz de crescer rapidamente em solos pobres e ácidos, graças à sua associação simbiótica com bactérias do género *Rhizobium*, que lhe permite fixar nitrogénio e melhorar a fertilidade do solo (Raposo *et al.*, 2021). Esta capacidade facilita a colonização de áreas degradadas, onde outras plantas nativas poderiam ter dificuldade em prosperar (Marchante *et al.*, 2023). Além disso, a mimosa produz grandes quantidades de sementes viáveis, que são eficazmente dispersas por formigas, pássaros e correntes de água, acumulando-se no solo e permanecendo viáveis durante décadas. A planta é ainda capaz de autopolinização, o que aumenta as suas oportunidades de reprodução (Colaço *et al.*, 2023).

O controlo da mimosa tem sido um desafio em várias regiões, dado o seu comportamento invasor. Uma das estratégias mais comuns para reduzir os bancos de sementes inclui o uso de fogo controlado, que pode destruir as sementes presentes na superfície do solo e prevenir a germinação massiva. No entanto, esta abordagem precisa ser cuidadosamente gerida para evitar a propagação do fogo e possíveis impactos ecológicos negativos (Pauchard *et al.*, 2023). A expansão da espécie é limitada em áreas com solos neutro-

básicos, geadas frequentes e baixa precipitação, que dificultam o seu crescimento e propagação (Raposo *et al.*, 2021).

Em Portugal, a mimosa foi introduzida no final do século XIX, e desde então tem-se espalhado rapidamente, ocupando cerca de 2500 hectares em 1975. Esta expansão é atribuída à sua adaptabilidade e capacidade de colonizar novos habitats (Colaço *et al.*, 2023; Pauchard *et al.*, 2023)

Em Portugal e Espanha, a invasão desta espécie ocorre principalmente em maquis mediterrânicos e sistemas dunares, tanto em áreas com floresta como sem floresta, ao longo da costa atlântica. A expansão desta espécie não se limita a áreas naturais; também coloniza vertentes de autoestradas e terrenos baldios em zonas urbanas, intensificando os impactos ambientais e alterando drasticamente os ecossistemas (Lazzaro *et al.*, 2014).

A mimosa causa impactos significativos na biodiversidade local, alterando a estrutura e composição dos ecossistemas invadidos. Em Portugal, a sua presença compete diretamente com espécies nativas, reduzindo a diversidade de flora e alterando a dinâmica do solo e dos recursos hídricos. Além disso, esta espécie aumenta o risco de incêndios devido à elevada acumulação de biomassa seca, representando também um problema económico para setores como a agricultura e a gestão florestal (Vieites-Blanco *et al.*, 2020).

A análise fitoquímica de diferentes órgãos vegetais da *A. dealbata* revelou a presença de diversos compostos bioativos, entre os quais flavonoides, alcaloides, taninos e ácidos fenólicos (Correia *et al.*, 2022). Segundo Casas *et al.* (2020), o extrato etanólico bruto da flor da mimosa contém 27% de compostos fenólicos, contudo ainda não existem registos sobre a composição de pigmentos naturais nas flores da mimosa.

2.2.3 Maia (*Cytisus striatus*)

Cytisus striatus (Figura 3), conhecido popularmente como giesta-amarela, giesta-das-serras ou maias, pertence à família Fabaceae e é nativo da Península Ibérica e do norte de Marrocos. Este arbusto perene é amplamente utilizado na medicina tradicional devido às suas propriedades anti-inflamatórias (Caramelo *et al.*, 2022).



Figura 3. Morfologia das partes aéreas da *Cytisus striatus*.

Tradicionalmente, são feitas infusões a partir das suas flores para tratar condições como gota, distúrbios reumáticos, hipotensão, insuficiência cardíaca, dores musculares e articulares, e até problemas hepáticos (Ferreira-Sousa *et al.*, 2024).

Além do seu valor medicinal, as maias têm sido utilizadas para fins práticos, como o fabrico de cama para animais e a melhoria do solo. No entanto, devido à sua capacidade de crescer em densos aglomerados e o acúmulo de biomassa, a espécie pode contribuir para o aumento do risco de incêndios florestais, uma preocupação crescente em regiões montanhosas de Portugal (Caramelo *et al.*, 2022). Em zonas como a Serra da Estrela, esta espécie ocupa áreas extensas, criando monoculturas que afetam a diversidade ecológica e aumentam a carga de material combustível, especialmente durante os meses de verão (Nunes, 2021).

Nos últimos anos, a investigação tem-se focado na possibilidade de utilizar a biomassa residual das maias para produção de energia, numa tentativa de reduzir o risco de incêndios ao mesmo tempo que se valoriza economicamente a espécie. A biomassa pode ser convertida em “pellets” de madeira e misturada com outras espécies, como o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), para uso em bioenergia (Nunes *et al.*, 2016). Esta abordagem permite não só uma gestão mais sustentável da vegetação, como também oferece uma solução para o problema da acumulação de biomassa em zonas rurais (Caramelo *et al.*, 2022).

As maias podem atingir uma altura máxima de três metros e a sua época de floração ocorre entre abril e junho. As tonalidades das flores variam entre o branco e o amarelo e, após o período de floração, transformam-se em frutos semelhantes a vagens de ervilha.

Em Portugal, esta espécie encontra-se disseminada por quase todo o território, com exceção do Sotavento e Barlavento algarvios, assim como na Serra da Arrábida. É comum observar a giesta nas margens de estradas rurais e montanhosas, junto a formações rochosas, escarpas e nas bordas das florestas, onde cresce espontaneamente e forma densos matagais (INature, 2024). As maias prosperam melhor em solos secos e arenosos, preferindo áreas com abundante luz solar. São altamente adaptáveis, podendo crescer numa ampla gama de valores de pH e texturas de solo. Estas plantas possuem um sistema radicular composto por uma raiz pivotante que pode ultrapassar 0,6 metros de profundidade, juntamente com raízes laterais superficiais e ramificadas. Aproximadamente 40% das sementes germinam logo após a dispersão, enquanto mais 25% germinam no segundo ano. Certos estímulos, como o fogo de baixa intensidade ou o transporte em cascalho, podem favorecer a germinação das sementes (Caramelo *et al.*, 2022).

Sendo uma leguminosa, as maias possuem a capacidade de absorver o azoto do ar e fixá-lo no solo, o que a torna uma planta ideal para a adubação natural. Na agricultura tradicional, era comum utilizar a giesta como adubo verde, sendo enterrada no solo antes da plantação de sementes para enriquecer o terreno com nutrientes essenciais. Em várias regiões de Portugal, esta Fabaceae é utilizada para fins medicinais por apresentar propriedades anti-inflamatórias. No entanto, a sua caracterização química, incluindo-se os pigmentos naturais, associada às propriedades biológicas da mesma, permanece desconhecida (INature, 2024).

2.2.4 Chorão da praia (*Carpobrotus edulis*)

Carpobrotus edulis (Figura 4), conhecida como chorão-da-praia, figo-da-rocha ou bálsamo, é uma planta suculenta originária da Península do Cabo, na África do Sul. Inicialmente introduzida na Europa como planta ornamental, também foi usada para estabilização de dunas e combate à erosão costeira. Adaptada ao clima mediterrâneo, especialmente em Portugal, a planta rapidamente se tornou invasora, desenvolvendo-se em vastas áreas e formando densos tapetes que suprimem o crescimento da vegetação nativa (Malan *et al.*, 2006; Professor, 2024).



Figura 4. Morfologia das partes aéreas da *Carpobrotus edulis*.

Os frutos do *C. edulis* são suculentos e contêm várias sementes, que são facilmente dispersas por animais que os consomem, facilitando a sua propagação e colonização de novos locais. Esta estratégia de dispersão é eficiente e contribui para a rápida expansão da planta em áreas onde foi introduzida (Chiuffo *et al.*, 2017; Professor, 2024). A planta é também frequentemente a primeira a colonizar locais que sofreram distúrbios, como áreas queimadas ou erodidas, aproveitando as condições para se estabelecer rapidamente e dominar o ecossistema (Campoy *et al.*, 2018).

Esta espécie é facilmente reconhecida pelas suas folhas carnudas e flores de cores vibrantes, que variam entre o rosa e o amarelo. Graças à sua tolerância a solos arenosos e à capacidade de armazenar água, o chorão da praia prospera em ambientes costeiros onde outras plantas enfrentam dificuldades (Campoy *et al.*, 2018). No entanto, estas mesmas características permitem que forme uma cobertura densa e intransponível, prejudicando a biodiversidade local ao competir com plantas nativas por luz, água e espaço (D'Antonio *et al.*, 2017).

As flores são solitárias e medem entre 8 e 10 cm de diâmetro. Os frutos são suculentos, com formato de ovo, e são comestíveis. Inicialmente verdes, tornam-se púrpura à medida que amadurecem e podem permanecer na planta durante vários meses. As sementes são extremamente pequenas, medindo apenas 1 mm, e apresentam coloração preta. A época de floração ocorre entre março e junho, período durante o qual a planta exhibe as suas características flores vistosas (Professor, 2024).

Em regiões onde se naturalizou, muitos exemplares de *Carpobrotus* são híbridos, apresentando uma diversidade notável de cores e tamanhos de flores. No caso específico de *C. edulis*, as flores variam entre amarelo e rosa, tornando-se mais intensas à medida que envelhecem. Esta variação, combinada com a capacidade de hibridização, contribui para a sua capacidade invasora, adaptando-se a diferentes ambientes e condições climáticas (Novoa *et al.*, 2023). Os extensos tapetes formados podem alterar a estrutura do solo, afetando a composição química e impedindo a regeneração de espécies nativas. A sua proliferação desenfreada também representa um problema para a gestão de dunas costeiras, visto que, embora ajude a estabilizar o solo, pode levar à perda de diversidade ecológica e alterar a dinâmica dos ecossistemas locais (Novoa *et al.*, 2020). Para além disso, esta espécie possui uma notável resistência a incêndios, uma característica resultante do seu elevado conteúdo de água e da sua capacidade de regeneração. Na sua região de origem, a África do Sul, esta planta é frequentemente utilizada como uma barreira natural para a proteção de residências contra incêndios, aproveitando-se dessa resistência para reduzir a propagação do fogo (Campoy *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2023). Em suma, o chorão da praia inicialmente introduzido para estabilizar dunas e combater a erosão, tornou-se uma espécie invasora altamente problemática em Portugal e outras regiões. Embora desempenhe um papel na proteção contra erosão, o impacto ecológico negativo desta planta nas dunas e áreas costeiras levanta a necessidade de estratégias de gestão adequadas para mitigar os seus efeitos e proteger os ecossistemas locais. As flores destacam-se como uma fonte promissora de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas, possuindo teores consideráveis de clorofila a e clorofila b, carotenoides, proantocianidinas e flavonoides (Neves *et al.*, 2021).

2.2.5 Capuchinha (*Tropaeolum majus*)

A *Tropaeolum majus* (Figura 5), popularmente conhecida como capuchinha, é uma planta herbácea anual nativa das regiões montanhosas da América do Sul, mais precisamente do Peru (Andrzejak *et al.*, 2024). Reconhecida pelas suas flores vistosas de tons vibrantes, como laranja, amarelo e vermelho, a capuchinha tem sido amplamente cultivada em jardins ornamentais e como planta comestível, devido às suas propriedades medicinais e culinárias (Faloni de Andrade *et al.*, 2022).



Figura 5. Morfologia das partes aéreas da *Tropaeolum majus*.

Esta planta apresenta caules ramificados e rastejantes que podem crescer até 3 metros de comprimento. As folhas são arredondadas, peltadas e longamente pecioladas, com nervuras radiais bem visíveis. A capuchinha floresce principalmente no verão, com flores solitárias e de cor brilhante, perfumadas e com formato característico, que atraem polinizadores, como abelhas e borboletas (Delmar *et al.*, 2021). A planta é conhecida pela sua resistência e facilidade de cultivo, adaptando-se a diversos tipos de solo, desde que bem drenados, e a locais com bastante luz solar (Dal'Rio *et al.*, 2022).

A capuchinha tem uma longa história de utilização na medicina tradicional, sendo valorizada pelas suas propriedades antibacterianas, antifúngicas e anti-inflamatórias. As suas flores e folhas são ricas em vitamina C e flavonoides, o que as torna adequadas para consumo em saladas e pratos frescos, além de serem usadas em infusões para o tratamento de infeções respiratórias e cutâneas (Bazytko *et al.*, 2013; Brondani *et al.*, 2016). O sabor levemente apimentado das flores também as torna populares na gastronomia, funcionando como ingrediente decorativo e nutritivo (Faloni de Andrade *et al.*, 2022).

Embora a capuchinha seja amplamente cultivada como planta ornamental e comestível, em algumas regiões fora do seu habitat natural pode tornar-se invasora, especialmente em áreas de clima temperado e subtropical. A sua capacidade de adaptação e rápido crescimento pode levar à competição com espécies nativas, especialmente em habitats frágeis, como zonas ribeirinhas e jardins florestais. No entanto, a sua proliferação é geralmente controlada através de boas práticas de jardinagem (Klimek-Szczykutowicz *et al.*, 2018).

Em síntese, a capuchinha amplamente apreciada tanto pelas suas qualidades ornamentais, quanto medicinais e culinárias, destaca-se pela sua versatilidade e facilidade de cultivo. No que toca à caracterização química das flores, Bawazeer *et al.* (2021) descreveram a presença de carotenoides (zeaxantina, luteína e caroteno), antocianinas (delfinidina, cianidina, e derivados da pelargonidina), flavonoides (glicosídeos de quercetina e kaempferol), compostos de enxofre (glicotropaeolina), ácidos fenólicos (ácido clorogénico), cucur-bitacinas e vitamina C.

2.3 Pigmentos naturais com potenciais aplicações farmacêuticas

Os pigmentos naturais são compostos bioativos extraídos de plantas, algas, fungos e outros organismos, com importantes propriedades terapêuticas e potenciais aplicações na indústria farmacêutica (Di Salvo *et al.*, 2023). Entre os mais conhecidos estão os carotenoides, flavonoides, antocianinas, clorofilas e betalaínas, todos reconhecidos pelo seu papel antioxidante, anti-inflamatório e anticancerígeno, além de outras propriedades benéficas para a saúde humana (Magalhaes *et al.*, 2024).

Os carotenoides são amplamente estudados pelos seus efeitos na saúde ocular e na prevenção de doenças degenerativas (Nabi *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023). A luteína e a zeaxantina têm sido associadas à prevenção da degeneração macular relacionada com a idade (Mrowicka *et al.*, 2022). Além disso, o β -caroteno, precursor da vitamina A, desempenha um papel importante no sistema imunológico e na saúde da pele (Huang *et al.*, 2018).

No que toca aos flavonoides, estes compostos são comumente reconhecidos pelos seus efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios. De entre este grupo, as antocianinas têm mostrado potencial na redução do risco de doenças cardiovasculares e certos tipos neoplasias, devido à sua capacidade de neutralizar os radicais livres e prevenção de desenvolvimento de processos inflamatórios (Nabi *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023).

As clorofilas também têm demonstrado propriedades interessantes no campo da saúde. Estudos sugerem que estes compostos possuem atividades desintoxicantes, ajudando a remover substâncias tóxicas do organismo (Al-Tameemi *et al.*, 2022). Além disso, a clorofila tem sido investigada pelo seu papel fulcral na cicatrização de feridas e no

tratamento de doenças inflamatórias crónicas (Abrahamse *et al.*, 2016; Heo *et al.*, 2023; Aebisher *et al.*, 2024).

Outros pigmentos naturais são as betalainas, encontradas em plantas como a beterraba, que conferem uma coloração vermelha e amarela e têm mostrado efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes e até anticarcinogênicos. Estas propriedades tornam-nas interessantes para o desenvolvimento de tratamentos farmacêuticos voltados para a redução do stress oxidativo e inflamação, fatores que contribuem para doenças crónicas como a diabetes e doenças cardíacas (Gengatharan *et al.*, 2015).

O estudo e aplicação de pigmentos naturais na indústria farmacêutica continuam a expandir-se, à medida que mais se descobre sobre os benefícios destes compostos para a saúde humana. Com as suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, os pigmentos naturais oferecem uma abordagem promissora para o desenvolvimento de novos fármacos e tratamentos preventivos.

III. Parte experimental

3.1 Objetivos

Portugal é um país que detém elevado número de espécies invasoras (670 identificadas), muitas delas subvalorizadas e, como tal, detentoras de conhecimento científico restrito. Por outro lado, sabe-se que, atualmente, um dos grandes desafios da Agenda 2030, assentam no conceito de uma economia verde, procurando desenvolver ingredientes e/ou produtos, a partir de biomassas naturais, subvalorizadas, isentas de toxicidade e de baixo custo. Assim, o principal objetivo deste trabalho visou valorizar o possível uso de plantas invasoras como mais-valia na produção de ingredientes inovadores de base tecnológica e, simultaneamente, permitir o equilíbrio da pegada ecológica. O recurso a estas espécies vegetais pode vir a responder a questões emergentes de sustentabilidade ambiental, social e económica, com principal enfoque na indústria farmacêutica.

3.1.1 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, primeiramente escolheram-se 5 espécies invasoras cujas sumidades floridas apresentavam coloração amarela e/ou laranja.

A determinação do teor de pigmentos naturais foi obtida através:

- Recolha das amostras (*Acacia dealbata*; *Acacia melanoxylon*; *Carpobrotus edulis*; *Cytisus striatus*; *Tropaeolum majus*) e preparação das mesmas;
- Quantificação dos teores de carotenoides e clorofilas recorrendo a um método espectrofotométrico, previamente validado (Vinha *et al.*, 2014);
- Quantificação do teor de compostos antociânicos totais por técnica espectrofotométrica, de acordo com a metodologia descrita por Vinha *et al.* (2022).

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Recolha e preparação das amostras

Todas as amostras foram colhidas frescas no distrito do Porto entre março e maio de 2024. As espécies *Acacia dealbata* e *Cytisus striatus* foram apanhadas na cidade de Penafiel (Latitude: 41.207, Longitude: -8.2856541° 12' 25" Norte, 8° 17' 8" Oeste); enquanto as espécies *Acacia melanoxylon*; *Carpobrotus edulis* e *Tropaeolum majus* foram colhidas na vila S. Felix da Marinha, cidade Vila Nova de Gaia (Latitude: 41° 1' 57.89" Norte (41.032748) Longitude: 8° 38' 46.05" Este (-8.646125)). A escolha dos locais baseou-se no mapa de distribuição de espécies invasoras consultado através do site flora.on, de acordo com a Figura 6.

Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras alocadas em Portugal
com potencial aplicação farmacêutica

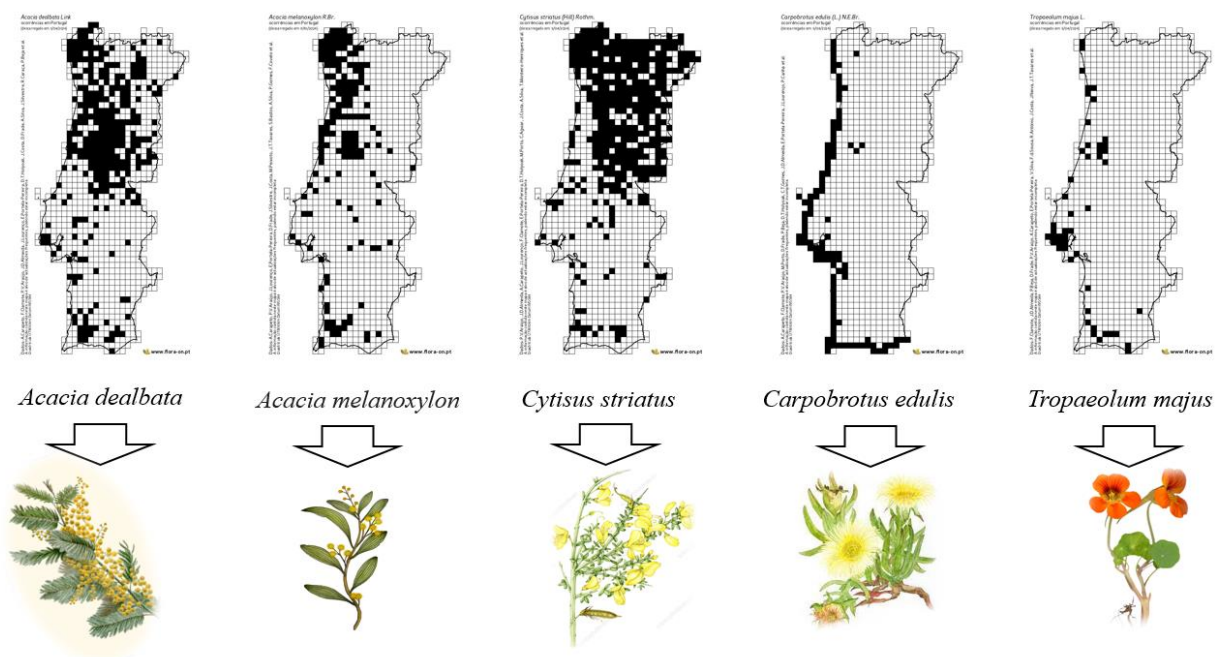


Figura 6. Espécies invasoras estudadas e respetiva distribuição geográfica em Portugal continental (adaptado de <https://www.flora-on.pt>).

Após a colheita, efetuou-se a preparação das amostras. Para cada espécie foram separadas as sumidades floridas, as quais foram, posteriormente, trituradas e embaladas em sacos hermeticamente selados e congeladas a -20°C .

3.2.2 Determinação de carotenoides e clorofilas

Os carotenoides e clorofilas foram quantificados por colorimetria, utilizando-se um espectrofotómetro de UV da marca Shimadzu, segundo procedimento validado por Vinha *et al.* (2014). Aproximadamente 0,5 g de cada amostra foram submetidas a um processo de extração com 10 mL de uma mistura de acetona-n-hexano (4:6, v/v). Após centrifugação (30 minutos a 5000 rpm) recolheu-se o sobrenadante para efetuar as leituras das absorvências a diferentes comprimentos de onda, de forma a quantificar os teores de clorofila a, clorofila b, licopeno e β -caroteno, segundo as equações:

- Clorofila a (mg/ g) = $0,999A_{663} - 0,0989A_{645}$
- Clorofila b (mg/ g) = $-0,328A_{663} + 1,77A_{645}$
- Licopeno (mg/ g) = $-0,0458A_{663} + 0,204A_{645} + 0,372A_{505} - 0,0806A_{453}$
- β -caroteno (mg/ g) = $0,216A_{663} - 1,22A_{645} - 0,304A_{505} + 0,452A_{453}$

3.2.3 Determinação de compostos antociânicos totais

Para efetuar a determinação do teor de compostos antociânicos por espectrofotometria foi necessário proceder-se à obtenção de um extrato. Assim, as amostras (~1 g) foram extraídas com 50 mL de uma solução hidroalcoólica (50:50, v/v), durante 1 h, a 40°C, em placa de aquecimento (Mirak, Thermolyse, EUA) sob agitação constante (600 rpm) (Costa *et al.*, 2014). Os extratos hidroalcoólicos obtidos foram, seguidamente, filtrados recorrendo a papel de filtro Whatman No. 1. A quantificação do teor de compostos antociânicos totais baseou-se num ensaio espectrofotométrico, através da preparação de soluções com diferente acidez, conforme metodologia descrita por Vinha *et al.* (2022). Resumidamente, duas soluções do mesmo extrato de cada flor foram preparadas da seguinte forma:

- i) 1 mL de amostra + 1 mL de etanol com 0,1% de HCl concentrado + 10 mL de solução tampão em pH ~ 3,5;
- ii) 1 mL de amostra + 1 mL de etanol com HCl concentrado a 0,1% + 10 mL de HCl a 2% (pH ~ 0,6).

As absorvâncias foram medidas a 520 nm e o teor de antocianinas total foi calculado pela fórmula seguinte:

- Antocianinas totais (mg/L) = 400 x (Absii - Absi)

Todos os ensaios foram efetuados em triplicado e os resultados obtidos expressos em média ± desvio padrão.

IV. Resultados e discussão

Desde os primórdios da civilização que os pigmentos foram utilizados em várias direções específicas, trazendo produtos manufacturados e sendo acrescentados no processamento de alimentos, medicamentos e cosméticos. Atualmente, esses produtos continuam a ser usados como corantes para manter ou intensificar a cor natural dos alimentos e para conferir uma aparência atrativa ou restaurar a cor perdida durante o armazenamento, tanto na indústria de cosméticos quanto em corantes para tecidos ou tintas (Sousa, 2022).

As antocianinas têm um papel significativo nas indústrias farmacêuticas, nutracêuticas, além de serem utilizadas como corantes, aromatizantes e conservantes de alimentos (Alappat *et al.*, 2020). São também reconhecidas pelas suas atividades antimicrobianas, anticancerígenas e antidiabéticas, além de serem potentes agentes antioxidantes e anti-inflamatórios (Cisowska *et al.*, 2010; Belwal *et al.*, 2017).

Os carotenoides têm exibição grande relevância como potenciais cosméticos. São amplamente utilizados como corantes naturais e antioxidantes, oferecendo proteção contra os efeitos dos raios UV na pele. Além disso, atuam como estabilizantes e conservadores em produtos cosméticos (Gil, 2023).

As clorofilas exibem especificidades como corantes naturais e estimulantes de crescimento tecidual, assim como, propriedades antioxidantes e desodorizantes (Pimentel *et al.*, 2017).

Considerando estes aspetos, foi realizado um estudo com uma abordagem experimental, com o objetivo de identificar e quantificar os pigmentos naturais presentes em plantas invasoras em Portugal. Este estudo estabelece uma relação entre as vantagens dos pigmentos encontrados nas espécies invasoras, como austrália, capuchinha, chorão-da-praia, maia e mimosa, e suas possíveis aplicações farmacêuticas.

Os resultados dos teores de clorofila a e b e do β -caroteno estão apresentados na Tabela 1. O teor de licopeno não foi reportado tendo em consideração a sua não deteção analítica.

Tabela 1. Teores de clorofilas e β -caroteno obtidos nas diferentes flores das espécies invasoras em estudo. Resultados expressos em mg/g por base húmida.

Espécie vegetal	Clorofila a	Clorofila b	β -caroteno
Austrália	0,0050 \pm 0,0001	0,0017 \pm 0,0005	0,0010 \pm 0,0002
Capuchinha	0,0024 \pm 0,0001	0,0012 \pm 0,0001	0,034 \pm 0,002
Chorão da praia	0,0004 \pm 0,1 $\times 10^{-5}$	0,0001 \pm 0,4 $\times 10^{-5}$	0,0047 \pm 0,0002
Maia	0,0015 \pm 0,0001	0,001 \pm 0,0002	0,017 \pm 0,002
Mimosa	0,071 \pm 0,003	0,0021 \pm 0,0001	0,0039 \pm 0,0001

Resultados expressos em média \pm desvio padrão (n = 3).

Mediante os resultados obtidos, a mimosa apresentou o maior teor de clorofila a (0,071 \pm 0,003 mg/g) e de clorofila b (0,0021 \pm 0,0001 mg/g), enquanto a capuchinha obteve o maior teor de β -caroteno (0,034 \pm 0,002 mg/g). O chorão da praia foi a espécie que apresentou menores teores de clorofila a (0,0004 \pm 0,1 $\times 10^{-5}$ mg/g) e de clorofila b (0,0001 \pm 0,4 $\times 10^{-5}$ mg/g), enquanto a austrália obteve o menor teor em β -caroteno (0,0010 \pm 0,0002 mg/g) o que é expectável porque o β -caroteno é cor de laranja, e a austrália possui a cor amarela, justificando assim a concentração baixa de β -caroteno na austrália.

Estudos demonstraram que a espécie capuchinha é uma fonte rica em luteína e β -caroteno (Borguini *et al.*, 2018), apresentando teores de β -caroteno superiores a algumas folhas de vegetais comumente consumidos (Niizu, 2003). Segundo Ebert *et al.* (2021) a capuchinha é uma fonte rica de carotenoides. Estes estudos vão de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, nomeadamente no teor de β -caroteno presente na capuchinha. A flor da austrália tem uma cor mais amarelada, facto que pode estar relacionado com os teores baixos de β -caroteno. Os teores de clorofila a e b encontrados na mimosa (0,071 e 0,0021 mg/g, respetivamente) são concordantes com outros autores (Kumar *et al.*, 2022). Da mesma forma, concentrações elevadas de clorofila a e b e baixos teores de β -caroteno foram reportados na austrália (Morais *et al.*, 2022).

Os resultados obtidos para o chorão da praia, maia e mimosa não foram comparados com outros estudos, porque até à data não existem dados sobre β -carotenos e clorofilas a e b.

As antocianinas também foram quantificadas nas 5 espécies estudadas. De facto, sabe-se que qualquer espécie vegetal pode sintetizar carotenoides e antocianinas em simultâneo. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de compostos antociânicos totais, obtidos nas diferentes sumidades floridas em estudo. Resultados expressos em mg/g.

Espécie vegetal	Antocianinas totais
Austrália	0,76±0,002
Capuchinha	0,70±0,003
Chorão da praia	0,38±0,003
Maia	0,198±0,002
Mimosa	1,57±0,02

Resultados expressos em média ± desvio padrão (n = 3).

Através da análise dos resultados obtidos, verificou-se que a maia foi a espécie que obteve menor teor de antocianinas (0,198± 0,002 mg/g), enquanto a mimosa obteve maiores teores (1,57±0,02 mg/g). A capuchinha e a austrália apresentaram teores semelhantes de antocianinas (0,70 e 0,76 mg/g, respetivamente) o que é interessante ao considerar que ambas as espécies têm características ambientais e adaptativas diferentes. Contudo, os teores obtidos destes pigmentos foram significativamente superiores aos observados no chorão da praia (0,38±0,003 mg/g).

De uma maneira geral, observa-se que a capuchinha foi a segunda espécie com maior teor de antocianinas totais entre os valores obtidos das amostras. Estes resultados estão em concordância com o estudo reportado por Souza *et al.* (2020), os quais reportaram que a capuchinha vermelha exercia elevada atividade antioxidante devido à presença de teores elevados de antocianinas, nomeadamente depelargonidina-3-glicosídeo. Já Lima *et al.* (2020) reportaram teores elevados de flavonoides totais na mimosa, contudo não especificaram as antocianinas.

A *Acacia* spp. tem sido alvo de muitos estudos, sendo os seus diferentes órgãos investigados como matérias-primas para a produção de extratos funcionais, os quais podem ser utilizados nas indústrias cosmética ou alimentar (Silva *et al.*, 2016; Vieira *et al.*, 2023). Existem várias publicações que relatam que as cascas, madeira, folhas, flores,

vagens, sementes ou raízes de *Acacia* spp. são órgãos vegetais com altos níveis de compostos bioativos (Pinto *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2018). Esta espécie é reconhecida como uma fonte natural rica em compostos bioativos, destacando-se os flavonoides (Abdel-Farid *et al.*, 2014). Em relação ao género *Acacia*, os extratos das flores já são aplicados na forma de hidrogéis em produtos de higiene pessoal, cosméticos ou farmacêuticos, além de perfumes que se baseiam nas suas propriedades antioxidantes e antiproliferativas (Casas *et al.*, 2019), reduzindo o stress oxidativo, uma condição fisiológica indeclinável em várias doenças degenerativas, incluindo doenças cardíacas diabetes e cancro (Jaiswal *et al.*, 2020).

Os metabolitos secundários da mimosa também detêm de propriedades antimicrobianas, considerando crucial na criação de opções terapêuticas, devido ao aumento da resistência aos agentes microbianos, e na utilização como aditivos alimentares (Abreu *et al.*, 2012). De acordo com o estudo realizado por Vieira (2023) a mimosa é rica em flavonoides e podem ser utilizadas como conservantes naturais.

Os corantes atualmente na indústria farmacêutica são muito importantes, logo este estudo visa potenciar o uso destas espécies com prováveis aplicações na indústria farmacêutica. Os pigmentos naturais têm atraído atenção à indústria farmacêutica e muitos estudos têm sido desenvolvidos no que toca à sua aplicação não só como corantes, como pelas suas propriedades biológicas. Por exemplo, a aplicação de clorofilas é comum em suplementos desintoxicantes, produtos para higiene oral, como colutório ou gomas de mascar, para ajudar a neutralizar odores e melhorar a saúde oral e em produtos cosméticos como máscaras faciais. A capuchinha também já é utilizada em tratamentos dermatológicos, nomeadamente, como cicatrizante cutâneo contra queimaduras solares e descamação do couro cabeludo (champô). Segundo Souza *et al.* (2020), a capuchinha também pode ser utilizada no tratamento contra a obesidade, apresentando capacidade anti-adipogénica.

V. Conclusão

As preocupações ecológicas desencadearam um aumento progressivo no desenvolvimento de materiais de origem natural e até biodegradável, com ênfase na procura de fontes alternativas de matérias-primas mais sustentáveis. Assim, um dos grandes desafios atuais, assentes no conceito de uma economia verde, passa por desenvolver ingredientes e/ou produtos, a partir de biomassas naturais, subvalorizadas, não-tóxicas e de baixo custo. Por outro lado, a tendência pelas cores dos produtos por parte dos consumidores em geral tem vindo a aumentar, particularmente na aplicação de corantes naturais com propriedades biológicas reconhecidas, o que incentiva a pesquisa de matérias-primas vegetais promissoras, incluindo-se espécies invasoras, assumindo-se como mais-valias na produção de produtos inovadores de base tecnológica e, simultaneamente, reduzindo a pegada ecológica.

As espécies invasoras *Acacia melanoxylon*, *Acacia dealbata*, *Cytisus striatus*, *Carpobrotus edulis* e *Tropaeolum majus* predominam em Portugal e a sua propagação pode ser controlada através da realização de estudos sobre a caracterização química das mesmas e, conseqüentemente, elaborar um plano de gestão para as suas possíveis aplicações. Tendo em consideração que a cor é um dos atributos mais importantes em produtos farmacêuticos, a obtenção de pigmentos naturais, tais como clorofilas, flavonoides e carotenoides, através destas matrizes vegetais pode ser uma alternativa sustentável para a indústria farmacêutica.

IV. Bibliografia

- Abdel-Farid, I. B., Sheded, M. G. e Mohamed, E. A. (2014). Metabolomic profiling and antioxidant activity of some Acacia species. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(5), pp. 400-408.
- Abrahamse, H. e Hamblin, M. R. (2016). New photosensitizers for photodynamic therapy. *Biochem J*, 473(4), pp. 347-364.
- Abreu, A. C., McBain, A. J. e Simoes, M. (2012). Plants as sources of new antimicrobials and resistance-modifying agents. *Nat Prod Rep*, 29(9), pp. 1007-1021.
- Academy, K. (2024). luz e pigmentos fotossintéticos [Em linha]. Disponível em <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>> [Consultado em 09/30/].
- Aebisher, D. *et al.* (2024). Photodynamic Therapy in the Treatment of Cancer-The Selection of Synthetic Photosensitizers. *Pharmaceuticals (Basel)*, 17(7), pp.
- Al-Tameemi, K., Nassour, R. e Hamad, A. (2022). The medical importance of chlorophylls and their derivatives pp.
- Alappat, B. e Alappat, J. (2020). Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. *Molecules*, 25(23), pp.
- Almagro, L. *et al.* (2022). Biotechnological production of beta-carotene using plant in vitro cultures. *Planta*, 256(2), pp. 41.
- Almeida, J. D. d. e Freitas, H. (2001). The exotic and invasive flora of Portugal. pp.
- Anastacio, P. M. *et al.* (2019). Non-native freshwater fauna in Portugal: A review. *Sci Total Environ*, 650(Pt 2), pp. 1923-1934.
- Andrzejak, R. *et al.* (2024). Flowering, Quality and Nutritional Status of *Tropaeolum majus* L. ‘Spitfire’ after Application of *Trichoderma* spp. *Sustainability*, 16(11), pp.
- Arán, D. *et al.* (2017). Understanding biological characteristics of *Acacia melanoxylon* in relation to fire to implement control measurements. *Annals of Forest Science*, 74(3), pp.
- Ardila-Leal, L. D. *et al.* (2021). A Brief History of Colour, the Environmental Impact of Synthetic Dyes and Removal by Using Laccases. *Molecules*, 26(13), pp.
- Ashique, S. *et al.* (2024). Blueberries in focus: Exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, pp.
- Azman, A.-S., Mawang, C.-I. e Abubakar, S. (2018). Bacterial Pigments: The Bioactivities and as an Alternative for Therapeutic Applications pp.
- Barreto, J. V. O. *et al.* (2023). Microbial Pigments: Major Groups and Industrial Applications. *Microorganisms*, 11(12), pp.
- Bas, T. G. (2024). Bioactivity and Bioavailability of Carotenoids Applied in Human Health: Technological Advances and Innovation. *Int J Mol Sci*, 25(14), pp.
- Bas, T. G. *et al.* (2021). Determinants of astaxanthin industrial-scale production under stress caused by light photoperiod management of *Haematococcus pluvialis* cultivation. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(5), pp. 725-738.
- Bazylo, A. *et al.* (2013). Comparison of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity and chemical composition of aqueous and hydroethanolic extracts of the herb of *Tropaeolum majus* L. *Industrial Crops and Products*, 50, pp. 88-94.
- Belwal, T. *et al.* (2017). Dietary Anthocyanins and Insulin Resistance: When Food Becomes a Medicine. *Nutrients*, 9(10), pp.

- Blankenship, R. E. (2021). *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*.
- Bohn, T. *et al.* (2021). Mechanistic aspects of carotenoid health benefits - where are we now? *Nutr Res Rev*, 34(2), pp. 276-302.
- Borges, P. A. V. *et al.* (2008). A biodiversidade terrestre e dulçaquícola dos arquipélagos da madeira e das selvagens. pp. 1/25.
- Borges, P. A. V. *et al.* (2020). The Azores Archipelago: Biodiversity Erosion and Conservation Biogeography. pp.
- Borguini *et al.* (2018). Flores de capuchinha: uma hortaliça não-convencional rica em carotenoides. pp. 1-5.
- Britton, G., Liaaen-Jensen, S. e Pfander, H. (2008). *Carotenoids*.
- Brondani, J. C. *et al.* (2016). Usos tradicionais, botânica, fitoquímica, atividade biológica e toxicologia de *Tropaeolum majus L.* - Uma revisão. pp.
- Burgiel *et al.* (2010). *Espécies invasoras, mudanças climáticas e adaptação baseada em ecossistemas: abordando múltiplos fatores de mudança global*.
- Cabi. (2019a). *Acacia dealbata* (acacia bernier) [Em linha]. Disponível em <<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.2207>> [Consultado em].
- Cabi. (2019b). *Acacia melanoxylon* (Australian blackwood) [Em linha]. Disponível em <<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.2329>> [Consultado em].
- Camara, J. S. *et al.* (2022). Behind the Scenes of Anthocyanins-From the Health Benefits to Potential Applications in Food, Pharmaceutical and Cosmetic Fields. *Nutrients*, 14(23), pp.
- Campestrini, L. H. *et al.* (2019). A new variety of purple tomato as a rich source of bioactive carotenoids and its potential health benefits. *Heliyon*, 5(11), pp. e02831.
- Campoy, J. G. *et al.* (2018). Monographs of invasive plants in Europe: Carpobrotus. *Botany Letters*, 165(3-4), pp. 440-475.
- Caramelo, D. *et al.* (2022). Potential Applications of the Cytisus Shrub Species: *Cytisus multiflorus*, *Cytisus scoparius*, and *Cytisus striatus*. *Processes*, 10(7), pp.
- Cardoso, B. (2024). A cor das plantas: muito mais que uma questão de estética [Em linha]. Disponível em <<https://plantaseplantas.com.br/flora/descubra-o-poder-das-cores-nas-plantas-e-surpreenda-se/>> [Consultado em 10/02/2024].
- Carle, R. e Schweiggert, R. M. (2016). *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial Applications*
- Casas, M. P. *et al.* (2019). Bioactive properties of *Acacia dealbata* flowers extracts. *Waste and Biomass Valorization*, 11(6), pp. 2549-2557.
- Chiuffo, M. C. *et al.* (2017). Still no evidence that pathogen accumulation can revert the impact of invasive plant species. *Biological Invasions*, 20(1), pp. 9-10.
- Cisowska, A., Wojnicz, D. e Hendrich, A. B. (2010). *Anthocyanins as Antimicrobial Agents of Natural Plant Origin*
- Colaço, M. C., Sequeira, A. C. e Skulska, I. (2023). Genus *Acacia* in Mainland Portugal: Knowledge and Experience of Stakeholders in Their Management. *Land*, 12(11), pp.
- Correia, R. *et al.* (2022). Chemical and Functional Characterization of Extracts from Leaves and Twigs of *Acacia dealbata*. *Processes*, 10(11), pp.
- Costa, A. C. *et al.* (2021). Non-indigenous and Invasive Freshwater Species on the Atlantic Islands of the Azores Archipelago. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, pp.

- Costa, A. S. G. *et al.* (2014). Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. *Industrial Crops and Products*, 53, pp. 350-357.
- Ćujić, N. *et al.* (2018). Characterization of dried chokeberry fruit extract and its chronic effects on blood pressure and oxidative stress in spontaneously hypertensive rats. *Journal of Functional Foods*, 44, pp. 330-339.
- D'Antonio, C., Flory, S. L. e Gibson, D. (2017). Long-term dynamics and impacts of plant invasions. *Journal of Ecology*, 105(6), pp. 1459-1461.
- da Costa, R. M. F. *et al.* (2022). Valorisation Potential of Invasive *Acacia dealbata*, *A. longifolia* and *A. melanoxylon* from Land Clearings. *Molecules*, 27(20), pp.
- Dal'Rio, I., Mateus, J. R. e Seldin, L. (2022). Unraveling the *Tropaeolum majus* L. (Nasturtium) Root-Associated Bacterial Community in Search of Potential Biofertilizers. *Microorganisms*, 10(3), pp.
- Darvin, M. E. *et al.* (2022). Carotenoids in Human Skin In Vivo: Antioxidant and Photo-Protectant Role against External and Internal Stressors. *Antioxidants (Basel)*, 11(8), pp.
- de Pascual-Teresa, S. e Sanchez-Ballesta, M. T. (2007). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), pp. 281-299.
- DeBerry, D. A. e Hunter, D. M. (2024). Impacts of Invasive Plants on Native Vegetation Communities in Wetland and Stream Mitigation. *Biology (Basel)*, 13(4), pp.
- Delmar, A. e Ruivo, M. (2021). Capuchinha [Em linha]. Disponível em <<https://arecoletora.com/capuchinha/>> [Consultado em 2024/09/].
- Dessi, L. *et al.* (2021). Seed Germination Ecophysiology of *Acacia dealbata* Link and *Acacia mearnsii* De Wild.: Two Invasive Species in the Mediterranean Basin. *Sustainability*, 13(21), pp.
- Dey, S. e Nagababu, B. H. (2022). Applications of food color and bio-preservatives in the food and its effect on the human health. *Food Chemistry Advances*, 1, pp.
- Di Salvo, E. *et al.* (2023). Natural Pigments Production and Their Application in Food, Health and Other Industries. *Nutrients*, 15(8), pp.
- Diaconeasa, Z. *et al.* (2020). Anthocyanins, Vibrant Color Pigments, and Their Role in Skin Cancer Prevention. *Biomedicines*, 8(9), pp.
- Dias, M. d. G. (2021). Carotenoides – origens, fontes e benefícios para a saúde.
- Ebrahimi, P. *et al.* (2023). Chlorophylls as Natural Bioactive Compounds Existing in Food By-Products: A Critical Review. *Plants (Basel)*, 12(7), pp.
- Enaru, B. *et al.* (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants (Basel)*, 10(12), pp.
- Faloni de Andrade, S. *et al.* (2022). Pilot study of unconventional food plant (UFP): adherence to nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) in the diet and monitoring of biometric and clinical indicators. *Journal Biomedical and Biopharmaceutical Research*, 19(2), pp. 299-313.
- Farhan, M. *et al.* (2023). Current Understanding of Flavonoids in Cancer Therapy and Prevention. *Metabolites*, 13(4), pp.
- Ferreira-Sousa, D. *et al.* (2024). Exploration of Polyphenols Extracted from Cytisus Plants and Their Potential Applications: A Review. *Antioxidants (Basel)*, 13(2), pp.
- Flor, A. *et al.* (2021). A vegetação de Portugal. pp.
- Galanakis, C. M. (2020). Carotenoids: Properties, Processing and Applications.

- Gengatharan, A., Dykes, G. A. e Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), pp. 645-649.
- Ghosh, P., Konar, A. e Chatterjee, S. (2023). *Papel dos pigmentos vegetais na saúde humana e no meio ambiente*.
- Ghosh, S. *et al.* (2022). Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. *Lwt*, 153, pp.
- Gibson, C. e Warren, A. (2020). Keeping time with trees: Climate change, forest resources, and experimental relations with the future. *Geoforum*, 108, pp. 325-337.
- Gil, C. F. (2023). Aplicações de Algas como Ingredientes Cosméticos pp.
- Gillingham, P. K. *et al.* (2024). Climate change adaptation for biodiversity in protected areas: An overview of actions. *Biological Conservation*, 289, pp.
- Hassanpour, S. H. e Doroudi, A. (2023). Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants. *Avicenna J Phytomed*, 13(4), pp. 354-376.
- Havas, F. *et al.* (2018). Preliminary Data on the Safety of Phytoene- and Phytofluene-Rich Products for Human Use including Topical Application. *J Toxicol*, 2018, pp. 5475784.
- Heo, S. Y. *et al.* (2023). Anti-Cancer Effect of Chlorophyllin-Assisted Photodynamic Therapy to Induce Apoptosis through Oxidative Stress on Human Cervical Cancer. *Int J Mol Sci*, 24(14), pp.
- Huang, Z. *et al.* (2018). Role of Vitamin A in the Immune System. *J Clin Med*, 7(9), pp.
- Hulme, P. E. (2021). Unwelcome exchange: International trade as a direct and indirect driver of biological invasions worldwide. *One Earth*, 4(5), pp. 666-679.
- INature. (2024). Giesta, o canivete suíço dos arbustos [Em linha]. Disponível em <<https://inature.pt/inature/noticias/noticia/?nid=giesta-o-que-e>> [Consultado em 2024/10/].
- Jaiswal, Y. S. *et al.* (2020). *Anthocyanins: Natural Sources and Traditional Therapeutic Uses*.
- Jones, V. L. e Grenz, J. (2023). A review of the impacts and management of invasive plants in forestry. *CABI Reviews*, pp.
- Khoo, H. E. *et al.* (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutr Res*, 61(1), pp. 1361779.
- Kiang, N. Y. *et al.* (2022). Discovery of Chlorophyll d: Isolation and Characterization of a Far-Red Cyanobacterium from the Original Site of Manning and Strain (1943) at Moss Beach, California. *Microorganisms*, 10(4), pp.
- Kiptoo, T. K., Kiyiapi, J. L. e Sang, F. K. (2024). Invasive *Acacia melanoxylon* Impedes Growth of Commercial Tree Species in the Adjoining Forest Stands in Nabkoi and Timboroa Forest (Kenya). pp.
- Klimek-Szczykutowicz, M., Szopa, A. e Ekiert, H. (2018). Chemical composition, traditional and professional use in medicine, application in environmental protection, position in food and cosmetics industries, and biotechnological studies of *Nasturtium officinale* (watercress) - a review. *Fitoterapia*, 129, pp. 283-292.
- Kueffer, C., Pysek, P. e Richardson, D. M. (2013). Integrative invasion science: model systems, multi-site studies, focused meta-analysis and invasion syndromes. *New Phytol*, 200(3), pp. 615-633.

- Kumar, D. *et al.* (2022). Physiological Performance of *Mimosa pudica* L. under Different Light Quality and Photoperiods. *Physiologia*, 2(4), pp. 132-153.
- Kupriyanov, A. *et al.* (2021). Invasive plant species and the consequences of its prevalence in biodiversity. *BIO Web of Conferences*, 31, pp.
- Lazzaro, L. *et al.* (2014). Soil and plant changing after invasion: the case of *Acacia dealbata* in a Mediterranean ecosystem. *Sci Total Environ*, 497-498, pp. 491-498.
- Lichtenthaler, H. (1987). *Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes*.
- Lin, H. Y., Chang, T. C. e Chang, S. T. (2018). A review of antioxidant and pharmacological properties of phenolic compounds in *Acacia confusa*. *J Tradit Complement Med*, 8(4), pp. 443-450.
- Lu, X. *et al.* (2023). Progress on the Extraction, Separation, Biological Activity, and Delivery of Natural Plant Pigments. *Molecules*, 28(14), pp.
- Magalhaes, D. *et al.* (2024). Natural Pigments Recovery from Food By-Products: Health Benefits towards the Food Industry. *Foods*, 13(14), pp.
- Malan, C. e Notten, A. (2006). *Carpobrotus edulis* (L.) L. Bolus [Em linha]. Disponível em <<https://pza.sanbi.org/carpobrotus-edulis>> [Consultado em 2024/10/].
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *J Nat Med*, 74(1), pp. 1-16.
- Marchante, E. *et al.* (2023). Management of Invasive Australian *Acacia* Species in the Iberian Peninsula. pp.
- Martins, T. *et al.* (2023). Enhancing Health Benefits through Chlorophylls and Chlorophyll-Rich Agro-Food: A Comprehensive Review. *Molecules*, 28(14), pp.
- Mattioli, R. *et al.* (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25(17), pp.
- Milani, A. *et al.* (2017). Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. *Br J Pharmacol*, 174(11), pp. 1290-1324.
- Molina, A. K. *et al.* (2023). Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications. *Molecules*, 28(3), pp.
- Morais, M. C., Cabral, J. A. e Gonçalves, B. (2022). Seasonal Variation in Selected Biochemical Traits in the Leaves of Co-Occurring Invasive and Native Plant Species under Mediterranean Conditions. *Plants*, 11(9), pp.
- Mrowicka, M. *et al.* (2022). Lutein and Zeaxanthin and Their Roles in Age-Related Macular Degeneration-Neurodegenerative Disease. *Nutrients*, 14(4), pp.
- Mussagy, C. U. *et al.* (2019). Production and extraction of carotenoids produced by microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol*, 103(3), pp. 1095-1114.
- Nabi, B. G. *et al.* (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. *Food Bioscience*, 52, pp.
- Naselli-Flores, L. e Padisak, J. (2023). Ecosystem services provided by marine and freshwater phytoplankton. *Hydrobiologia*, 850(12-13), pp. 2691-2706.
- Ngorima, A. e Shackleton, C. M. (2019). Livelihood benefits and costs from an invasive alien tree (*Acacia dealbata*) to rural communities in the Eastern Cape, South Africa. *J Environ Manage*, 229, pp. 158-165.
- Niizu, P. Y. (2003). Fontes de carotenóides importantes para a saúde humana. pp.
- Novoa, A. *et al.* (2023). Genetic and morphological insights into the *Carpobrotus* hybrid complex around the world. *NeoBiota*, 89, pp. 135-160.

- Novoa, A. *et al.* (2020). Urbanization and *Carpobrotus edulis* invasion alter the diversity and composition of soil bacterial communities in coastal areas. *FEMS Microbiol Ecol*, 96(7), pp.
- Nunes, L. J. R. (2021). Characterization of *Cytisus striatus* (Hill) Rothm.: Waste Biomass Energy Recovery as a Measure to Reduce the Risk of Rural Fires. *Recycling*, 6(2), pp.
- Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O. e Catalão, J. P. S. (2016). Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy*, 85, pp. 1011-1016.
- Nunes, L. J. R. *et al.* (2019). Historical Development of the Portuguese Forest: The Introduction of Invasive Species. *Forests*, 10(11), pp.
- Nunes, L. J. R. *et al.* (2021). The Impact of Rural Fires on the Development of Invasive Species: Analysis of a Case Study with *Acacia dealbata* Link. in Casal do Rei (Seia, Portugal). *Environments*, 8(5), pp.
- Pauchard, A. *et al.* (2023). *History, Patterns and Impacts of Invasive Australian Acacia Species in South America: The Case of Brazil and Chile.*
- Pereira, C. G., Neng, N. R. e Custodio, L. (2023). From Threat to Opportunity: Harnessing the Invasive *Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br for Nutritional and Phytotherapeutic Valorization Amid Seasonal and Spatial Variability. *Mar Drugs*, 21(8), pp.
- Pimentel, F. *et al.* (2017). Macroalgae-Derived Ingredients for Cosmetic Industry—An Update. *Cosmetics*, 5(1), pp.
- Pinto, F., Silva, F. e Barbosa, A. (2016). Evaluation of Haemolytic Activity of Leaves from *Acacia podalyriifolia*. *European Journal of Medicinal Plants*, 17(1), pp. 1-5.
- Professor, C. D. A. (2024). Global Invasive Species Database [Em linha]. [Consultado em 2024/09/].
- Quian-Ulloa, R. e Stange, C. (2021). Carotenoid Biosynthesis and Plastid Development in Plants: The Role of Light. *Int J Mol Sci*, 22(3), pp.
- Raposo, M. A. M., Pinto Gomes, C. J. e Nunes, L. J. R. (2021). Evaluation of Species Invasiveness: A Case Study with *Acacia dealbata* Link. on the Slopes of Cabeça (Seia-Portugal). *Sustainability*, 13(20), pp.
- Richardson, D. M., Roux, J. J. L. e Marchante, E. (2023). *Australian Acacia Species Around the World.*
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, pp. 20-26.
- Roy, A. *et al.* (2022). Flavonoids a Bioactive Compound from Medicinal Plants and Its Therapeutic Applications. *Biomed Res Int*, 2022, pp. 5445291.
- Rutz, J. K. *et al.* (2016). Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. *Food Chem*, 202, pp. 324-333.
- Sesay, R. E. V. *et al.* (2024). Invasive Species and Biodiversity: Mechanisms, Impacts, and Strategic Management for Ecological Preservation. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 23(9), pp. 82-95.
- Shi, L. *et al.* (2023). Environmental Stimuli and Phytohormones in Anthocyanin Biosynthesis: A Comprehensive Review. *Int J Mol Sci*, 24(22), pp.
- Sieminska-Kuczer, A., Szymanska-Chargot, M. e Zdunek, A. (2022). Recent advances in interactions between polyphenols and plant cell wall polysaccharides as studied using an adsorption technique. *Food Chem*, 373(Pt B), pp. 131487.
- Sigurdson, G. T., Tang, P. e Giusti, M. M. (2017). Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. *Annu Rev Food Sci Technol*, 8, pp. 261-280.

- Silva, E. *et al.* (2016). Antimicrobial activity of aqueous, ethanolic and methanolic leaf extracts from acacia spp. And Eucalyptus nicholii. pp.
- Silva, L. *et al.* (2024). *As invasões biológicas em portugal*
- Silva, L. e Smith, C. W. (2005). A Quantitative Approach to the Study of Non-indigenous Plants: An Example from the Azores Archipelago. *Biodiversity & Conservation*, 15(5), pp. 1661-1679.
- Silva, M. M., Reboredo, F. H. e Lidon, F. C. (2022). Food Colour Additives: A Synoptical Overview on Their Chemical Properties, Applications in Food Products, and Health Side Effects. *Foods*, 11(3), pp.
- Simkin, A. J. *et al.* (2022). The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. *Photosynth Res*, 152(1), pp. 23-42.
- Simões, C. A. d. C. P. (2015). A Degradação da Paisagem e a sua Perceção Após Invasão pela Espécie *Acacia dealbata* Link.: O Caso da Região do Alto Ceira. pp.
- Singh, T. *et al.* (2023). Natural bio-colorant and pigments: Sources and applications in food processing. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, pp.
- Sousa, C. (2022). Anthocyanins, Carotenoids and Chlorophylls in Edible Plant Leaves Unveiled by Tandem Mass Spectrometry. *Foods*, 11(13), pp.
- Stavenga, D. G. *et al.* (2020). Coloration of Flowers by Flavonoids and Consequences of pH Dependent Absorption. *Front Plant Sci*, 11, pp. 600124.
- Szulc, A. *et al.* (2024). Effectiveness of Flavonoid-Rich Diet in Alleviating Symptoms of Neurodegenerative Diseases. *Foods*, 13(12), pp.
- Taiz, L. *et al.* (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates, Incorporated, Publishers.
- Tamaki, S., Mochida, K. e Suzuki, K. (2021). Diverse Biosynthetic Pathways and Protective Functions against Environmental Stress of Antioxidants in Microalgae. *Plants (Basel)*, 10(6), pp.
- Tan, B. L. e Norhaizan, M. E. (2019). Carotenoids: How Effective Are They to Prevent Age-Related Diseases? *Molecules*, 24(9), pp.
- Ullah, A. *et al.* (2020). Important Flavonoids and Their Role as a Therapeutic Agent. *Molecules*, 25(22), pp.
- Vega, E. N. *et al.* (2021). Anthocyanins from *Rubus fruticosus* L. and *Morus nigra* L. Applied as Food Colorants: A Natural Alternative. *Plants (Basel)*, 10(6), pp.
- Venil, C. K., Dufossé, L. e Renuka Devi, P. (2020). Bacterial Pigments: Sustainable Compounds With Market Potential for Pharma and Food Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, pp.
- Vieira, J. M., Silva, C. A. L. d. A. d. S. e. e Vinha, A. C. M. F. d. (2023). *Acacia dealbata*: de espécie invasiva a espécie promissora para a saúde pública. pp.
- Vieites-Blanco, C. e González-Prieto, S. J. (2020). Invasiveness, ecological impacts and control of acacias in southwestern Europe – a review. *Web Ecology*, 20(2), pp. 33-51.
- Vinha, A. F. *et al.* (2014). Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), pp. 197-202.
- Wang, M. *et al.* (2023). The protective effect of serum carotenoids on cardiovascular disease: a cross-sectional study from the general US adult population. *Front Nutr*, 10, pp. 1154239.
- Wang, Z. *et al.* (2024). Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Sci Total Environ*, 937, pp. 173377.

Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras alocadas em Portugal
com potencial aplicação farmacêutica

- Yabuzaki, J. (2017). Carotenoids Database: structures, chemical fingerprints and distribution among organisms. *Database (Oxford)*, 2017(1), pp.
- Zhuang, W. B. *et al.* (2023). The Classification, Molecular Structure and Biological Biosynthesis of Flavonoids, and Their Roles in Biotic and Abiotic Stresses. *Molecules*, 28(8), pp.

Identificação e quantificação de pigmentos naturais de espécies vegetais invasoras alocadas em Portugal
com potencial aplicação farmacêutica

V. Anexos



isarc

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CERTIFICATE
of participant

This is to certify that

Joana D. M. COUTO

In oral and technical presentation, recognition and appreciation of research contributions to

2. INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC RESEARCHES CONGRESS

21-22 OCTOBER 2023 KONYA / TURKEY

with the paper entitle

***"NATURAL DYES EXTRACTED FROM TROPAEOLUM MAJUS: FUTURE
APPLICATION IN A SUSTAINABLE ECONOMY"***


Uzm. Yasemin AĞAOĞLU
Head Of Congress Group


Sefa Salih BİLDİRİCİ
HEAD OF İSARC



INTERNATIONAL SCIENCE AND
ART RESEARCH CENTER

2. ULUSLARARASI SELÇUK BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ

21- 22 EKİM 2023 / KONYA

KONGRE KİTABI

EDİTÖRLER:

Prof. Dr. Recep ARDOĞAN
Prof. Dr. Valentina MARINESCU



<https://www.isarcconference.org/>

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

**2.INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC
RESEARCHES CONGRESS**

DATE AND PLACE

21-22 OCTOBER 2023

KONYA -TURKEY/TURKEY ONLINE PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

GENERAL COORDINATOR

Yasemin AĞAOĞLU

EDITORS

Prof. Dr. Recep ARDOĞAN

Prof. Dr. Valentina Marinescu

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Sevi ÖZ

Doç. Dr. Aliye AKIN

Doç. Dr. Reyhan DADAŞOVA

Dr. Aykan ÇOŞKUN

Dr. Bahar ALTUNOK

Dr. Gönül GÖKÇAY

Dr. Nevim TÜZÜN

PARTICIPATING COUNTRIES

Algeria/Bulgaria/Hungary/India/Indonesia/Iran/Iraq/Italy

Mongolia/Morocco/Pakistan/Portugal/Romania

Saudi Arabia/Tunisia/Ukraine

Copyright © 2023 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other non-commercial uses permitted by copyright law. Institution of

Economic Development and Social

Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TURKEY TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2023©

ISBN: 978-625-367-391-8

Cover Design: İbrahim KAYA

October / 2023

NATURAL DYES EXTRACTED FROM *TROPAEOLUM MAJUS*: FUTURE APPLICATION IN A SUSTAINABLE ECONOMY

Joana D. M. COUTO

UFP-Faculty of Health Sciences/ Integrated Master's degree in Pharmaceutical Sciences, Porto

Carla SOUSA

FP-3ID-Institute for Research, Innovation and Development at Fernando Pessoa University, Porto

LAQV/REQUIMTE-Department of Chemical Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto sousasil@ufp.edu.pt

Ana F. VINHA*

FP-3ID-Institute for Research, Innovation and Development at Fernando Pessoa University, Porto

LAQV/REQUIMTE-Department of Chemical Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto acvinha@ufp.edu.pt

ABSTRACT

Natural dyes extracted from flower crops have gained popularity in recent years due to their promise as a long-term alternative to synthetic dyes, which have negative effects on the environment, simultaneously, a stronger positive impact on the sustainable economy. Natural colors, as opposed to synthetic dyes, are renewable, biodegradable, and non-toxic. Furthermore, natural dyes have again emerged as promising green chemistry alternatives for synthetic dyes with a wide range of applications, including textile, pharmaceutical, cosmetics and food industries. Natural dyes, as opposed to synthetic dyes, which are made from petroleum-based chemicals and are damaging to the environment, do not pollute the environment. Some synthetic dyes have been linked to hyperactivity in youngsters and allergy reactions in sensitive adults, while others have been shown in animal experiments to be carcinogenic and disrupt hormonal balance. Nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) is an invasive plant, characterized by its rapid expansion and proliferation. Currently this plant is used for ornamental, food and medicinal purposes. However, its potential in terms of implementing a sustainable economy is currently limited. Using example enzymatic extraction method, supercritical fluid extraction method, aqueous extraction method, solvent extraction method and ultrasonic extraction method are currently the subject of extensive research due to their greater efficacy over traditional methods, with the advantage of low-cost, and environmental friendly.

Keywords: *Tropaeolum majus* L., Natural dyes, Sustainable economy; Green chemistry.