

**Daniela Guerreiro de Macedo Pereira**

**Desenvolvimento e caracterização de uma embalagem ativa  
com incorporação de *Salicornia ramosissima*: Testes de  
biodegradação e de libertação controlada**



**Daniela Guerreiro de Macedo Pereira**

**Desenvolvimento e caracterização de uma embalagem ativa  
com incorporação de *Salicornia ramosissima*: Testes de  
biodegradação e de libertação controlada**

**Mestrado em Tecnologia de Alimentos  
Trabalho efetuado sob orientação de: Professor Doutor Rui Cruz**



**Desenvolvimento e caracterização de uma embalagem ativa  
com incorporação de *Salicornia ramosissima*: Testes de  
biodegradação e de libertação controlada**

**Declaração de autoria do trabalho**

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

Daniela Guerreiro de Macedo Pereira

Copyright Daniela Guerreiro de Macedo Pereira 2020

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## **Dedicatória**

*Ao meu pai,*

*Que onde quer que esteja me dá forças para nunca desistir.  
Que sintas tanto orgulho nas minhas conquistas quanto eu sentia em ti, mesmo que em  
silêncio.*

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de deixar o meu muito muitíssimo obrigado ao meu orientador, Professor Doutor Rui Cruz, por ter proposto este desafio! Por me ter apoiado incondicionalmente desde o primeiro dia, ter partilhado comigo tantos conhecimentos desde o início da Licenciatura até ao dia de entrega desta dissertação, e ter estado disponível em todos os momentos. Obrigada!

Ao Professor Doutor António Vicente da Universidade do Minho, pela disponibilidade e colaboração no trabalho experimental.

À Universidade do Algarve, que foi a casa que me acolheu durante a minha vida académica e permitiu que tudo isto se tornasse real.

A todo o corpo Docente do Departamento de Engenharia Alimentar, em especial à Professora Doutora Célia Quintas e Professor Doutor Eduardo Esteves, por toda a ajuda e compreensão ao longo dos dois anos de Mestrado.

À Professora Doutora Patrícia Nunes, por me ter apoiado nas melhores e piores alturas do meu percurso, ter sido psicóloga, amiga e conselheira em todos os momentos. Palavras serão sempre poucas para lhe agradecer!

Às técnicas dos laboratórios de processamento de alimentos e química, pela ajuda prestada e conselhos dados nos momentos menos bons.

A toda à minha Família, em especial à minha mãe e irmã, que são também pai e porto de abrigo para todos os momentos. A elas lhes agradeço pelo amor que me dão diariamente, por nunca terem desistido dos meus sonhos, e por lutarem comigo em todas as batalhas da vida.

Ao meu cunhado Bruno e aos meus maiores amores, sobrinho Diogo e sobrinho Gonçalo, por todo o amor e carinho dado!

À minha tia Nelita, e prima Cláudia, por fazerem dos meus desafios os delas, e por todo o apoio que me deram ao longo destes anos.

Aos meus colegas de gabinete. Obrigada pelos cafés, pelas conversas na palete, pela partilha, pelos conselhos. Andreia, não preciso de dizer nada, foste indispensável nesta fase e dos meus maiores apoios. Alex e Nathana, obrigada pelas palavras certas, nos momentos certos, e por conseguirem reagir nos meus momentos de desespero. Diogo, obrigada por ouvires os meus pensamentos em voz alta. São os maiores e eu levo-vos aos quatro no meu coração para sempre.

Aos meus colegas de Alimentar, em especial ao João Soares, Gonçalo Palhinha e Cíntia Martins, por todos os momentos que passamos juntos, e todas as partilhas.

À Lina Vaz-Velho, por todos os dias me enviar mensagem a dar força e, por colocar Mercúrio no lugar dele.

À minha Marisa Luís, becas da becas, por ter estado sempre mas sempre disponível para me ouvir e ajudar, mesmo nos momentos em que estava insuportável. Obrigada por seres aquele ombro amigo, sem julgamentos nem críticas, e nunca me deixares cair.

À Rita Madeira, Sandra Guerreiro, e Juliana Pinheiro. Obrigada por me terem segurado no início do ano de 2020, e me terem apoiado na concretização deste meu sonho.

Por fim, a todos aqueles que duvidaram que este dia ia chegar. A vocês o meu especial agradecimento, pela força e motivação que me deram para que vos conseguisse mostrar que sim, ia conseguir e consegui!

## Resumo

O objetivo do presente estudo foi desenvolver uma embalagem ativa e biodegradável à base de pectina com incorporação de *Salicornia ramosissima* para a conservação de alimentos. Foram analisados diferentes parâmetros físico-mecânicos do filme desenvolvido assim como a sua capacidade de biodegradação em terra e em água do mar. Foi realizado também um estudo de libertação controlada em água para verificar a libertação de sais provenientes do filme. Relativamente às características físico-mecânicas, verificou-se que o filme controlo apresentou valores de  $a^*$  ( $3,29 \pm 0,16$ ) e  $b^*$  ( $12,74 \pm 0,75$ ) inferiores ao filme com salicórnia,  $a^*$  ( $4,96 \pm 0,30$ ) e  $b^*$  ( $28,62 \pm 0,51$ ). Relativamente ao parâmetro  $L^*$  o filme controlo apresentou um valor de  $81,20 \pm 0,70$  enquanto o filme com salicórnia revelou ser mais escuro apresentando um valor de  $48,84 \pm 1,60$ . O filme com salicórnia ( $30,04 \pm 1,49$ ) apresentou uma opacidade maior comparativamente com o filme controlo ( $10,87 \pm 0,05$ ). O filme com salicórnia foi ligeiramente mais permeável ao vapor de água  $1,52 \times 10^{-9} \pm 1,09 \times 10^{-10}$  g/(m.s.Pa) assim como a sua solubilidade em água,  $50,50 \pm 5,02\%$ . O filme com salicórnia apresentou uma resistência à tração menor ( $0,13 \pm 0,15$  MPa) comparativamente ao filme controlo ( $4,19 \pm 0,82$  MPa). Por outro lado, verificou-se o oposto para o alongamento à rutura, com valores de  $3,91 \pm 0,62\%$  e  $5,89 \pm 0,29\%$ , respetivamente, para o filme controlo e o filme com salicórnia. A humidade foi o único parâmetro cujas diferenças entre os dois filmes não foram significativas ( $p > 0,05$ ). Nos testes de biodegradação, ambos os filmes apresentaram capacidade de biodegradação, ao fim de 21 dias em terra e ao fim de 30 dias em água do mar. Relativamente ao teste de libertação controlada, foi verificado que a velocidade de libertação de sais do filme com salicórnia aumentou com o aumento da temperatura de armazenamento, atingindo a sua estabilização em água por volta de  $1400 \mu\text{S/cm}$ . Concluiu-se com a realização deste estudo que foi possível o desenvolvimento de um novo sistema de embalagem biodegradável com vista a uma possível aplicação em alimentos e extensão do seu tempo de vida útil.

**Palavras Chave:** *Salicornia ramosissima*, biodegradação, plástico, embalagens, filmes.

## Abstract

The objective of the present study was to develop an active and biodegradable packaging based on pectin with the incorporation of *Salicornia ramosissima* for food preservation. Different physico-mechanical parameters of the developed film were analyzed, as well as its biodegradation capacity in soil and in sea water. A controlled release study in water was also carried out to verify the release of salts from the film. Regarding the physico-mechanical characteristics, it was found that the control film presented values of  $a^*$  ( $3,29 \pm 0,16$ ) and  $b^*$  ( $12,74 \pm 0,75$ ) lower than the film with salicornia,  $a^*$  ( $4,96 \pm 0,30$ ) and  $b^*$  ( $28,62 \pm 0,51$ ). Regarding the  $L^*$  parameter, the control film showed a value of  $81,20 \pm 0,70$  while the film with salicornia proved to be darker with a value of  $48,84 \pm 1,60$ . The film with salicornia ( $30,04 \pm 1,49$ ) showed greater opacity compared to the control film ( $10,87 \pm 0,05$ ). The film with salicornia was slightly more permeable to water vapor  $1,52 \times 10^{-9} \pm 1,09 \times 10^{-10}$  g/(m.s.Pa) as well as its solubility in water,  $50,50 \pm 5,02\%$ . The film with salicornia showed a lower tensile strength ( $0,13 \pm 0,15$  MPa) compared to the control film ( $4,19 \pm 0,82$  MPa). On the other hand, the opposite was found for elongation at break, with values of  $3,91 \pm 0,62\%$  and  $5,89 \pm 0,29\%$ , respectively, for the control film and the film with salicornia. Humidity was the only parameter whose differences between the two films were not significant ( $p > 0,05$ ). In the biodegradation tests, both films showed biodegradation capacity, after 21 days on land and after 30 days in sea water. Regarding the controlled release test, it was found that the release rate of salts from the salicornia film increased with increasing storage temperature, reaching its stabilization in water at around  $1400 \mu\text{S}/\text{cm}$ . It was concluded with this study that it was possible to develop a new biodegradable packaging system for a possible application in food and extension of its shelf-life

**Keywords:** *Salicornia ramosissima*, biodegradation, plastic, packaging, films.

## Índice geral

Dedicatória.....	i
Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iv
Abstract.....	v
Índice geral .....	vi
Índice de figuras .....	viii
Índice de tabelas .....	ix
Lista de abreviaturas .....	x
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1. Poluição e impacto ambiental das embalagens.....	1
1.2. Papel/Função das embalagens .....	2
1.2.1. Objetivos das embalagens .....	2
1.2.2. Funções secundárias das embalagens .....	4
1.3. Embalagens ativas .....	5
1.3.1. Classificação de embalagens ativas.....	5
1.3.2. Tipos de sistema das embalagens ativas.....	7
1.4. Filmes biodegradáveis .....	7
1.5. Pectina .....	10
1.6. Plantas halófitas.....	12
1.7. <i>Salicornia ramosissima</i> .....	13
1.8. Objetivo .....	16
Capítulo 2 - Materiais e métodos.....	18
2.1. Preparação dos filmes.....	18
2.2. Caracterização dos filmes.....	18
2.2.1. Permeabilidade ao vapor de água e espessura.....	18

2.2.2. Cor e opacidade .....	19
2.2.3. Solubilidade e % de humidade .....	19
2.2.4. Medidas de textura.....	20
2.3. Testes de biodegradação .....	21
2.3.1. Água do mar .....	21
2.3.2. Terra.....	21
2.4. Teste de libertação controlada de sais .....	21
2.5. Análise estatística .....	22
Capítulo 3 - Resultados e discussão .....	22
3.1. Caracterização dos filmes .....	23
3.1.1. Espessura .....	24
3.1.2. Cor .....	24
3.1.3. Opacidade .....	25
3.1.4. Permeabilidade ao vapor de água .....	25
3.1.5. Solubilidade em água.....	26
3.1.6. Humidade.....	27
3.1.7. Propriedades mecânicas.....	27
3.2. Biodegradação em água do mar.....	28
3.3. Biodegradação na terra .....	32
3.4. Teste de libertação controlada de sais .....	35
Capítulo 4 - Conclusão .....	37
Perspetivas de trabalho futuro .....	38
Referências .....	39

## Índice de figuras

Figura 1.1. Produção e eliminação acumulada de resíduos plásticos (em milhões de toneladas métricas) .....	2
Figura 1.2. Estrutura química da pectina .....	11
Figura 1.3. Planta salicórnia .....	15
Figura 1.4. Esquematização do trabalho experimental.....	17
Figura 3.1. Pó de salicórnia desidratado.....	22
Figura 3.2. (A) Filme controlo (B) Filme com salicórnia.....	23
Figura 3.3. Teste de biodegradação. (A) Filme controlo (B) Filme com salicórnia.....	30
Figura 3.4. Teste de biodegradação em terra. (A) Filme controlo (B) Filme com salicórnia. ....	33
Figura 3.5. Teste de libertação controlada de sais. ○: 5 °C; □: 25 °C; Δ: 45 °C .....	35

## Índice de tabelas

Tabela 1.1. Classificação taxonómica da planta <i>Salicornia ramosissima</i> .....	14
Tabela 1.2. Quantidades minerais (por grama de peso seco da amostra) de <i>Salicornia ramosissima</i> .....	15
Tabela 3.1. Resultados dos parâmetros físico-mecânicos .....	23

## **Lista de abreviaturas**

AR- Alongamento à ruptura

RT- Resistência à tração

PVA- Permeabilidade ao vapor de água

MY- Módulo de Young

# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1. Poluição e impacto ambiental das embalagens

Hoje em dia são recorrentes as notícias e as referências ao impacto da poluição no ambiente e na sociedade. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2018), todos os anos morrem cerca de sete milhões de pessoas de causas diretamente relacionadas com a poluição (Ambiente, 2020). A adoção de medidas capazes de travar o avanço desta problemática que afeta o dia-a-dia da população mundial torna-se imperativo.

A poluição é definida como a introdução de substâncias ou de energias que sejam capazes de causar riscos à saúde humana, assim como danos quer aos sistemas ecológicos como aos recursos vivos. Pode ser classificada segundo duas variantes. A primeira designada como variante natural, ocorre quando o meio ambiente sofre alterações devido a fenómenos naturais como são o caso dos terremotos ou de inundações (Appannagari, 2017).

A segunda variante é provocada através de atividades humanas, tais como poluição do ar, terra, água, alimentos, sonora, etc. A poluição gerada pelas atividades humanas designada antropogénica, ameaça igualmente o ambiente marinho na medida em que prejudica o funcionamento de todo este ecossistema (Appannagari, 2017).

Além de todos os nutrientes ou metais pesados junta-se ainda o plástico, cada vez mais comum nos oceanos e a ocupar uma posição que está a tomar proporções assustadoras (Appannagari, 2017). A vida marinha é gravemente afetada, pois para os organismos vivos, os riscos associados aos plásticos ingeridos provêm não só do próprio material, mas também de poluentes sorvidos. Igualmente prejudicial está o facto da ingestão dos plásticos chegar aos organismos de nível trófico mais alto na cadeia alimentar (Wang et al., 2016).

Esta procura incessante pelo plástico surge em meados de 1930, sendo que o principal setor responsável pela utilização deste material corresponde às embalagens. Desde o seu aparecimento e consequentemente dos comuns sacos de plástico, a sua utilização tem-se tornado recorrente, tal como verificado na figura 1.1. No entanto, e apesar das tentativas de redução do seu uso ou da sua reciclagem, acabam sempre por ocorrer erros na medida em que são descartadas maioritariamente de modo incorreto e

assim, ser deslocadas acidentalmente por ação do vento ou de chuva dos aterros onde se encontram, para zonas onde não deveriam existir, como é o caso dos oceanos (Accinelli et al., 2012; Alvarez-Zeferino et al., 2015).

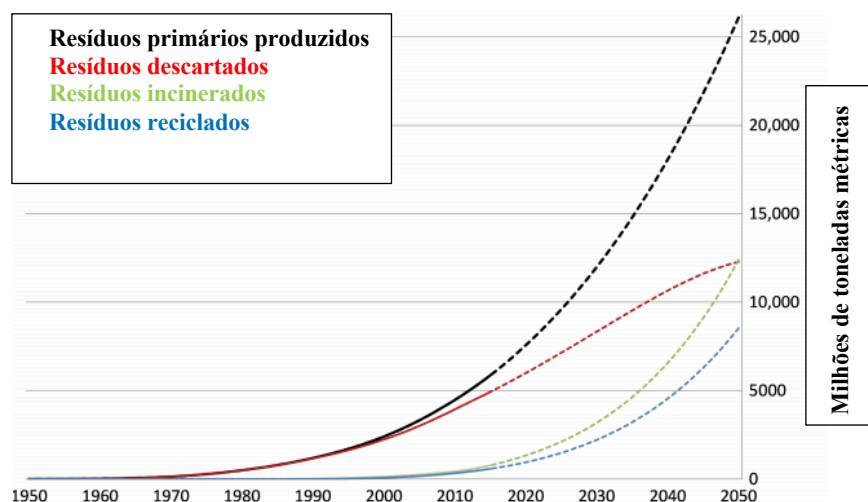


Figura 1.1. Produção e eliminação acumulada de resíduos plásticos (em milhões de toneladas métricas) (Geyer et al., 2017).

O facto deste material de plástico ser maioritariamente um composto derivado do petróleo, uma vez presente em ambientes representa um perigo pela capacidade de se tornar poluente (Derraik, 2002). Devido à não biodegradação, os impactes ambientais adversos que resultam da inexistência deste processo estão relacionados com a acumulação de dióxido de carbono por longos períodos no ambiente (Jain & Tiwari, 2015). O uso das embalagens de plástico está relacionado com o transporte de alimentos, daí a sua procura ter aumentado de modo tão exponencial (Accinelli et al., 2012).

## 1.2. Papel/Função das embalagens

### 1.2.1. Objetivos das embalagens

O objetivo da embalagem de alimentos é conter alimentos de maneira económica, que satisfaça os requisitos da indústria e os desejos dos consumidores, mantenha a segurança dos alimentos e que não cause impacto ambiental.

Segundo Robertson (2004), os principais papéis das embalagens de alimentos são proteger os produtos alimentares de influências e danos externos, conter os alimentos e, fornecer aos consumidores informações nutricionais e de ingredientes. A rastreabilidade, conveniência e indicação de violação são funções secundárias de importância crescente.

Relativamente à segurança dos alimentos, as embalagens podem contribuir para o retardamento da deterioração do produto, reter os efeitos benéficos do processamento, prolongar a vida útil e manter ou aumentar a qualidade e a segurança dos alimentos fornecendo assim proteção contra três classes principais de influências externas: química, biológica e física (Marsh & Bugusu, 2007).

A proteção química minimiza as mudanças de composição desencadeadas por influências ambientais como exposição a gases, normalmente oxigênio, humidade (ganho ou perda) ou luz (visível, infravermelho ou ultravioleta). Os dispositivos de selagem podem conter materiais que permitem níveis mínimos de permeabilidade como é o caso das tampas de plástico que têm alguma permeabilidade a gases e vapores, assim como os materiais de vedação usados nas tampas para facilitar a selagem e nas tampas de latas de metal para permitir a vedação após o enchimento. As embalagens plásticas oferecem uma grande variedade de propriedades de barreira, mas geralmente são mais permeáveis que o vidro ou o metal (Marsh & Bugusu, 2007).

A proteção biológica fornece uma barreira contra microrganismos patogénicos, agentes capazes de degradar os alimentos, insetos, roedores e outros animais, evitando assim doenças e deterioração. Além disso, as barreiras biológicas mantêm condições para controlar a senescência (maturação e envelhecimento). Essas barreiras funcionam através de uma multiplicidade de mecanismos, impedindo o acesso ao produto e deste modo a inexistência de transmissão de odores, mantendo o ambiente interno da embalagem (Marsh & Bugusu, 2007).

Quanto à proteção física, esta é responsável pela proteção contra danos mecânicos, onde estão por exemplo incluídos os choques ou vibrações que a embalagem é sujeita.

### 1.2.2. Funções secundárias das embalagens

No que diz respeito às funções secundárias, surge em primeira instância o termo de rastreabilidade, que é definido como “a capacidade de acompanhar o movimento de um alimento através de estágios específicos de produção, processamento e distribuição” (Qualfood, 2003).

As empresas de produção de alimentos incorporam códigos exclusivos nas etiquetas das embalagens para que seja possível o rastreamento dos mesmos ao longo do processo de distribuição. Este conceito rege-se por 3 objetivos, nomeadamente:

- Melhoramento na gestão da oferta;
- Facilidade no rastreamento para fins de segurança e qualidade dos alimentos;
- Diferenciar e comercializar alimentos com atributos que sejam impercetíveis ou indetetáveis de qualidade (Golan et al., 2004).

Um outro termo que se associa às funções secundárias é a conveniência, ou seja, a facilidade de acesso, manuseamento e descarte, ou visibilidade do produto que influencia bastante a inovação destas. Apesar desta função ajudar na diminuição do tempo necessário de preparar ou servir refeições ser à primeira instância positiva, existe um contributo negativo devido à quantidade e tipo de resíduos de embalagens que requerem descarte, pois a existência de sacos de fervura ou de embalagens próprias para ir ao micro-ondas que permitam que se cozinhe uma refeição sem ser praticamente necessária qualquer preparação, vão contribuir para um aumento de produção de embalagens (Marsh & Bugusu, 2007).

Por fim surge a indicação de violação que promove a aquisição de recursos especiais nas embalagens que são idealizados com o objetivo de diminuir ou mesmo eliminar adulterações que sejam possíveis de acontecer ao produto. Estes recursos incluem faixas, membranas especiais, e ainda impressões como textos ou gráficos para as garrafas ou latas que mudam de modo irreversível após a abertura. Contudo, este tipo de embalagem que não permite a sua violação requer um tipo de materiais adicionais que vai agravar os problemas de descarte, no entanto, os benefícios associados são consideráveis (Marsh & Bugusu, 2007).

Da drástica subida de consumo de plástico que se verificou no ano de 2015 de 322 milhões de toneladas, cerca de 49 são de completa responsabilidade das embalagens plásticas (Al-Tayyar et al., 2020). Tendo em conta estes números, começam a surgir no mercado as embalagens biodegradáveis.

### **1.3. Embalagens ativas**

As embalagens convencionais usadas nas últimas décadas, eram usadas com o propósito de “dar” apoio mecânico a alimentos líquidos e dar proteção aos alimentos relativamente a influências externas como por exemplo microrganismos, oxigênio, odores exteriores, entre outros. No entanto, a procura por alimentos minimamente processados, frescos, com sabor original, vida útil prolongada e qualidade controlada fez com que surgissem um novo tipo de embalagens, denominadas de embalagens ativas (Dainelli et al., 2008).

Segundo Vermeiren et al. (1999) as embalagens ativas apresentam mais vantagens comparativamente às convencionais que apenas se limitam a proteger os alimentos. As ativas têm função de alterar condições do produto permitindo o aumento do tempo de prateleira, segurança, qualidade, e até mesmo na melhoria de características sensoriais. O material utilizado tem a possibilidade de inativar bactérias patogênicas em frutos, carne e produtos minimamente processados prontos a comer. Um exemplo de filme de embalagem ativa foi desenvolvido por Nisa et al. (2015) quando a incorporação hidroxitolueno butilado e extratos de chá verde num filme de amido melhorou significativamente as suas propriedades físicas, de barreira, mecânicas, térmicas e antioxidantes.

#### 1.3.1. Classificação de embalagens ativas

As embalagens ativas podem ser classificadas em antimicrobianas, antioxidantes e aromáticas.

As antimicrobianas foram desenvolvidas em resposta à preocupação com a qualidade microbiológica dos alimentos, apresentando substâncias antimicrobianas incorporadas ou imobilizadas no material da embalagem, com a principal função de eliminação ou inibição de microrganismos deterioradores ou patogênicos. Outra das vantagens associadas a este tipo de embalagem reside no facto de alguns agentes antimicrobianos que são adicionados ao alimento perdem parcialmente a sua atividade em virtude da composição do produto, e assim, através do uso de embalagens ativas esse problema é minimizado (Quintavalla & Vicini, 2002). Contudo, existem sempre fatores capazes de alterar esta capacidade da embalagem, como as características do agente

antimicrobiano, do alimento, método de preparação do filme, ou interação entre agente antimicrobiano e polímero (Dawson et al., 2003).

Quanto às embalagens antioxidantes estas foram desenvolvidas para preservação de alimentos sensíveis à oxidação. Esta reação química é das mais frequentes quanto à deterioração e redução de vida útil dos alimentos. A oxidação é um mecanismo que não só altera o gosto e a qualidade nutritiva como também pode resultar num perigo para os consumidores, uma vez que resulta em compostos reativos e tóxicos que são prejudiciais ao ser humano (Laguerre et al., 2007).

Por fim, e ainda relativamente à classificação de embalagens ativas, existem as embalagens aromáticas que acabam por ser atrativas relativamente à melhoria da aceitação sensorial dos produtos condicionados. Esta característica ocorre através da incorporação de aromas voláteis na matriz polimérica da embalagem (Huber et al., 2002).

No entanto, e apesar de todos os esforços para a preservação dos alimentos, a migração de substâncias da embalagem para o alimento pode ser considerada em certa medida um risco. Também o uso incorreto da embalagem no que diz respeito à rotulagem insuficiente ou mesmo a uma falta de eficácia da própria embalagem pode dar origem a um risco. Segundo o Regulamento (CE) nº 1935/2004 relativo aos materiais e objetos destinados a entrar em contato com os alimentos, estes “são os materiais e objetos que se destinam a prolongar o tempo de conservação dos alimentos ou a manter ou melhorar o estado dos alimentos embalados. São concebidos de forma a incorporar deliberadamente componentes que libertem substâncias para os alimentos embalados ou o ambiente que os envolve ou que absorvam tais substâncias desses alimentos e do ambiente que os envolve” (Comissão Europeia, 2004). Os agentes ativos adicionados podem ser diversos, entre os quais destacam-se os ácidos orgânicos, enzimas, fungicidas, extratos naturais, entre outros. Podem ser colocados fora da embalagem primária ou no seu interior. No caso de serem colocados no interior, pode optar-se por estar em contacto apenas com a atmosfera que envolve o alimento, em contacto com a sua superfície, ou dentro do próprio alimento se nos referirmos a alimentos líquidos (Dainelli et al., 2008).

### 1.3.2. Tipos de sistema das embalagens ativas

As embalagens ativas podem atuar segundo 2 tipos de sistemas: os sistemas absorvedores e os emissores. Os sistemas absorvedores: visam remover os compostos indesejáveis do espaço livre da embalagem ou ao redor do alimento, tais como: oxigênio, etileno, dióxido de carbono, água e outros compostos específicos que aceleram a degradação do produto alimentício (Braga & Silva, 2017).

Os sistemas emissores: incorporam substâncias no material da embalagem (plástico, papel, etc.), como por exemplo, dióxido de carbono, etanol, antioxidantes, antimicrobianos, conservantes e estes são libertados gradualmente para o alimento. Deste modo, a libertação controlada dessas substâncias nos alimentos tem o potencial de proporcionar segurança e qualidade prolongada aos alimentos ao longo do tempo. Os polímeros são muito atraentes em aplicações de embalagem ativa, pois as propriedades bem estabelecidas de transporte de massa (permeação, sorção e migração) podem constituir o mecanismo de ação do sistema de embalagem ativa. No entanto, essa libertação requer um certo controle, especialmente para iniciar a ação no momento correto (Braga & Silva, 2017; Muriel-Galet et al., 2015).

Como solução para o impacto ambiental provocado pelo plástico surgem medidas como o desenvolvimento de materiais biodegradáveis que vão contribuir para redução do impacto ambiental e que não são como as comuns embalagens de polímeros sintéticos que sofrem uma degradação lenta. Este tipo de materiais não são tóxicos e têm vindo a ser adaptados para a produção de filmes biodegradáveis e de revestimentos que vão atuar na conservação e na proteção de alimentos (Campos et al., 2011; Machado et al., 2014; Pachekoski et al., 2014).

### **1.4. Filmes biodegradáveis**

A biodegradação é o processo na qual ocorre uma decomposição de materiais por ação dos seres vivos (Maria & Costa, 2016). É um termo comumente aplicado e relacionado com a ecologia, gestão de resíduos e também remediação ou biorremediação ambiental. Tal como a palavra sugere, o decaimento ou desintegração – Degradação, é realizado por uma variedade de organismos vivos – Bio, nomeadamente bactérias, fungos

assim como outros organismos com capacidade de decompor materiais ou produtos noutras formas de “vida” (Mara et al., 2006).

A população microbiana é imprescindível para a ocorrência deste fenómeno. Estudos realizados por Rech et al. (2020) confirmaram que no solo, quanto maior a biomassa microbiana presente maior é a degradação e, por consequência, maior a taxa de degradação.

Este processo pode ser aeróbio (na presença de oxigénio), ou anaeróbio (na ausência de oxigénio). Em condições de aerobiose de materiais orgânicos, o oxigénio é consumido e existe a conversão do carbono em carbono mineral gasoso como dióxido de carbono, e parte do material orgânico é usado para crescimento celular.

Quanto às condições de anaerobiose o carbono orgânico do material é convertido em biogás CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (metano). A taxa de biodegradação é calculada através da percentagem do teor de carbono orgânico da amostra que foi convertido em carbono gasoso e mineral (Narancic et al., 2018).

Segundo estudos efetuados por Briassoulis & Mistriotis (2018), os solos orgânicos não são recomendados para a realização de testes de biodegradação uma vez que contêm inerente à sua composição CO<sub>2</sub>. Uma vez que a eficácia da biodegradação se calcula através do CO<sub>2</sub>, assim torna-se praticamente impossível de distinguir qual o valor do composto que diz respeito à biodegradação, e não do solo.

A degradação abiótica é uma biodegradação que ocorre através de fenómenos “naturais”, como é o caso da chuva, temperatura, luz, e é aquela que precede a biodegradação e é iniciada termicamente, hidroliticamente ou pela luz ultra-violeta do meio ambiente. Os fragmentos de polímeros que resultam deste tipo de degradação têm capacidade de passar pelas membranas celulares e são biodegradados por enzimas celulares no interior das células microbianas, contudo, alguns micróbios podem também excretar enzimas extracelulares que atuam em determinados polímeros plásticos (Gewert et al., 2015).

Testes realizados no solo por Accinelli et al. (2012) testaram a rapidez de degradação em nanofibras de polihidroxibutirato e dióxido de titânio e concluírem que devido às suas estruturas tridimensionais e da elevada área de superfície a degradação foi mais rápida.

Quanto a uma biodegradação realizada no mar, e segundo testes efetuados por Nakayama et al. (2019), esta é bastante mais eficaz em relação a condições laboratoriais,

uma vez que a variedade de vidas no mar é uma mais valia no processo de biodegradação, sendo mesmo dos principais fatores da sua ocorrência.

Os filmes atuam como uma barreira e impedem a entrada de elementos do ambiente exterior como é o caso de sujidades, humidade, compostos aromáticos, gases, e assim conseguem atuar controlando as transferências de oxigénio, dióxido de carbono. Além de todas estas vantagens apresentadas podem ainda conter na sua composição substâncias que atuam como aditivos, enriquecendo, protegendo e aumentando deste modo o tempo de prateleira dos alimentos (Hershko, 1998). Os filmes biodegradáveis podem ser aplicados diretamente à superfície de alimentos ou como filmes, possuindo estrutura própria e independente. Estão envolvidos na sua produção essencialmente 3 produtos, sendo eles: solvente, plastificante e um agente formador de filme (Fernandes et al., 2015).

Tal como no presente estudo, cujo objetivo se prende com a produção de embalagens ativas, os autores Bertuzzi et al. (2007), desenvolveram filmes de embalagem para alimentos, que requerem o transporte controlado de vapor de água para prolongar o prazo de validade dos produtos. Também Leon-Bejarano et al. (2020) desenvolveram filmes cuja adição de extratos de casca de noz pecan ou casca de avelã conferiram propriedades antioxidantes e tiveram a capacidade de melhorar parcialmente a resistência à água, diminuindo a solubilidade e atuando como agentes plastificantes.

Os biofilmes são preparados a partir de produtos naturais que vão atuar como uma barreira protetora a elementos externos, danos físicos, biológicos e consequentemente aumentar a sua vida útil. A procura dos novos materiais de conservação para alimentos naturais como por exemplo frutas e legumes tem vindo a aumentar devido ao crescimento população mundial. Filmes obtidos através de produtos renováveis apresentam vantagens não só por serem degradados rapidamente, mas também pela oportunidade de conseguirem aumentar a vida útil dos alimentos, melhorando assim a sua qualidade. Geralmente, os biofilmes são produzidos a partir de polissacarídeos, proteínas, lípidos e derivados (De Lucena et al., 2017).

Estas “novas” embalagens apresentam propriedades mecânicas óticas, térmicas e de barreira semelhantes aos plásticos tradicionais, tendo a vantagem de serem biodegradáveis e de origem a partir de fontes renováveis. O elevado custo destes materiais tem sido superado com a utilização de misturas com polissacarídeos como o quitosano, alginato, derivados de celulose, entre outros (Sueiro et al., 2016).

Além das características anteriormente mencionadas, é igualmente necessário que estes produtos tenham uma permeabilidade adequada ao vapor de água e também a gases/vapores. Conforme seja a aplicação pretendida para a proteção do produto, assim são os requisitos específicos de barreira da própria embalagem (Accinelli et al., 2012).

Fakhouri et al. (2007) constatou que era possível um melhoramento no desempenho de filmes biodegradáveis ao adicionar um óleo essencial que atuasse como antimicrobiano contribuindo numa diminuição na contagem de leveduras, de fungos e de bactérias presentes nos filmes de amido do estudo de Debiagi et al. (2014). Chen et al. (2020) verificou que existe atividade antioxidante e inibitória contra microrganismos com a adição de elagitaninos ao filme.

A seleção do plastificante é também bastante importante no desempenho dos filmes biodegradáveis. Estudos realizados por Meerasri & Sothornvit (2020) verificaram que o uso de ácido gama-aminobutírico como plastificante tem capacidades de melhorar as propriedades de filmes de pectina, afetando características como a permeabilidade da água e as propriedades mecânicas.

## **1.5. Pectina**

A pectina é um heteropolissacarídeo encontrado nas plantas e bastante comum em frutas e legumes (fig. 1.2). Comercialmente a sua principal fonte é o bagaço de maçã. É uma substância dotada de várias funções, entre as quais sinalização celular, adesão, proliferação e diferenciação. É utilizada na aplicação de produtos alimentares como ingrediente estabilizador e gelificante devido à elevada capacidade formadora de gel. Estas características de gelificação, unidas com as de biocompatibilidade e biodegradabilidade tornam a pectina um biomaterial ideal para aplicações biomédicas, como no caso da indústria farmacêutica ou até mesmo cosmética. Quanto à sua estrutura química, a pectina pode apresentar baixo ou alto metoxilo, dependendo do seu grau de metilação.

Dependente deste grau, existem mudanças quanto às propriedades de gelificação, solubilidade e formação de filmes. O metoxilo diz respeito a um grupo funcional onde um grupo metilo se une a um oxigénio (Makaremi et al., 2019).

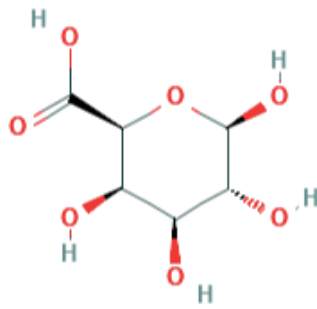


Figura 1.2. Estrutura química da pectina (Pubchem, 2005).

O grau de metilação, designado por GM, classifica as pectinas. As pectinas são classificadas como pectinas de alto teor de metilação (ATM), quando possuem acima de 50% de seus grupos carboxílicos esterificados, e como pectinas de baixo teor de metilação, quando 50% ou menos de seus grupos estão esterificados. Este polissacarídeo vegetal é responsável por até 35% das paredes celulares primárias de algumas espécies e é igualmente considerado o polissacarídeo estruturalmente mais complexo da natureza (Wusigale et al., 2020).

Segundo Walkenström et al. (2003), os dois tipos de pectinas existentes apresentam mecanismos de associação e gelificação diferentes.

Quando se trata de pectinas ATM, as interações que apresentam são maioritariamente relacionadas com interações intermoleculares de pontes de hidrogénio e forças hidrofóbicas. Nestes casos, o processo de gelificação ocorre por norma a pH ácido e sob presença de altas concentrações de açúcares. Por outro lado, as BTM são capazes de formar géis estáveis e termo-reversíveis na ausência de açúcares. Esta capacidade torna-as bastante úteis na produção de alimentos dietéticos e de baixas calorias (Iglesias & Lozano, 2004).

A pectina deve ser constituída de, no mínimo, 65% de ácido galacturónico. Este componente, tal como dito anteriormente é encontrado na parede celular de vegetais superiores, e esta parede pode ser dividida em duas camadas, respetivamente primária e secundária (Canteri et al., 2012).

Relativamente à parede celular primária, cuja área superficial tende a aumentar ao longo da expansão da célula, existem dois modelos incorporados nesta estrutura, o I, onde fazem parte celulose, xiloglucanas, extensina e pectina (20-35 %), e o II, da qual faz parte

maioritariamente celulose, glucoarabinosilanas e compostos fenólicos e pectina (10%). As substâncias pécticas, nomeadamente a própria pectina, em ocasiões de dispersão podem sofrer degradação através de dois mecanismos químicos. O primeiro, desesterificação, é onde ocorre a libertação de metanol e existe a formação de pectatos. Condições favoráveis a este mecanismo compreendem um pH em meio ácido entre 1 e 3 e temperaturas a 10 °C. O segundo mecanismo é a despolimerização, onde existe uma diminuição do tamanho da cadeia polimérica. Em temperaturas acima de 10 °C em meio ácido, são mais frequentes as hidrólises. Além destes dois mecanismos, também enzimas sintetizadas por vegetais ou microrganismos têm capacidade de degradação sobre estas substâncias (Canteri et al., 2012).

Experiências realizadas por Eça et al. (2015) em que filmes de pectina com incorporação de frutas foram desenvolvidos e adicionados extratos alcoólicos de diversas frutas que tinham capacidade antioxidante, mantendo assim as propriedades físicas e produzindo filmes antioxidantes e revestimentos para diversas aplicações alimentares.

Também Bagliotti Meneguín et al. (2014) produziram filmes de pectina juntamente com amido, pelo método de evaporação do solvente. Os autores utilizaram diferentes proporções e concentrações de polímero com e sem plastificante, e concluíram que o aumento da proporção de pectina e de pH favoreceram a dissolução e a absorção de líquidos dos filmes. No mesmo registo, Murata et al. (2019) defende que este componente é benéfico devido à sua elevada solubilidade em água numa quantidade limitada de meio.

## **1.6. Plantas halófitas**

Plantas halófitas são plantas caracterizadas pela tolerância às altas concentrações de sal. Têm capacidade de desenvolver estratégias capazes de lidar com níveis de salinidade que para outras plantas seriam tóxicos, retendo nos vacúolos sais como mecanismo de osmorregulação (Ameixa et al., 2016).

Além das elevadas concentrações de sal, outros fatores abióticos podem representar problemas para estas plantas, entre os quais a exposição a salinidades flutuantes, altas temperaturas e intensidades de luz, e períodos de seca (Ahmad & Prasad, 2012).

Tendo em conta estes fatores, as plantas halófitas são munidas de características capazes de as defender de possíveis alterações que possam ser provocadas e assim surgem

os mecanismos de tolerância ao sal, que vão apresentar vantagens em relação a outras espécies (Rozema & Schat, 2013). Estes incluem o aumento da suculência da folha e / ou caule, exclusão de sal, produção de osmólitos e também a indução de defesas antioxidantes (Shiri et al., 2016).

Hoje em dia, estas plantas são cada vez mais consumidas devido às suas propriedades organolépticas e medicinais. As halófitas são altamente especializadas uma vez que possuem características morfológicas, anatômicas e fisiológicas que as tornam aptas de proliferação em solos com elevadas concentrações de sal (Flowers & Colmer, 2008).

Estas plantas são divididas em halófitas obrigatórias, ou em halófitas facultativas. As obrigatórias necessitam consistentemente de uma concentração exata de NaCl para o seu crescimento, enquanto que as facultativas têm capacidade de crescer em solo sem presença de sal, tornando-as assim eficientes na gestão da tolerância ao stress abiótico e úteis para a melhoria do rendimento das culturas destas plantas (Ahmad & Prasad, 2012).

### **1.7. *Salicornia ramosissima***

Segundo J.Woods, a espécie *Salicornia ramosissima* pertence à subfamília *Chenopodiaceae*, classe *Caryophyllidae*, incluída no agregado de espécies *S. europaea* (tabela 1.1.), cujo nome comum é sal verde ou espargo do mar tendo a época de floração compreendida entre Maio e Novembro. É um género de planta localizado em habitats temperados e subtropicais, com a exceção da América do Sul e da Austrália. É uma planta que habitualmente cresce em habitats salinos e interiores salinos, húmidos, como sapais, margens de lagos e salinas. Estima-se a existência de 20 a 25 espécies não existindo um número exato nem mesmo um consenso quanto a este aspeto devido a elevada complexidade de distinguir as diferentes espécies (Kadereit et al., 2007).

Tabela 1.1. Classificação taxonômica da planta *Salicornia ramosissima* (UTAD, 2018).

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>Filo</b>	Angiospermophyta
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Ordem</b>	Caryophyllales
<b>Família</b>	Chenopodiaceae
<b>Gênero</b>	<i>Salicornia</i>
<b>Espécie</b>	<i>Salicornia ramosissima</i> J.Wood

*Salicornia ramosissima* (fig. 1.3.) é uma planta terófito que pode ter até 40 cm de altura, ereta, que apresenta os seus caules articulados e por norma com bastantes ramificações. Pode apresentar uma coloração verde-escura, podendo também adquirir uma cor verde-amarelada ou vermelho-púrpura. O perianto desta planta tem flores que se dispõem em posição de triangular, onde a flor central se encontra num plano ligeiramente superior, já as laterais em relação ao tamanho podem ser iguais à central ou inferiores (Costa, 2001).

Segundo Davy et al. (2001), é composta por hastes articuladas e sem folhas. Embora tolere altas concentrações de salinidade, o crescimento ideal acontece quando está sujeita a baixos níveis e crescem na zona entre marés superior. Esta localização implica longos períodos de emersão que levam a uma exposição direta à radiação solar UV e a um potencial stress foto-oxidativo envolvendo compostos foto-protetores, como fenóis e pigmentos.

Um dos pigmentos associados é a clorofila, presente nas plantas, nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. São responsáveis pela cor verde característica de várias frutas e legumes, que podem degradar-se e apresentar colorações verde acastanhadas como é o caso da feofitina (Heaton & Marangoni, 1996; Streit et al., 2005).



Figura 1.3. Planta salicórnia (Ria Fresh, 2020).

É uma planta bastante rica em minerais essenciais, como é o caso do manganês. No entanto, e de acordo com a tabela 1.2. é de evidenciar valores de sódio, magnésio, potássio e cálcio (Barreira et al., 2017).

Tabela 1.2. Quantidades minerais (por grama de peso seco da amostra) de *Salicornia ramsissima* (Barreira et al., 2017).

<b>Na (mg/g)</b>	89,9±0,5
<b>K (mg/g)</b>	8,92±0,23
<b>Ca (mg/g)</b>	4,86±0,05
<b>Mg (mg/g)</b>	9,43±0,08
<b>Fe (mg/g)</b>	1,53±0,02
<b>Mn (µg/g)</b>	204±4
<b>Zn (µg/g)</b>	68,7±0,1
<b>Cr (µg/g)</b>	5,24±0,05
<b>Pb (µg/g)</b>	1,45±0,02
<b>Ni (µg/g)</b>	2,32±0,10
<b>Cd (µg/g)</b>	nd

A salicórnia é uma planta tem elevada tolerância ao sal, o que a torna capaz de crescer em locais onde a presença de água salina tenha uma concentração tão elevada quanto a água do mar (Ventura & Sagi, 2013). Além do crescimento no habitat natural, esta planta pode ser cultivada em sistemas de hidroponia onde é possível uma adequação do perfil nutricional para o consumo humano. Deste modo, criam-se valores aceitáveis a

nível medicinal de teores interessantes de proteínas, fibra alimentar total, minerais e vitaminas, e seguras do ponto de vista toxicológico e microbiano. A salinidade do meio de cultivo é altamente importante para a produtividade da biomassa, mas tem menor impacto no perfil nutricional (Lima et al., 2020). Cada vez mais é usada na confecção de pratos, mais concretamente saladas, sendo conhecida na Inglaterra como erva de vidro roxa e em Portugal, tal como dito anteriormente, como erva-salada. Os seus galhos frescos podem ser usados na forma seca e moída e vão ser um substituto do sal de cozinha, uma vez que é uma planta que apresenta um elevado teor de sal (Isca et al., 2014a).

A nível medicinal, são diversas as espécies de salicórnia que têm várias aplicações na neste campo, nomeadamente a nível de tratamento da obesidade, nefropatia e cancro (Isca et al., 2014a). Segundo Isca et al. (2015), *Salicornia ramosissima* J. Woods revela a presença de uma nova estrutura natural que deriva de uma unidade de t-butilfenol alguns flavonóides e compostos alifáticos, que foram identificados pelas técnicas HPLC-MS e GC-MS, respetivamente (Isca et al., 2014b). Foi igualmente verificado que os extratos desta planta são portadores de atividade antioxidante e fotoprotetora contra a radiação ultra-violeta (Surget et al., 2015).

## 1.8. Objetivo

O presente estudo tem como objetivo responder às necessidades da sociedade e criar alternativas na indústria alimentar para a preservação e aumento do tempo de vida útil dos alimentos através da criação de embalagens sem uso de material plástico.

Neste sentido, o principal objetivo foi o desenvolvimento de uma embalagem ativa à base de pectina com incorporação de *Salicornia ramosissima* desidratada em pó com capacidades de biodegradação quer na terra como na água do mar.

O objetivo da introdução de salicórnia no filme foi de conferir propriedades conservantes através dos sais presentes na planta, com vista à sua aplicação e extensão do tempo de vida útil dos alimentos.

Foram testadas características físico-mecânicas (espessura, cor, opacidade, PVA, solubilidade em água, humidade, alongamento à rutura, módulo de Young e resistência à tração) assim como a capacidade de biodegradação dos filmes, em água do mar e na terra. Por último, foi efetuado um estudo de libertação controlada em água para verificar a libertação de sais provenientes do filme.

A figura 1.4. apresenta a descrição do trabalho experimental.

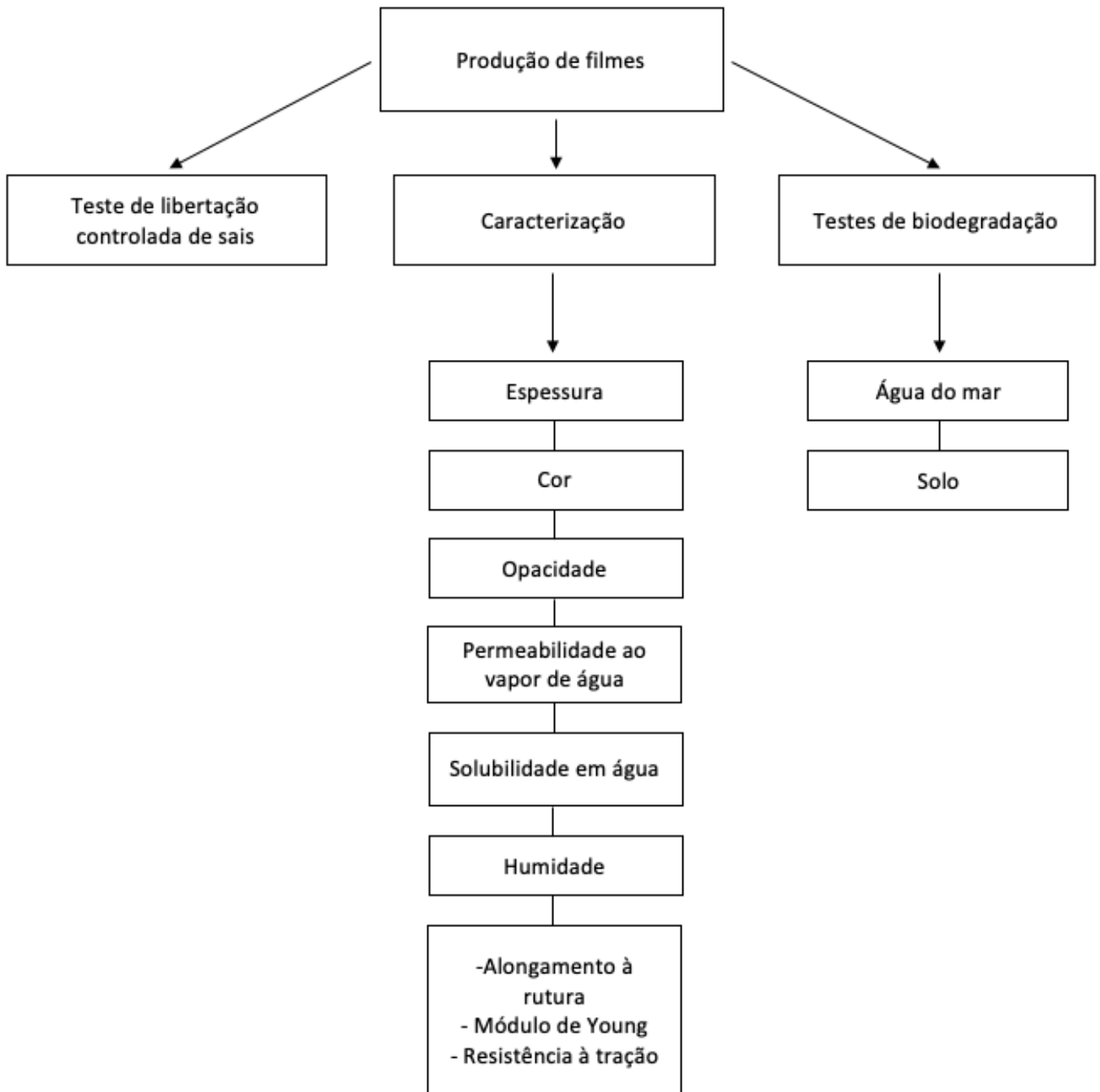


Figura 1.4. Esquematização do trabalho experimental.

## Capítulo 2 - Materiais e métodos

### 2.1. Preparação dos filmes

Para a preparação dos filmes de pectina (SIGMA, 50-70% grau de esterificação) de maçã (filme controlo) 0,5 g de pectina foram adicionados a 25 mL de água previamente aquecida a 75 °C com agitação durante 10 min. Posteriormente a solução foi homogeneizada (Ultra Turrax T25 Janke&Kunkel) a 20 500 rpm durante 5 min, e de seguida foram adicionados 1,5 mL de glicerol, com agitação durante 1 h a 40 °C.

Para a preparação dos filmes com salicórnia desidratada em pó, 0,75 g (valor baseado em testes preliminares com o objetivo de produzir um filme homogéneo) de salicórnia (< 0,063 mm; teor de humidade = 7%) foram inicialmente adicionados a 25 mL de água previamente aquecida a 75 °C com agitação durante 10 min. Após esse período seguiu-se a mesma metodologia anteriormente referida para os filmes de pectina.

Posteriormente a solução foi desgaseificada num exsiccador aplicando vácuo durante 5 min. De seguida as soluções formadoras de filme foram colocadas a secar em placas de Petri (90 cm de diâmetro) de polipropileno durante 48 h a 25 °C.

### 2.2. Caracterização dos filmes

#### 2.2.1. Permeabilidade ao vapor de água e espessura

A determinação da permeabilidade ao vapor de água dos filmes foi determinada por gravimetria, baseada no procedimento ASTM E96-92, com algumas alterações (Bourtoom & Chinnan, 2008).

50 mL de água destilada foi utilizada para encher a célula de permeação de modo a gerar uma pressão de vapor de 100% RH (2337 Pa a 20 °C), que foi selada na parte superior com uma película. De seguida, as células foram pesadas com uma balança analítica (Mettler AE200) e colocadas no interior de um exsiccador contendo sílica (0% RH; 0 Pa pressão de vapor de água; a circulação de ar mantida constante utilizando um ventilador dentro do exsiccador). As mudanças relativas ao peso das células foram registadas em intervalos de tempo de 2 h de modo a registar a perda de humidade ao longo

do estudo, até que atingisse um estado estável. O valor de PVA ( $\text{kg Pa}^{-1} \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) das amostras analisadas foi determinado pela seguinte equação (1):

$$\text{PVA} = \frac{\text{TTVA} \times X}{\Delta P} \quad (1)$$

TTVA = taxa de transmissão de vapor de água ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) através do filme calculada a partir da inclinação da curva dividida pela área do filme; X = espessura do filme (m);  $\Delta P$  = diferença parcial de pressão de vapor (Pa) através dos dois lados do filme.

Para a medição da espessura, foram feitas 3 medições aleatórias em cada amostra em análise em pontos diferentes através de um micrómetro digital (No. 293-5, Mitutoyo, Japão). Foram utilizados valores médios para calcular a PVA. Este estudo foi feito em triplicado para cada um dos filmes.

### 2.2.2. Cor e opacidade

A medição da cor foi baseada no método reportado por Martins et al. (2010). Foi utilizado o colorímetro (Minolta CR 400, Tóquio, Japão), previamente calibrado ( $Y=93,5$ ,  $x=0,3114$ ,  $y=0,3190$ ) com um azulejo branco padrão (certificado pela UE) em que se registou o espectro da luz refletida para determinar os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . Para o cálculo da opacidade dos filmes foi utilizada a relação entre a opacidade de cada amostra num padrão preto ( $Y_b$ ) e a opacidade de cada amostra num padrão branco ( $Y_w$ ), tal como a equação (2) demonstra:

$$Y_b/Y_w \times 100 \quad (2)$$

Foram realizadas três medições de cada amostra, e foram testadas três amostras de cada filme.

### 2.2.3. Solubilidade e % de humidade

O parâmetro solubilidade da água dos filmes foi baseado na metodologia utilizada por Casariego et al. (2009).

A solubilidade das amostras foi determinada como a percentagem de material solúvel após 24 h de imersão em água. O filme foi recortado em forma de disco (2 cm de diâmetro), seco numa estufa a 105 °C até atingir um peso constante para obtenção da matéria seca inicial das amostras. De seguida, colocou-se a amostra em 50 mL de água desionizada e suavemente agitada (20 °C, 24 h). Ao fim de 24 h, as amostras insolubilizadas foram filtradas e secas na estufa (105 °C, 24 h) de modo a determinar o peso da matéria seca que não foi solúvel em água.

O cálculo da solubilidade foi efetuado em percentagem, através da seguinte equação (3):

$$(M_i - M_f) / M_i \times 100 \quad (3)$$

em que,  $M_i$  é a massa inicial e  $M_f$  é a massa final da amostra. Este estudo foi feito em triplicado para cada um dos filmes.

#### 2.2.4. Medidas de textura

Para a medição das propriedades mecânicas foi utilizado um texturómetro (TA.TX Plus Texture Analyzer), com o apoio do programa "Exponent - versão 6.1.16" (Stable Micro Systems, Surrey, UK, Inglaterra), de acordo com o método padrão D882-02 (ASTM, 2002).

As amostras foram recortadas (20 mm x 100 mm) e colocadas em garras de tração. A separação inicial da pega foi de 80 mm e a velocidade da cabeça transversal de 1,0 mm/s. A resistência à tração (força/área de secção transversal inicial) e o alongamento na rutura foram calculados diretamente a partir das curvas de força VS curvas de alongamento, utilizando o software "Exponent". O módulo de Young foi calculado como a declive da porção linear inicial desta curva. Foram feitas seis medições de cada amostra.

## **2.3. Testes de Biodegradação**

### 2.3.1. Água do mar

O teste de biodegradação dos filmes em água do mar foi baseado na metodologia utilizada por Accinelli et al. (2012), com algumas alterações.

Os filmes produzidos foram recortados (3x2 cm) e submersos em 300 mL de água do mar (pH=7,20). As amostras foram colocadas com agitação a 150 rpm (agitador Edmund Buhler-7400 Tubingen) e a 25 °C, de modo a simular a agitação existente no mar.

Foi efetuado um registo fotográfico ao longo do tempo para verificar a biodegradação dos filmes. Este estudo foi realizado em triplicado para cada um dos filmes.

### 2.3.2. Terra

O teste de biodegradação em terra foi baseado na metodologia utilizada por Altaee et al. (2016), com algumas adaptações.

Os filmes produzidos foram recortados (3x2 cm) e colocados num interior de uma rede de polietileno perfurada (5x4 cm; abertura de malha 4 mm). Os filmes foram colocados em terra (Eco Grow, pH= 5,5-6,5; Humidade= 50-60%; Condutividade= 0,2-1,2 CE; Azoto 80-150 mg/L; Fósforo= 80-150 mg/L; Potássio 80-150 mg/L; Matéria Orgânica= > 70%) a uma distancia de 11 cm da superfície num vaso (71x26x25,5 cm) e com uma distancia de 5 cm entre cada filme.

A terra foi regada com 500 mL de água cada 7 dias de estudo e mantida a 25 °C ao longo do estudo. Foi efetuado um registo fotográfico ao longo do tempo para verificar a biodegradação dos filmes. Este estudo foi realizado em triplicado para cada um dos filmes.

## **2.4. Teste de libertação controlada de sais**

Para testar a libertação de sais provenientes do filme com salicórnia, os filmes (1 cm<sup>2</sup>) foram colocados em 5 mL de água destilada (pH =5,75) e armazenados a 5, 25 e 45

°C (Fitoclíma Pol-Eko Aparatura) com tempos de exposição diferentes (5 °C - 0-540 min; 25 °C - 0-360 min; 45 °C - 0-180 min).

A condutividade (Crison 525) foi medida após cada tempo de exposição para as diferentes temperaturas, e o equipamento foi calibrado com diferentes soluções de KCl. As amostras foram analisadas em triplicado.

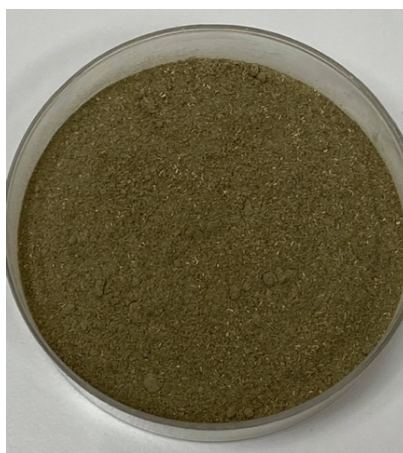
## 2.5. Análise estatística

Os resultados foram expressos com a média e desvio padrão de pelo menos três réplicas. Os dados experimentais foram analisados com o software IBM SPSS – Statistical Product and Service Solutions versão 26 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Foi efetuada uma análise com o teste t para detetar diferenças significativas entre os dois tipos de filme para cada parâmetro analisado. O nível de significância utilizado foi de 0,05.

## Capítulo 3 -Resultados e discussão

O pó de salicórnia desidratado e utilizado na produção do filme é apresentado na fig. 3.1.

Os filmes desenvolvidos, controlo e salicórnia (fig. 3.2.) foram analisadas quanto a parâmetros físico-mecânicos e morfológicos.



*Figura 3.1. Pó de salicórnia desidratado.*

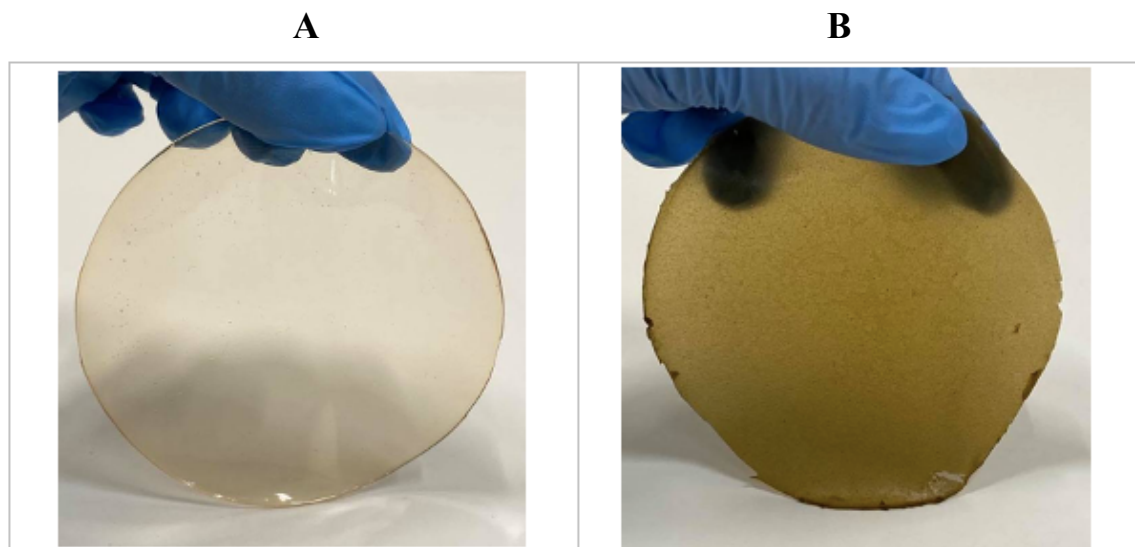


Figura 3.2. (A) Filme controle (B) Filme com salicórnia.

### 3.1. Caracterização dos filmes

De acordo com os resultados apresentados na tabela 3.1., é possível verificar que para a maioria dos parâmetros analisados existiram diferenças significativas entre as amostras, com exceção do parâmetro humidade.

Tabela 3.1. Resultados dos parâmetros físico-mecânicos.

	<b>Filme controle</b>	<b>Filme com salicórnia</b>
<b>Espessura (mm)</b>	0,18 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>Cor</b>		
<b>L*</b>	81,20 ± 0,70 <sup>a</sup>	48,84 ± 1,60 <sup>b</sup>
<b>a*</b>	3,29 ± 0,16 <sup>a</sup>	4,96 ± 0,30 <sup>b</sup>
<b>b*</b>	12,74 ± 0,75 <sup>a</sup>	28,62 ± 0,51 <sup>b</sup>
<b>Opacidade (%)</b>	10,87 ± 0,05 <sup>a</sup>	30,04 ± 1,49 <sup>b</sup>
<b>Permeabilidade ao vapor de água (g/(m.s.Pa))</b>	1,24x10 <sup>-9</sup> ± 6,58x10 <sup>-11a</sup>	1,52x10 <sup>-9</sup> ± 1,09x10 <sup>-10b</sup>
<b>Solubilidade em água (%)</b>	11,56 ± 5,56 <sup>a</sup>	50,50 ± 5,02 <sup>b</sup>
<b>Humidade (%)</b>	65,47 ± 8,50 <sup>a</sup>	60,47 ± 3,92 <sup>a</sup>
<b>Alongamento à rutura (%)</b>	3,91 ± 0,62 <sup>a</sup>	5,89 ± 0,29 <sup>b</sup>
<b>Módulo de Young (MPa)</b>	0,93 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,010 ± 0 <sup>b</sup>
<b>Resistência à tração (MPa)</b>	4,19 ± 0,82 <sup>a</sup>	0,13 ± 0,15 <sup>b</sup>

### 3.1.1. Espessura

Relativamente à espessura, foi possível verificar que existe um ligeiro aumento para o filme com salicórnia. Este aumento da espessura pode ser explicado pela incorporação da massa de salicórnia no filme, o que contribuiu para uma maior massa sólida na matriz polimérica.

De acordo com o estudo efetuado por Hosseini et al. (2015), o aumento da espessura dos filmes pode estar relacionado com o aumento do teor de matéria seca. Tendência semelhante foi observada para filmes com incorporação de a-tocoferol, que resultou igualmente no aumento de espessura aquando da adição deste componente (Martins et al., 2012).

### 3.1.2. Cor

Os parâmetros de cor para cada filme revelam que a adição de salicórnia provocou uma diminuição de  $L^*$  e um aumento nos valores de  $a^*$  e  $b^*$ .

O filme controlo, tal como demonstram os resultados, era incolor, claro e translúcido, comprovado pelo alto valor do parâmetro  $L^*$ . A diminuição do parâmetro  $L^*$  e respetivo escurecimento do filme com salicórnia é associado à adição de salicórnia, que tem a capacidade de tornar o filme mais escuro devido aos pigmentos existentes nesta planta.

As clorofilas, são os pigmentos naturais que existem em maior abundância na planta. A coloração “verde-acastanhada” do filme com salicórnia deve-se à presença de pigmentos. De acordo com Heaton & Marangoni. (1996), a perda de cor verde acontece devido ao desvanecimento da cor verde da clorofila transformando-se num castanho, característico da feofitina. Este fenómeno é conhecido por feofitinação, e acontece quando o magnésio do centro da molécula de clorofila é substituído pelo hidrogénio (Streit et al., 2005).

Estudos realizados por Nisar et al. (2019) vão de encontro resultados obtidos neste estudo, verificando que filmes com pectina apresentaram tons claros e incolores. O

mesmo autor afirma que o escurecimento ou, diminuição dos valores de  $L^*$  pode ser explicado pelo facto de existirem polifenóis incorporados nos filmes de pectina.

A adição de salicórnia nos filmes afetou também os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ . Os pigmentos presentes na salicórnia contribuíram para um filme mais amarelado

### 3.1.3. Opacidade

De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que o filme com salicórnia foi bastante mais opaca que o filme controlo, uma vez que a salicórnia contém pigmentos que vão alterar este parâmetro.

Este aumento de opacidade, pode ser explicado pela introdução de salicórnia no filme, que confere tom acastanhado (Streit et al., 2005).

Segundo estudos efetuados por Nisar et al. (2019) os valores obtidos pelos autores corroboram os obtidos neste estudo, pois os valores de opacidade para o filme controlo de pectina foram inferiores aos valores da amostra com adição de polifenóis de maçã.

### 3.1.4. Permeabilidade ao vapor de água e espessura

Os resultados obtidos demonstram que existe um ligeiro aumento na permeabilidade ao vapor de água para o filme com salicórnia.

Segundo Dias (2008), e em concordância com os resultados obtidos, o aumento de permeabilidade no filme pode estar relacionado com a maior disponibilidade de grupos hidroxilo para a ligação a moléculas de água.

No estudo de Meneguín et al. (2014), os valores mais elevados de permeabilidade corresponderam às amostras cuja espessura é maior, tal como o sucedido no presente estudo. Tal relação pode ser explicada pela particularidade de filmes mais espessos terem capacidade de absorver mais moléculas de água devido à sua maior massa polimérica.

No entanto, e ao invés dos nossos resultados surge o estudo efetuado por Nisar et al. (2019) onde a PVA diminuiu com a adição de componentes ricos em polifenóis. Segundo o autor, a mobilidade das cadeias de pectina foi afetada negativamente pela interação com os polifenóis, pelo que a difusão ou penetração das moléculas de água através das membranas foi reduzida, havendo uma diminuição dos grupos hidrofílicos.

A permeabilidade ao vapor de água apresenta os maiores valores de aumento para filmes em que existe a junção de todos os componentes dos filmes (misturas de elagitaninos de frutos verdes de rubus, pectina de baixo metoxil e goma de tara), verificando-se o mesmo comportamento para o nosso filme, aquando da adição de salicórnia à pectina (Chen et al., 2020).

### 3.1.5. Solubilidade em água

Através dos resultados obtidos foi possível verificar que os filmes com salicórnia apresentam valores bastante superiores em relação aos filmes de pectina, o que significa que a salicórnia tem capacidades de aumentar a solubilidade dos filmes. Estes resultados devem-se ao facto da salicórnia ser rica em sais orgânicos, como é o exemplo do sódio, magnésio ou cálcio, que são solúveis em contacto com a água, e por isso, a amostra apresenta valores tão altos de solubilidade (Barreira et al., 2017). Também o “swelling” ou inchaço é uma característica que tal como a solubilidade podem afetar as propriedades de resistência dos filmes em água. Segundo Nisar et al. (2019), os valores mais elevados de solubilidade em água e o grau de “swelling” dos filmes podem ser associado à presença de grupos hidrofílicos. Os mesmo autores obtiveram um comportamento idêntico ao deste estudo, havendo um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) na solubilidade e consequentemente do “swelling” após a adição de polifenóis de maçã, no presente estudo, após adição de salicórnia desidratada.

Num estudo realizado com filmes de pectina foi verificado o mesmo comportamento com a adição de diferentes concentrações de polifenóis de maçã, resultando num aumento de solubilidade (Nisar et al., 2019).

O estudo efetuado por Nisar et al. (2019) corrobora os resultados obtidos, ao afirmar que a solubilidade do filme com pectina é inferior ao filme que tem adição de componentes que contêm grupos hidrofílicos de polifenóis que podem interagir com moléculas de água.

### 3.1.6. Humidade

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a humidade foi a única característica que não apresentou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os filmes controlo e com salicórnia. Esta semelhança deve-se ao facto de os filmes apresentarem na sua composição o mesmo volume de água.

Segundo Pereda et al. (2011), o teor de humidade é o parâmetro que aborda o total de volume vazio ocupado pelas moléculas de água na microestrutura de rede dos filmes.

Resultados semelhantes foram obtidos por Leon-Bejarano et al. (2020) em que a adição de extratos não teve qualquer efeito significativo na percentagem de humidade dos filmes.

### 3.1.7. Propriedades mecânicas

De acordo com as análises realizadas e com a análise visual, os resultados obtidos são concordantes. O filme controlo apresentou uma estrutura mais resistente, e por esse motivo o valor de RT ser mais elevado, enquanto que o filme com salicórnia se apresentou bastante mais frágil. No entanto, para o AR verificou-se o contrário, pois o filme com salicórnia apresentou-se mais elástico, e por isso o seu valor de AR foi superior. O filme controlo, e de acordo com a característica de ser bastante mais resistente, torna-a menos elástica, corroborado assim com os valores obtidos neste parâmetro.

Segundo Shaw et al. (2002), a diminuição da resistência do filme (RT) e o aumento da capacidade de alongamento (AR) pode ser atribuído à redução do número de ligações cruzadas intermoleculares entre moléculas de pectina dentro dos filmes.

Resultados semelhantes ao deste estudo foram obtidos por Gouveia et al. (2019), onde verificaram que a adição de um componente aos filmes de pectina provocou uma diminuição na resistência à tração, principalmente com adição de CHCl. Este resultado está relacionado como uma redução nas ligações intermoleculares entre cadeias de pectina, contribuindo deste modo para um material mais fraco (Gouveia et al., 2019).

Os resultados de Meerasri & Sothornvit (2020) apresentaram o mesmo comportamento, existindo uma diminuição de resistência à tração e um aumento de alongamento à rutura com a adição de ácido gama-aminobutírico e de glicerol.

### 3.2. Biodegradação em água do mar

A figura 3.3 apresenta os filmes controlo e com salicórnia em água do mar ao longo do teste de biodegradação em que se verificou uma ligeira subida de pH quer para o filme controlo como para o filme com salicórnia (pH inicial:7,2; pH final: 8,2).No que diz respeito à análise visual, foi notório que ao longo da experiência os filmes sofreram bastantes alterações, na medida em que é perceptível a diminuição de massa das amostras em água salgada.

Após o 1º dia as amostras mantiveram-se com o aspeto inicial, sendo que após este período a água do mar em que estas se encontravam submersas começou a apresentar sinais de turvação para o filme com salicórnia, enquanto que para o controlo esta alteração não se evidenciou tanto. Esta turvação pode ser explicada pelo facto da salicórnia ser rica em sais minerais e pigmentos, que ao se dissolverem na água provocam a turvação. Ao 3º dia, a turvação começou a apresentar uma coloração esverdeada que vai de acordo com o explicado anteriormente (Barreira et al., 2017; Lima et al., 2020).

No 8º dia, foi possível verificar que ambas amostras de filmes (controlo e salicórnia), começaram a sofrer alterações, ou seja, começam a dividir-se em fragmentos. Neste período também foi notória a turvação da água para o filme controlo, possivelmente provocada pela libertação de pectina. Segundo um estudo de Syranidou et al. (2019), estas alterações físico-químicas das superfícies poliméricas juntamente com as alterações de fluabilidade do filme podem ocorrer devido à formação de biofilme e de processos de biodegradação.

Ao 16º dia, verificou-se de modo bastante mais visível as mudanças a nível da massa das amostras, uma vez que estas se começaram a dissolver consideravelmente na água do mar. Este facto pode ser explicado devido ao “swelling” do filme, pois tanto o “swelling” como a solubilidade do filme podem afetar diretamente as propriedades de resistência da água dos filmes, particularmente se ocorrer num ambiente húmido (Nisar et al., 2019).

Ao 19º dia verificou-se uma dissolução, onde foi evidente uma perda de massa uma vez que deixa de ser tão perceptível a presença do filme na água.

Ao invés do que se verificou no início do estudo, em que se verificou turvação, ao 25º dia, a água do mar começou a perder sinais de turvação, principalmente para o filme com salicórnia, tendo em conta que apresenta um aspeto bastante mais translucido, ao contrário do observado até então.

No fim do estudo (30 dias), verificou-se que ambos tipos de amostras sujeitas ao teste encontravam-se bastante fragmentadas, apresentando um aspeto de “flocos” reduzidos, e perdendo completamente a forma inicial de retângulo e a maioria da massa inicial. A velocidade de biodegradação do filme, está relacionada com diferentes fatores entre os quais, o “swelling”, o movimento/agitação da água salgada, à presença de microrganismos na água salgada, o volume de água salgada utilizada em relação ao filme e a existência de oxigenação.

Relativamente à fragmentação verificada ao fim de 8 dias, dados obtidos por Alvarez-Zeferino et al. (2015) corroboram os deste estudo ao verificar baixos níveis de biodegradação, no entanto, estes apresentavam uma taxa mais elevada de perda de integridade física. Os autores relatam que esta combinação de fenómenos pode levar à fragmentação antes de ocorrer uma biodegradação significativa.

Também Nakayama et al. (2019) efetuou testes em água do mar para testar a biodegradação e também através de carência bioquímica de oxigénio. Os autores concluíram que tal como os resultados deste estudo, existe biodegradação dos filmes em água do mar ao fim de 2 semanas, no entanto, os investigadores verificaram que em sistema fechado, a 27 °C existe uma perda de mais de 60 % em 4 semanas e para 20 °C uma perda de 40% da massa. Para os testes de campo (realizados no mar), houve maior perda, havendo ao fim de 2 semanas perdas de aproximadamente 50% de peso e ao fim de 4 semanas o peso foi reduzido em mais de 80%. Segundo Nakayama et al. (2019) a biodegradação em água do mar é mais rápida tendo em conta as diversas vidas existentes no mar, além de microrganismos, como por exemplo protozoários ou plâncton e também os efeitos físico-químicos como a luz solar, ondas, sais inorgânicos, entre outros.

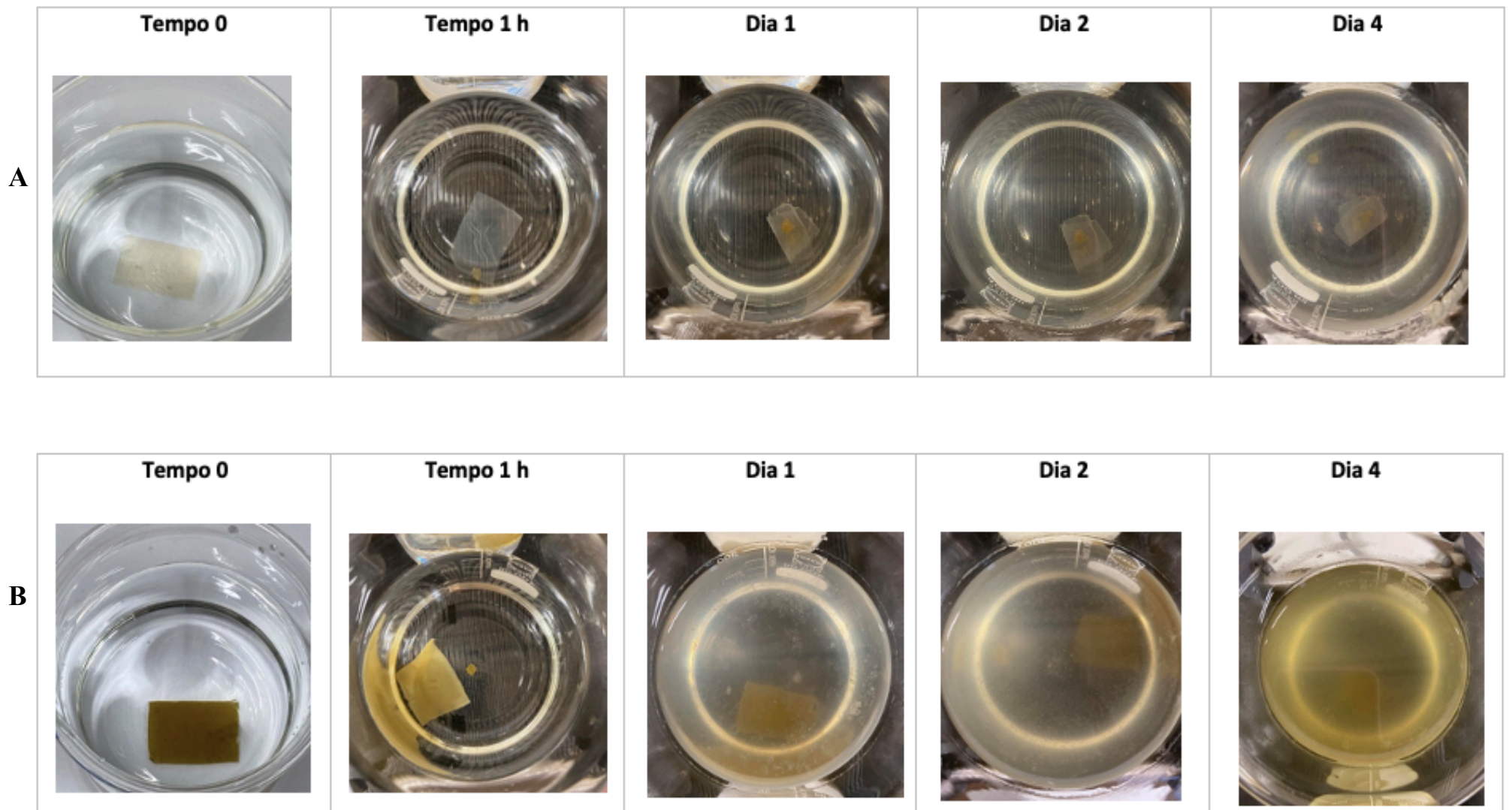


Figura 3.3. Teste de biodegradação. (A) Filme controlo (B) Filme com salicórnica.

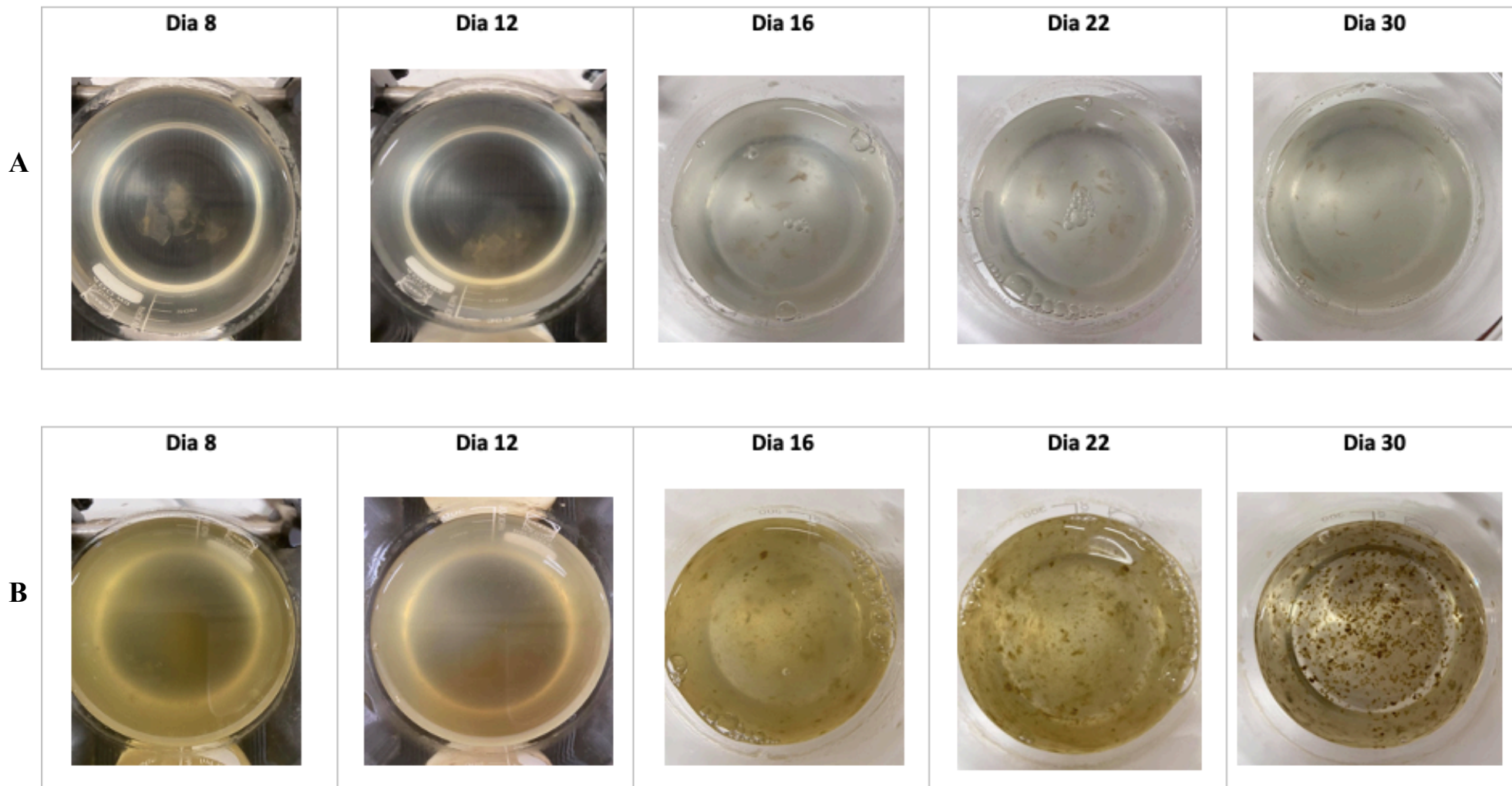


Figura 3.3. Continuação.

### 3.3. Biodegradação na terra

A figura 3.4. apresenta o filme controlo e com salicórnia ao longo do teste de biodegradação.

Ao fim do 1º dia, verificou-se algumas mudanças. Apesar de não ter ocorrido perda de massa, ou seja, não ter havido perdas de filme, este apresentava sinais de ter absorvido água. Segundo Nisa et al. (2015), existe uma relação entre a solubilidade e a resistência estrutural dos filmes.

Ao fim de 2 dias o filme controlo manteve-se idêntico comparativamente ao tempo 0, no entanto, o filme com salicórnia começou a apresentar sinais de biodegradação uma vez que o filme apresentou uma menor área. Este resultado está relacionado com o facto de o filme com salicórnia apresentar uma elevada solubilidade em água e consequentemente ter absorvido água do solo, derivado às características do solo, em particular a sua humidade.

Ao fim de 14 dias verificou-se uma perda superior a 50% da massa inicial em ambos os filmes, sendo que após 21 dias essa perda foi de cerca de 90%, valor indicado pela norma Europeia EN 13432, para as embalagens serem consideradas biodegradáveis por ação biológica, num período de 6 meses (Martins et al., 2019). Esta degradação está relacionada com a ação dos microrganismos existentes na terra. De acordo com Shah et al. (2008), os microrganismos responsáveis pela biodegradação são bactérias e fungos. No entanto, nem todos os microrganismos têm estas capacidades pois os responsáveis por este processo diferem de acordo com as suas condições ótimas de crescimento no solo. Além do fósforo, tal como mencionado anteriormente, também o azoto é um componente da terra bastante importante, uma vez que é um nutriente imprescindível para os microrganismos decompor o carbono (Briassoulis & Mistriotis, 2018).

Testes realizados por Jaramillo et al. (2016) apresentaram resultados que vão de encontro com os deste estudo. Os autores observaram que ao colocar amostras de filmes (20x20 mm) a uma profundidade de 10 mm começaram a existir sinais de biodegradação ao fim de 6 dias, e ao fim de 12 dias existiu uma maior mudança na decomposição dos filmes.

Também num estudo efetuado por Rech et al. (2020) com a duração de 60 dias, o autor afirmou que as características particulares do solo podem ser responsáveis por este fenómeno, como é o caso da disponibilidade de fósforo que contribui para uma maior carga de fungos. Neste estudo, foi utilizado um solo cuja composição tem fósforo, que de acordo com o autor vai ajudar na biodegradação do filme.

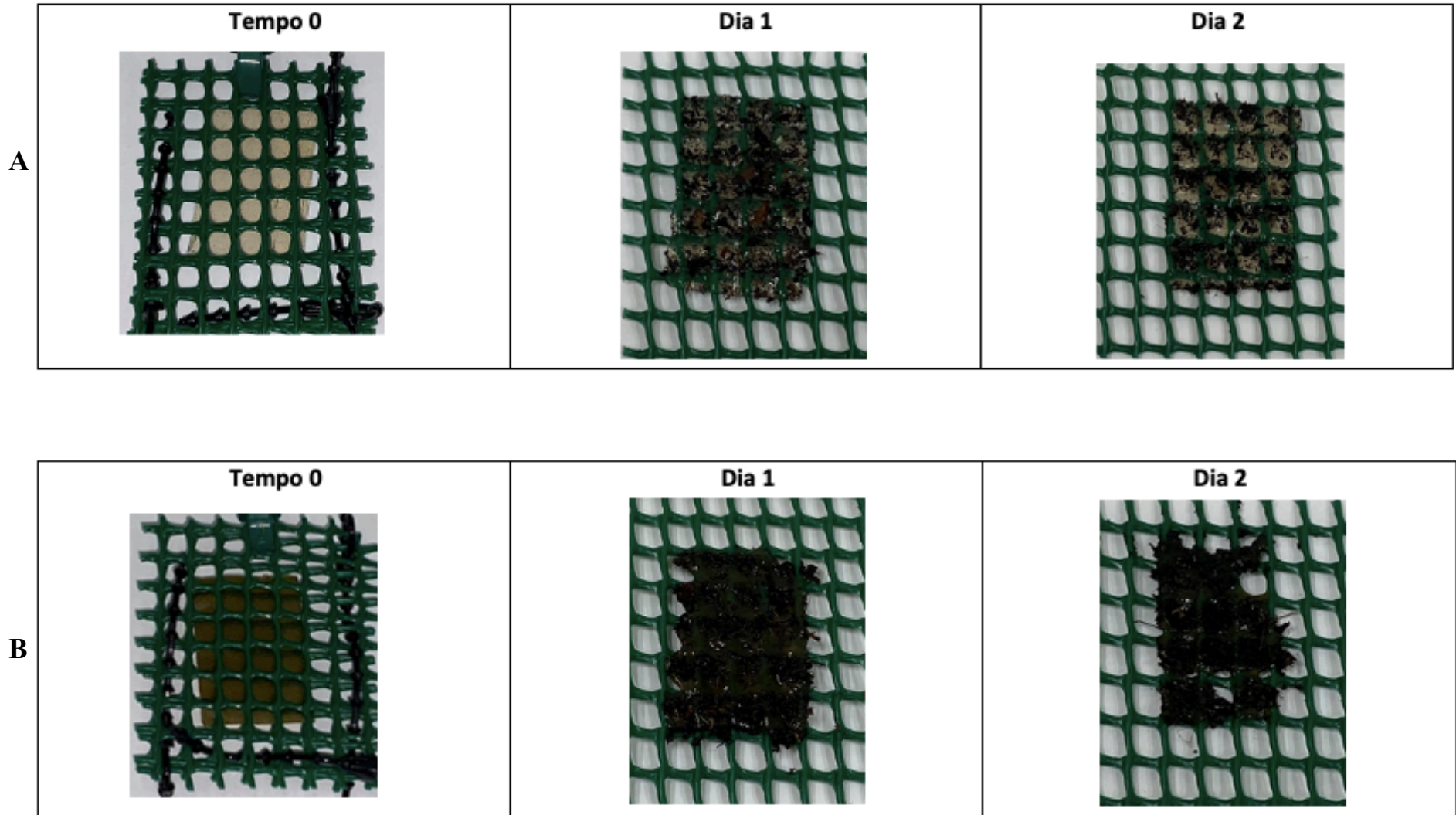


Figura 3.4. Teste de biodegradação em terra. (A) Filme controlo (B) Filme com salicórnia.

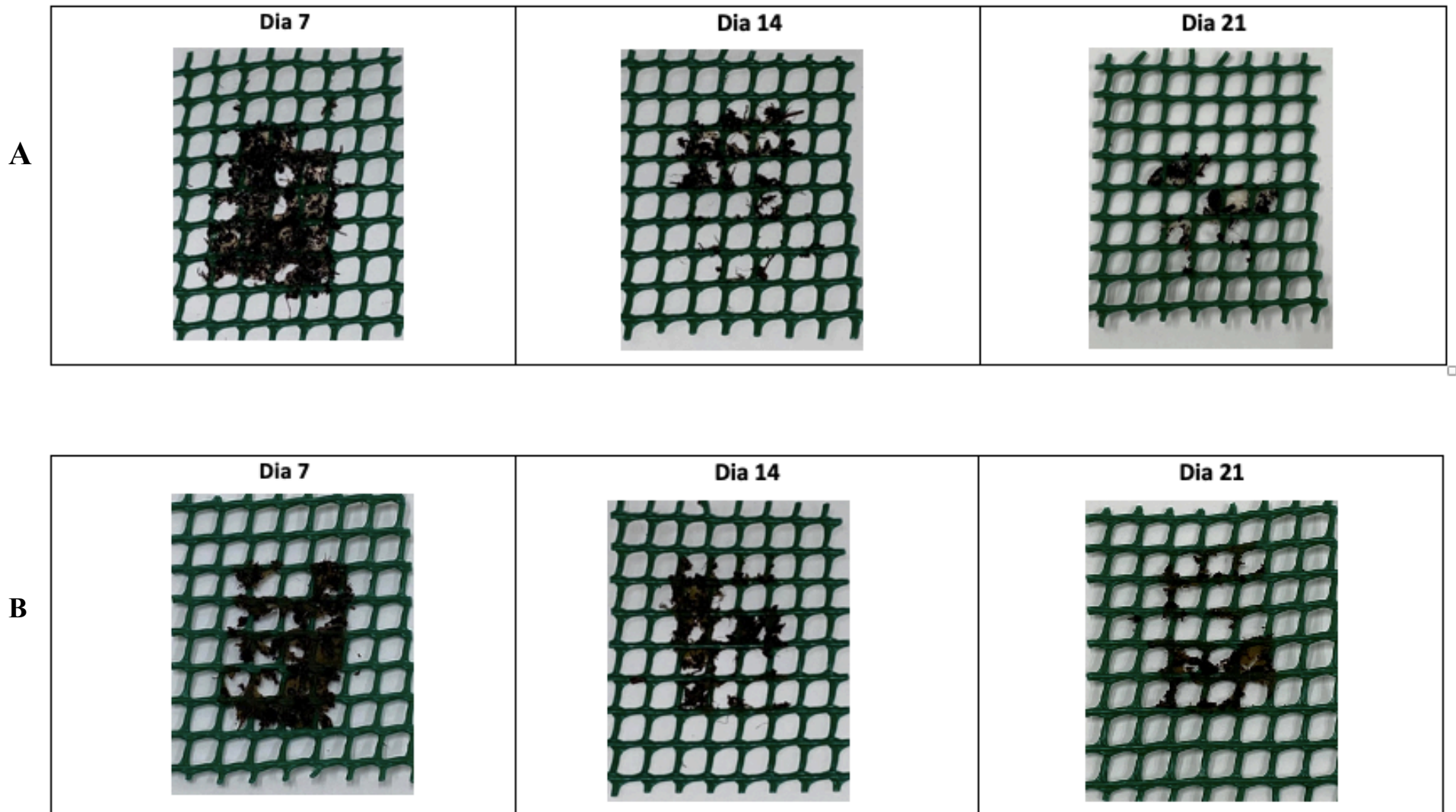


Figura 3.4. Continuação.

### 3.4. Teste de libertação controlada de sais

De acordo com os resultados observados, verificou-se uma libertação de sais dos filmes mais rápida à temperatura mais elevada do estudo (45 °C), tal como é possível verificar na fig. 3.5. Ao fim de 15 minutos, a libertação máxima foi atingida, apresentando um valor de 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Para as temperaturas de 25 °C e 5 °C, a libertação ocorreu de uma forma mais lenta, verificando-se a libertação máxima ao fim de 60 minutos e 120 min, respetivamente. Após essa libertação os valores de condutividade estabilizaram. Esta estabilização pode ser explicada pela solubilização da solução e grau de saturação. O filme controlo apresentou uma condutividade máxima de cerca de 120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para todas as temperaturas em estudo. Segundo Durán et al. (2010) a velocidade de dissolução de um sólido tende a aumentar devido ao aumento da área superficial, fazendo com que seja possível uma área de contato maior das partículas do soluto com o solvente. Neste estudo é possível observar que ao início e a temperaturas mais elevadas, os valores de condutividade foram mais elevados em relação às temperaturas mais baixas.

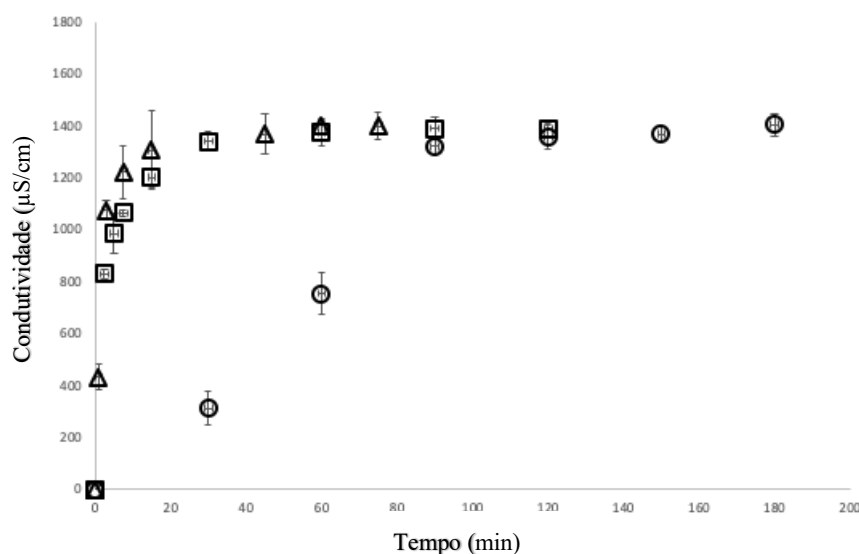


Figura 3.5. Teste de libertação controlada de sais. ○: 5 °C; □: 25 °C; △: 45 °C.

Segundo Brunella et al. (2016), o aumento da temperatura pode causar a libertação de moléculas, e a taxa de difusão pode ser afetada por esta libertação. Ao atingir os valores mais elevados mais rapidamente, consequentemente atingirá o equilíbrio mais facilmente, em que já não é possível dissolver mais partículas.

Segundo Aydin. (2020) o peso molecular dos compostos ativos dita a sua capacidade de serem aprisionados dentro da matriz polimérica, assim a mobilidade dentro da matriz depende do seu tamanho, a menos que tenham interações químicas com o polímero. Contudo, quanto mais baixo o peso molecular de compostos incorporadas, mais rápida é a libertação.

De acordo com estudos efetuados por Suppakul (2016) a maior libertação a altas temperaturas é associada ao facto de a densidade da matriz diminuir devido ao “swelling” das partículas, facilitando deste modo a libertação do composto. Assim, segundo o autor, a taxa de difusão do composto pode ser aumentada com o aumento da temperatura.

Os resultados obtidos por Murata et al. (2019) apresentaram um comportamento semelhante ao do presente estudo. Foi possível verificar semelhanças na medida em que existiu uma elevada libertação inicial e passado um determinado intervalo de tempo os valores estabilizaram.

## Capítulo 4 - Conclusão

A realização deste trabalho permitiu o desenvolvimento e a caracterização de uma embalagem ativa biodegradável à base de pectina com a incorporação de *Salicornia ramosissima* em pó.

Foi possível concluir que a introdução de salicórnia modificou a estrutura dos filmes de pectina e assim as suas características físico-mecânicas. O filme com salicórnia apresentou-se mais escuro e opaco, com uma permeabilidade ao vapor de água ligeiramente superior, com menor resistência à tração e com maior alongamento à ruptura comparativamente com o filme de pectina.

Ambos os filmes foram considerados biodegradáveis ao fim de 21 dias em terra e ao fim de 30 dias em água do mar.

Concluiu-se também que a velocidade de libertação de sais provenientes do filme com salicórnia aumentou com a temperatura de armazenamento.

Este trabalho contribui para o desenvolvimento de novos sistemas de embalagem biodegradáveis com vista à aplicação em alimentos e extensão do seu tempo de vida útil.

## **Perspetivas de trabalho futuro**

Como perspectivas de trabalho futuro seria interessante estudar:

- A libertação controlada de sais em meios simulantes com diferente pH;
- As propriedades antimicrobianas dos filmes;
- A aplicação dos filmes em diferentes matrizes alimentares, como peixe, queijo e fruta, realizando testes de tempo de prateleira para observar a sua eficiência.

## Referências

- Accinelli, C., Saccà, M. L., Mencarelli, M., & Vicari, A. (2012). Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. *Chemosphere*, *89*(2), 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.028>
- Ahmad, P., & Prasad, M. N. V. (2012). Prospects of halophytes in understanding and managing abiotic stress tolerance. *Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change*, 1–515. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0815-4>
- Al-Tayyar, N. A., Youssef, A. M., & Al-hindi, R. (2020). Antimicrobial food packaging based on sustainable bio-based materials for reducing foodborne pathogens: A review. *Food Chemistry*, *310*(October 2019), 125915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125915>
- Altaee, N., El-Hiti, G. A., Fahdil, A., Sudesh, K., & Yousif, E. (2016). Biodegradation of different formulations of polyhydroxybutyrate films in soil. *SpringerPlus*, *5*(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2480-2>
- Alvarez-Zeferino, J. C., Beltrán-Villavicencio, M., & Vázquez-Morillas, A. (2015). Degradation of plastics in seawater in laboratory. *Open Journal of Polymer Chemistry*, *05*(04), 55–62. <https://doi.org/10.4236/ojpcem.2015.54007>
- Ambiente, M. (2020). *OMS | Poluição atmosférica*. 2018–2020.
- Ameixa, O. M. C. C., Marques, B., Fernandes, V. S., Soares, A. M. V. M., Calado, R., & Lillebø, A. I. (2016). Dimorphic seeds of *Salicornia ramosissima* display contrasting germination responses under different salinities. *Ecological Engineering*, *87*, 120–123. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.019>
- Appannagari, R. R. (2017). North asian international research journal of environmental pollution causes and consequences : a study. *North Asian International Research Journal of Social Science & Humanities*, *3*, 2454–9827.
- Aydin, N. E. (2020). Effect of temperature on drug release: production of 5-fu-encapsulated hydroxyapatite-gelatin polymer composites via spray drying and analysis of in vitro kinetics. *International Journal of Polymer Science*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8017035>
- Barreira, L., Resek, E., Rodrigues, M. J., Rocha, M. I., Pereira, H., Bandarra, N., da Silva, M. M., Varela, J., & Custódio, L. (2017). Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? *Journal of Food Composition and Analysis*, *59*, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.003>
- Bertuzzi, M. A., Castro Vidaurre, E. F., Armada, M., & Gottifredi, J. C. (2007). Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering*, *80*(3), 972–978. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.016>
- Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. *LWT - Food Science and Technology*, *41*(9), 1633–1641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.014>
- Braga, L. R., & Silva, F. M. (2017). Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. *Brazilian Journal of Food Research*, *8*(4), 170. <https://doi.org/10.3895/rebrapa.v8n4.4602>
- Briassoulis, D., & Mistriotis, A. (2018). Key parameters in testing biodegradation of bio-based materials in soil. *Chemosphere*, *207*(2018), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.024>
- Brunella, V., Jadhav, S. A., Miletto, I., Berlier, G., Ugazio, E., Sapino, S., & Scalarone, D. (2016). Hybrid drug carriers with temperature-controlled on-off release: A simple and reliable synthesis of PNIPAM-functionalized mesoporous silica nanoparticles. *Reactive and Functional Polymers*, *98*, 31–37.

- <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2015.11.006>
- Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849–875. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0434-1>
- Canteri, M. H. G., Moreno, L., Wosiacki, G., & De Scheer, A. P. (2012). Pectin: From raw material to the final product. *Polimeros*, 22(2), 149–157. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000024>
- Casariago, A., Souza, B. W. S., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., Cruz, L., Díaz, R., & Vicente, A. A. (2009). Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1895–1902. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.007>
- Chen, Y., Xu, L., Wang, Y., Chen, Z., Zhang, M., & Chen, H. (2020). Characterization and functional properties of a pectin/tara gum based edible film with ellagitannins from the unripe fruits of *Rubus chingii* Hu. *Food Chemistry*, 325, 126964. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126964>
- Comissão Europeia. (2004). Regulamento (CE) N° 1935/2004. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 4–17.
- Costa, J. C. (2001). Tipos de vegetação e adaptações das plantas do litoral de Portugal continental. In *Homenagem (in honorio) Professor Doutor Soares de Carvalho* (pp. 283–299). [http://www.isa.utl.pt/files/pub/ensino/cdocente/Adaptacoes\\_Plantas.pdf](http://www.isa.utl.pt/files/pub/ensino/cdocente/Adaptacoes_Plantas.pdf)
- Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science and Technology*, 19(SUPPL. 1), S103–S112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.011>
- Davy, A. J., Bishop, G. F., & Costa, C. S. B. (2001). *Salicornia L.* (*Salicornia pusilla* J. Woods, *S. ramosissima* J. Woods, *S. europaea L.*, *S. obscura* P.W. Ball & Tutin, *S. nitens* P.W. Ball & Tutin, *S. fragilis* P.W. Ball & Tutin and *S. dolichostachya* Moss). *Journal of Ecology*, 89(4), 681–707. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00607.x>
- Dawson, P. L., Hirt, D. E., Rieck, J. R., Acton, J. C., & Sotthibandhu, A. (2003). Nisin release from films is affected by both protein type and film-forming method. *Food Research International*, 36(9–10), 959–968. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00116-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00116-9)
- De Lucena, C. A. A., Da Costa, S. C., Eleamen, G. R. D. A., Mendonça, E. A. D. M., & Oliveira, E. E. (2017). Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. *Polimeros*, 27, 35–41. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2223>
- Debiagi, F., Kobayashi, R. K. T., Nakazato, G., Panagio, L. A., & Mali, S. (2014). Biodegradable active packaging based on cassava bagasse, polyvinyl alcohol and essential oils. *Industrial Crops and Products*, 52, 664–670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.032>
- Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Dias, A. B. (2008). Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz by Universidade Federal de Santa Catarina, 116.
- Durán, N., Durán, M., Tasic, L., & Marcato, P. D. (2010). Tecnologia de nanocristais em fármacos. *Química Nova*, 33(1), 151–158. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000100028>
- Eça, K. S., Machado, M. T. C., Hubinger, M. D., & Menegalli, F. C. (2015). Development of active films from pectin and fruit extracts: light protection, antioxidant capacity, and compounds stability. *Journal of Food Science*, 80(11), C2389–C2396.

- <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13074>
- Fakhouri, F. M., Fontes, L. C. B., Gonçalves, P. V. de M., Milanez, C. R., Steel, C. J., & Collares-Queiroz, F. P. (2007). Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(2), 369–375. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612007000200027>
- Fernandes, A. P. S., Costa, J. B., Soares, D. S. B., de Moura, C. J., & de Souza, A. R. M. (2015). Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(2), 192–199. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4530844>
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. In *New Phytologist* (Vol. 179, Issue 4, pp. 945–963). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
- Galvis-Sánchez, A. C., Sousa, A. M. M., Hilliou, L., Gonçalves, M. P., & Souza, H. K. S. (2016). Thermo-compression molding of chitosan with a deep eutectic mixture for biofilms development. *Green Chemistry*, 18(6), 1571–1580. <https://doi.org/10.1039/c5gc02231b>
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & Macleod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 17(9), 1513–1521. <https://doi.org/10.1039/c5em00207a>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made - Supplementary Information. *Science Advances*, 3(7), 19–24. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., & Price, G. (2004). *Traceability in the U . S . Food Supply : Economic Theory and Industry Studies Library Cataloging Record* : 830.
- Gouveia, T. I. A., Biernacki, K., Castro, M. C. R., Gonçalves, M. P., & Souza, H. K. S. (2019). A new approach to develop biodegradable films based on thermoplastic pectin. *Food Hydrocolloids*, 97(May), 105175. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105175>
- Heaton, J. W., & Marangoni, A. G. (1996). Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science and Technology*, 7(1), 8–15. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)81352-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)81352-5)
- Hershko, V. (1998). *Physical properties of alginate-coated onion* ( *Mium*. 12, 195–202.
- Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2015). Fabrication of bio-nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 44, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.004>
- Huber, M., Ruiz, J., & Chastellain, F. (2002). Off-flavour release from packaging materials and its prevention: A foods company’s approach. *Food Additives and Contaminants*, 19(SUPPL.), 221–228. <https://doi.org/10.1080/02652030110072074>
- Iglesias, M. T., & Lozano, J. E. (2004). Extraction and characterization of sunflower pectin. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 215–223. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00234-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00234-6)
- Isca, V.M.S., Seca, A. M. L., Pinto, D. C. G. A., Silva, H., & Silva, A. M. S. (2015). Saliramophenol, an unprecedented natural t-butylphenol derivative from *Salicornia ramosissima* J. Woods. *RSC Advances*, 5(75), 61380–61382. <https://doi.org/10.1039/c5ra10893d>
- Isca, Vera M.S., Seca, A. M. L., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2014a). An Overview of *Salicornia* Genus: The phytochemical and pharmacological profile. *Natural Products: Research Reviews Vol. 2*, 2, 145–176.
- Isca, Vera M.S., Seca, A. M. L., Pinto, D. C. G. A., Silva, H., & Silva, A. M. S. (2014b). Lipophilic profile of the edible halophyte *Salicornia ramosissima*. *Food Chemistry*, 165,

- 330–336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.117>
- Jain, R., & Tiwari, A. (2015). Biosynthesis of planet friendly bioplastics using renewable carbon source. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 3–8. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0165-3>
- Jaramillo, M. C., Gutiérrez, T. J., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2016). Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 151, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.025>
- Kadereit, G., Ball, P., Beer, S., Mucina, L., Sokoloff, D., Teege, P., Yaprak, A. E., & Freitag, H. (2007). A taxonomic nightmare comes true: Phylogeny and biogeography of glassworts (*Salicornia* L., *Chenopodiaceae*). *Taxon*, 56(4), 1143–1170. <https://doi.org/10.2307/25065909>
- Laguette, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, 46(5), 244–282. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>
- Leon-Bejarano, M., Durmus, Y., Ovando-Martínez, M., & Simsek, S. (2020). Physical, barrier, mechanical, and biodegradability properties of modified starch films with nut by-products extracts. *Foods*, 9(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/foods9020226>
- Lima, A. R., Castañeda-Loaiza, V., Salazar, M., Nunes, C., Quintas, C., Gama, F., Pestana, M., Correia, P. J., Santos, T., Varela, J., & Barreira, L. (2020). Influence of cultivation salinity in the nutritional composition, antioxidant capacity and microbial quality of *Salicornia ramosissima* commercially produced in soilless systems. *Food Chemistry*, 333, 127525. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127525>
- Machado, B. A. S., Reis, J. H. O., Silva, J. B. da, Cruz, L. S., Nunes, I. L., Pereira, F. V., & Druzian, J. I. (2014). Obtaining nanocellulose from green coconut fibers and incorporation in biodegradable films of starch plasticized with glycerol. *Química Nova*, 37(8), 1275–1282. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140220>
- Makaremi, M., Yousefi, H., Cavallaro, G., Lazzara, G., Goh, C. B. S., Lee, S. M., Solouk, A., & Pasbakhsh, P. (2019). Safely dissolvable and healable active packaging films based on alginate and pectin. *Polymers*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/polym11101594>
- Mara, S., Franchetti, M., & Marconato, C. (2006). *Divulgação*. 29(4), 811–816.
- Maria, P., & Costa, C. (2016). *Investigating the biodegradation of the emerging pollutant paracetamol by bacteria by University of Algarve*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10400.1/9917>
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging - Roles, materials, and environmental issues: Scientific status summary. *Journal of Food Science*, 72(3). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>
- Martins, J. T., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Carmo Avides, M. D. O., & Vicente, A. A. (2010). Shelf life extension of ricotta cheese using coatings of galactomannans from nonconventional sources incorporating nisin against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3), 1884–1891. <https://doi.org/10.1021/jf902774z>
- Martins, J. T., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A. (2012). Influence of  $\alpha$ -tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.06.011>
- Martins, V. G., Romani, V. P., Martins, P. C., & Filipini, G. da S. (2019). Innovative packaging that saves food. In *Saving Food*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815357-4.00006-7>
- Meerasri, J., & Sothornvit, R. (2020). Characterization of bioactive film from pectin incorporated with gamma-aminobutyric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1285–1293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.094>
- Meneguín, A., Cury, B., Evangelista, R. (2014). Films from resistant starch-pectin dispersions intended for colonic drug delivery. *Carbohydrate Polymers*, 99, 140–149.

- <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.077>
- Murata, Y., Maida, C., & Kofuji, K. (2019). Drug release profiles and disintegration properties of pectin films. *Materials*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/ma12030355>
- Muriel-Galet, V., Cran, M. J., Bigger, S. W., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. (2015). Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components. *Journal of Food Engineering*, 149, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.007>
- Nakayama, A., Yamano, N., & Kawasaki, N. (2019). Biodegradation in seawater of aliphatic polyesters. *Polymer Degradation and Stability*, 166, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.06.006>
- Narancic, T., Verstichel, S., Chaganti, S. R., Morales-gamez, L., Kenny, S. T., Wilde, B. De, Padamati, R. B., & Connor, K. E. O. (2018). *Biodegradable plastic blends create new possibilities for end-of-life management of plastics but they are not a panacea for plastic pollution*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02963>
- Nisa, I., Ashwar, B. A., Shah, A., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2015). Development of potato starch based active packaging films loaded with antioxidants and its effect on shelf life of beef. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7245–7253. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1859-3>
- Nisar, T., Wang, Z. C., Alim, A., Iqbal, M., Yang, X., Sun, L., & Guo, Y. (2019). Citrus pectin films enriched with thinned young apple polyphenols for potential use as bio-based active packaging. *CYTA - Journal of Food*, 17(1), 695–705. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1640798>
- Pachekoski, W. M., Dalmolin, C., & Agnelli, J. A. M. (2014). Blendas poliméricas biodegradáveis de PHB e PLA para fabricação de filmes. *Polimeros*, 24(4), 501–507. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1489>
- Pereda, M., Ponce, A. G., Marcovich, N. E., Ruseckaite, R. A., & Martucci, J. F. (2011). Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1372–1381. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.001>
- Pubchem (2005). National Library of medicine. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/441476>
- Qualfood. (2003). *Qualfood: base de dados de qualidade e segurança alimentar, ambiental e HST*. <http://www.qualfood.com>
- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*, 62(3), 373–380. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00121-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00121-3)
- Rech, C. R., Cristina da Silva Brabes, K., Bagnara e Silva, B. E., Stival Bittencourt, P. R., Koschevic, M. T., Serantoni da Silveira, T. F., Utrera Martines, M. A., Caon, T., & Martelli, S. M. (2020). Biodegradation of polyhydroxybutyrate films incorporated with eugenol in different soil types. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100014>
- Ria Fresh (2020). Verduras da ria formosa. <http://riafresh.com/index.php/pt/produtos/item/4-salicornia>
- Robertson, B. G. L. (2004). Book Reviews. *Packaging technology and Science*. 333–335. doi:10.1002/pts.655
- Rozema, J., & Schat, H. (2013). Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and experimental botany*, 92, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.004>
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246–265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Shaw, N. B., Monahan, F. J., O’Riordan, E. D., & O’Sullivan, M. (2002). Physical properties

- of WPI films plasticized with glycerol, xylitol, or sorbitol. *Journal of Food Science*, 67(1), 164–167. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11377.x>
- Shiri, M., Rabhi, M., Abdelly, C., Bouchereau, A., & El Amrani, A. (2016). Moderate salinity reduced phenanthrene-induced stress in the halophyte plant model *Thellungiella salsuginea* compared to its glycophyte relative *Arabidopsis thaliana*: Cross talk and metabolite profiling. *Chemosphere*, 155, 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.080>
- Streit, N. M., Canterle, L. P., Canto, M. W. do, & Hecktheuer, L. H. H. (2005). As clorofilas. *Ciência Rural*, 35(3), 748–755. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782005000300043>
- Sueiro, A. C., Faria-Tischer, P. C. S., Lonni, A. A. S. G., & Mali, S. (2016). Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. *Química Nova*, 39(9), 1059–1064. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160118>
- Suppakul, P. (2016). Controlled release of active compounds. in *reference module in food science*. elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.03215-7>
- Surget, G., Stiger-Pouvreau, V., Le Lann, K., Kervarec, N., Couteau, C., Coiffard, L. J. M., Gaillard, F., Cahier, K., Guérard, F., & Poupart, N. (2015). Structural elucidation, in vitro antioxidant and photoprotective capacities of a purified polyphenolic-enriched fraction from a saltmarsh plant. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 143, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.12.018>
- Syranidou, E., Karkanorachaki, K., Amorotti, F., Avgeropoulos, A., Kolvenbach, B., Zhou, N. Y., Fava, F., Corvini, P. F. X., & Kalogerakis, N. (2019). Biodegradation of mixture of plastic films by tailored marine consortia. *Journal of Hazardous Materials*, 375, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.078>
- UTAD, J. B. (2018). Jardim Botânico UTAD | Ficha técnica *Salicornia ramosissima*. [https://jb.utad.pt/especie/Salicornia\\_ramosissima](https://jb.utad.pt/especie/Salicornia_ramosissima)
- Ventura, Y., & Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: The case for salicornia and sarcocornia. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010>
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., De Kruijf, N., & Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 10(3), 77–86. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00032-1)
- Walkenström, P., Kidman, S., Hermansson, A. M., Rasmussen, P. B., & Hoegh, L. (2003). Microstructure and rheological behaviour of alginate/pectin mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 17(5), 593–603. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00119-4](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00119-4)
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>
- Wusigale, Liang, L., & Luo, Y. (2020). Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science and Technology*, 97, 391–403. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.027>