



Instituto Federal de Brasília
Campus Gama
Licenciatura em Química

SIDCLEI LEANDRO GONZAGA SENA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA, TÉRMICA E
MORFOLÓGICA DE BLENDA POLIMÉRICAS BIODEGRADÁVEIS DE
PVA/AMIDO COM ÓLEO DE COPAÍBA (*Copaifera officinalis*).**

Brasília
2022

SIDCLEI LEANDRO GONZAGA SENA

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA, TÉRMICA E MORFOLÓGICA DE BLENDS POLIMÉRICAS BIODEGRADÁVEIS DE PVA/AMIDO COM ÓLEO DE COPAÍBA (*Copaifera officinalis*).

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química do Instituto de Federal de Brasília - campus Gama - como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador(a): Dra. Nizamara Simenremis Pereira

Brasília
2022

SIDCLEI LEANDRO GONZAGA SENA.

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA,
TÉRMICA E MORFOLÓGICA DE BLENDS POLIMÉRICAS
BIODEGRADÁVEIS DE PVA/AMIDO COM ÓLEO DE COPAÍBA (*Copaifera
officinalis*).**

Monografia apresentada ao Curso de
Licenciatura em Química do Instituto
Federal de Brasília – *campus* Gama –
como requisito parcial para obtenção do
título de Licenciado em Química.

Orientadora: Nizamara Simenremis Pereira

Aprovado em 10 de fevereiro de 2022

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª. Dr.ª. Nizamara Simenremis Pereira – Orientadora



Prof. Msc Rodrigo Fleury Brandão



Prof.ª. Dr.ª. Adriana Linhares Drummond

CIP — Catalogação na Publicação

S474
d

Sena, Sidclei Leandro Gonzaga

Desenvolvimento e caracterização espectróscopica, térmica e morfológica de blendas poliméricas biodegradáveis de pva/amido/óleo de copaíba (*copaifera officinalis*) / Sidclei Leandro Gonzaga Sena ; orientação Profa. Dra. Nizamara Simenremis Pereira. — Brasília, 2022.

83 f.

Orientadora: Profa. Dra. Nizamara Simenremis Pereira.

Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação — Licenciatura em Química) — Instituto Federal de Brasília, Campus Gama, 2022.

1. Blendas. 2. PVA. 3. Amido. I. PEREIRA, Nizamara Simenremis, orient. II. Título.

CDU

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade do bibliotecário Daniel R. Guimarães — CRB/1ª 2961.

Esse trabalho de conclusão de curso eu dedico a minha família que sempre me deu força, esteve comigo e acreditou no meu potencial, e também a todos amigos que – ainda que distantes – estão comigo sempre.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo que Ele fez por mim e por minha família. Que todos os meus dias sejam para a glória do seu nome. Sou feliz pois nunca me faltou amor, paz, força, garra, respeito e família.

A essa família que devo tudo que tenho de mais valoroso nessa terra, e agradeço em especial a minha querida mãe Adriana da Silva Gonzaga, que nunca poupou esforços para nos ver felizes mesmo com pouco, e para representar toda família, pois não posso citar a todos, o meu avô Davi Gonzaga o grande pai que tive nessa vida a quem sou grato acima de qualquer coisa.

A todos meus amigos e irmãos de outra mãe agradeço pela força em todos os momentos, pela motivação na caminhada que não foi nem um pouco fácil, o que é práxis em minha vida. Sou grato a todos os professores que me marcaram desde o início dessa caminhada ainda no CAIC Carlos Castelo Branco, até meus professores da graduação.

À professora Nizamara Simenremis Pereira, vai todo meu apresso pela sua pessoa e pela honra de tê-la como orientadora do meu trabalho. E agradeço por toda paciência e todas as inúmeras correções e palavras de ânimo que não me deixaram desistir no meio do caminho. Obrigado de coração professora!

A professora Artemis Marti Ceschin que doou o PVA para a construção de todas as blendas, a Elaine Nascimento Aquino por toda ajuda que deu durante todo o trabalho em especial na obtenção das micrografias de MEV, e a todos amigos e parceiros que me ajudaram nesse trabalho que para mim é tão importante.

Por fim quero citar o nome de pessoas muito importantes para mim, que agradeço por fazerem parte da minha história: Bernadete Simeão da Silva Gonzaga, Pedro H. Gonzaga Sena, Isabelly L. Gonzaga Sena, Tiago A. Gonzaga Sena, Daniel A. da Silva e muitos outros.

OBRIGADO!

“Toda reforma interior e toda mudança para melhor dependem exclusivamente da aplicação do nosso próprio esforço. ”

— Immanuel Kant.

RESUMO

As blendas poliméricas são boas opções mercadológicas para inserção de tecnologia a polímeros tradicionais, pois permitem o desenvolvimento de novas características em materiais já usados, o que reduz em muito o custo do avanço tecnológico, em comparação com a síntese de novas cadeias poliméricas. O objetivo geral deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma nova metodologia de construção de blendas a partir da mistura de polímeros hidrossolúveis, o PVA (poli(vinil) álcool), amido e óleo essencial de copaíba. Foram criados quatro métodos para preparar quatro amostras diferentes utilizando as mesmas massas de PVA/Amido/Óleo de copaíba em sua composição. Esses métodos podem ser divididos em dois grupos: um utilizando clorofórmio na preparação e outro, não. Em cada grupo, foram preparadas duas amostras diferentes: uma amostra foi preparada utilizando amido natural e a outra amostra, utilizando amido gelatinizado. Visualmente, os dois métodos produziram filmes de aspectos superficiais distintos e arranjos estruturais – microscópicos - diferentes. Os materiais foram caracterizados por FTIR, UV-VIS, TGA/DTA, microscopia óptica e MEV. Os resultados de FTIR mostraram que as blendas possuem bandas de absorção nas mesmas regiões do PVA puro. O PVA puro apresentou duas bandas de absorção no UV-VIS (278 e 318 nm) que desapareceram após a inserção de amido e óleo de copaíba na cadeia polimérica. Todas as blendas revelaram uma forte absorção em valores de comprimento de onda abaixo de 300 nm. Os dados de TG/DTA revelaram uma redução das propriedades térmicas das blendas quando comparadas ao PVA puro. As micrografias ópticas revelaram diferentes morfologias entre as blendas preparadas pelos dois métodos. O MEV revelou a presença de buracos e estruturas circulares na superfície e na parte interna dos materiais poliméricos.

Palavras-chaves: blendas; PVA; amido; óleo de copaíba; biodegradação; caracterização; FTIR; UV-Vis; TGA/DTA; Microscopia óptica; MEV.

ABSTRACT

Polymer blends are good marketing options for inserting technology into traditional polymers, as they allow the development of new characteristics in materials already used, which greatly reduces the cost of technological advancement compared to the synthesis of new polymer chains. The general objective of this work is to present the development of a new methodology for the construction of blends from the mixture of water-soluble polymers, PVA (polyvinyl alcohol), starch and copaiba essential oil. Four methods were created to prepare four distinct samples, using the same masses of PVA/Starch/Copaiba oil in their composition. These methods can be divided into two groups: one using chloroform in the preparation and the other not. Two different samples were prepared in each group: one sample was prepared using natural starch and the other gelatinized starch. Visually, the two methods produced films with different surface aspects and different structural arrangements. The materials were characterized by FTIR, UV-VIS, TGA/DTA, optical microscopy and SEM. The FTIR results showed that the blends have absorption bands in the same regions as pure PVA. Pure PVA showed two UV-VIS absorption bands (278 and 318 nm) that disappeared after the insertion of starch and copaiba oil in the polymer chain. All blends showed strong absorption at wavelengths below 300 nm. The TG/DTA data revealed a reduction in the thermal properties of the blends when compared to pure PVA. Optical micrographs revealed different morphologies between the blends prepared by the two methods. The SEM revealed the presence of holes and circular structures on the surface and inside the polymeric materials.

Keywords: blends; PVA; starch; Copaiba oil; biodegradation; Description; FTIR; UV-Vis; TGA/DTA; Optical microscopy; MEV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1:	Esquema de copolímero grafitizado.	15
Figura 2:	Monômero de polietileno com representação de ligações covalentes simples.	16
Figura 3:	Interação entre dipolos permanentes na molécula de poliacrilonitrila.	18
Figura 4:	Representação de ligações de hidrogênio na molécula de poliamidas.	19
Figura 5:	Polímeros de adição (PVC).	20
Figura 6:	Reação da polimerização de condensação do <i>nylon</i> 6,6.	21
Figura 7:	Estrutura do termoplástico policarbonato.	22
Figura 8:	Exemplo de elastômero de poliuretano (TPU).	22
Figura 9:	Síntese de PVA a partir do acetato de vinila. Fonte: JUVENCIO, 2017.	23
Figura 10:	Representação estrutural da amilose (a) e da amilopectina (b).	26
Figura 11:	Árvore copaibeira. Fonte: www.sitiodamata.com.br	32
Figura 12:	Imagem fotográfica das blendas: (a) blenda PVA/AM-n/CB (1); (b) blenda PVA/AM-g/CB (1); (c) blenda PVA/AM-n/CB (2) e (d) blenda PVA/AM-g/CB (2) (e) PVA puro.	42
Figura 13:	Espectro do amido utilizado na composição da blenda.	44
Figura 14:	Espectro do óleo de copaíba utilizado na composição da blenda.	44

Figura 15:	Espectro comparativo de infravermelho das amostras poliméricas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2); PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.	46
Figura 16:	Curva de UV-Vis para o amido.	48
Figura 17:	Curva de UV-Vis para o óleo de copaíba.	48
Figura 18:	Curva de UV-Vis para o PVA puro.	49
Figura 19:	Curva de UV-Vis para as blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1).	49
Figura 20:	Curva de UV-Vis para as blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2).	50
Figura 21:	Curvas de TG/DTG para o amido.	51
Figura 22:	Curvas de TG/DTG para o óleo de copaíba.	51
Figura 23:	Curvas de TG para as blendas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.	53
Figura 24:	Curvas de DTG para as blendas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.	53
Figura 25:	Micrografias ópticas do PVA puro com aumento de: a) 40x; b) 100x	57
Figura 26:	Micrografias ópticas do PVA/AM-n/CB (1) com aumento de: a) 40x; b) 100x	57
Figura 27:	Micrografias ópticas do PVA/AM-g/CB (1) com aumento de: a) 40x; b) 100x	58
Figura 28:	Micrografias ópticas do PVA/AM-n/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 100x	58
Figura 29:	Micrografias ópticas do PVA/AM-g/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 100x	59
Figura 30:	Micrografias da superfície externas do PVA puro com aumento de: a) 200x; b) 3000x	59

Figura 31:	Micrografias da superfície externa da blenda PVA/AM-n/CB (1) com aumento de: a) 200x; b) 3000x	60
Figura 32:	Micrografias da superfícies externas da blenda PVA/AM-g/CB (1) com aumento de: a) 200x; b) 3000x	60
Figura 33:	Micrografias externas da blenda PVA/AM-n/CB (2) com aumento de: a) 27x; b) 3000x	61
Figura 34:	Micrografias externas da blenda PVA/AM-g/CB (2) com aumento de: a) 22x; b) 3000x	61
Figura 35:	Micrografias da superfície interna do PVA puro com aumento de: a) 200x; b) 500x	62
Figura 36:	Micrografias da superfície interna do PVA/AM-n/CB (1) com aumento de: a) 200x; b) 500x	63
Figura 37:	Micrografias da superfície interna do PVA/AM-g/CB (1) com aumento de: a) 200x; b) 500x	63
Figura 38:	Micrografias da superfície interna do PVA/AM-n/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 80x	64
Figura 39:	Micrografias da superfície interna do PVA/AM-g/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 80x	64

LISTA DE QUADROS E FLUXOGRAMAS

QUADROS

Quadro 1:	Comparativo de características das blendas miscíveis e imiscíveis.	29
Quadro 2:	Blendas poliméricas, vantagens e aplicações práticas. Fonte: (SILVA et al., 2016).	30

FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1:	Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-n/CB (1).	36
Fluxograma 2:	Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-g/CB (1).	37
Fluxograma 3:	Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-n/CB (2).	38
Fluxograma 4:	Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-g/CB (2).	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Regiões de agrupamento segundo a ficha padrão de FTIR (PERIOTTO, 2012).	45
Tabela 2:	Principais bandas de absorção FTIR do PVA.	47
Tabela 3:	Valores de Tonset, Td e perda de massa para o amido e óleo de copaíba.	52
Tabela 4:	Valores de Tonset para as blendas poliméricas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.	54
Tabela 5:	Valores de Td e perda de massa para PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Amido
CB	Óleo de Copaíba
CIV	Cimento de Ionômero de Vidro
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
FTIR	Infravermelho com Transformada de Fourier
GP	Grau de Polimerização
HIPS	Poliestireno Alto Impacto
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MM	Peso Molecular Total
PA	Poliamida
PBT	Polibutileno Tereftalato
PET	Polietilenotereftalato
PMMA	Polimetilmetacrilato
PP	Polipropileno
PPO	Polioxifenileno
PS (XPS)	Poliestireno expandido
PVA	Poli (vinil) Álcool
RNA	Ácido Ribonucleico
TGA/DTG	Análise termogravimétrica / Derivada da curva termogravimétrica
TPU	Poliuretano
UV-Vis	Ultravioleta - Visível

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 POLÍMEROS.....	14
2.2 ASPECTOS ESTRUTURAIS.....	15
2.2.1 Forças moleculares em polímeros	15
2.2.1.1 Ligações moleculares primárias fortes ou intramoleculares	16
2.2.1.2 LIGAÇÕES MOLECULARES SECUNDÁRIAS FRACAS OU INTERMOLECULARES.....	17
2.3 TIPO DE CADEIA POLIMÉRICA.....	19
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS QUANTO AO MÉTODO DE PREPARAÇÃO.....	20
2.4.1 Polímeros de adição.....	20
2.4.2 Polímeros de condensação.....	20
2.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO COMPORTAMENTO MECÂNICO	21
2.5.1 Plásticos	21
2.5.2 Elastômeros	22
2.5.3 Fibras	23
2.6 POLI(VINIL)ÁLCOOL (PVA).....	23
2.7 BIOPOLÍMEROS.....	24
2.8 AMIDO.....	25
2.9 BLENDS POLIMÉRICAS	27
2.10 OBTENÇÃO DE BLENDS POLIMÉRICAS	29
2.10.1 Mistura em Solução.....	29
2.10.2 Mistura Mecânica	30
2.10.3 Aplicações das Blends Poliméricas.....	30
2.11 OLEORRESINA DE COPAÍBA.....	32
3. OBJETIVO GERAL	34
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	35

4.1 MATERIAIS E REAGENTES.....	35
4.1.1 Instrumentação Utilizada	35
4.2 PREPARAÇÃO DAS BLENDA POLIMÉRICAS	35
4.2.1 Preparação do amido gelatinizado com óleo de copaíba (AM-g/CB)	35
4.2.2 Blenda PVA/Amido natural/Óleo de copaíba (PVA/AM-n/CB (1))	36
4.2.3 Blenda PVA/Amido gelatinizado/Óleo de copaíba - (PVA/AM-g/CB (1))	37
4.2.4 Blenda PVA/Amido natural/Óleo de copaíba com clorofórmio na formulação. (PVA/AM-n/CB (2)).....	38
4.2.5 Blenda PVA/Amido gelatinizado/CB com clorofórmio em sua formulação (PVA/AM-g/CB (2)).	39
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	40
4.3.1 Análise de Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	40
4.3.2 Análise de Absorção UV-VIS.....	40
4.3.3 Análise Termogravimétrica (TGA/DTA).....	40
4.3.4 Análise da Morfologia por Microscopia Óptica	40
4.3.5 Análise da Morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 ANÁLISE DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	43
5.2 ANÁLISE DE ABSORÇÃO UV-VIS	47
5.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA/DTA)	50
5.4 ANÁLISE DA MORFOLOGIA POR MICROSCOPIA ÓPTICA.....	56
5.5 ANÁLISE MORFOLÓGICA DA SUPERFÍCIE DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	59
5.5.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DA PARTE INTERNA DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS POR MEV	62
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	66
6.1 CONCLUSÕES	66
6.2 - PERSPECTIVAS.....	67
7. AS VANTAGENS DA REALIZAÇÃO DE PESQUISAS BÁSICAS NA ÁREA DE QUÍMICA NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DOCENTE	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

O mundo é movido por inovações que dão vida às novas tecnologias. Para esse fim, as indústrias e grandes empresas estão sempre em busca de melhorias, otimizações e avanços que os coloquem em cenários melhores que os de seus concorrentes diretos. Uma classe de produtos que têm bastante valor nessa balança tecnológica são os polímeros, por conta de serem muito atrativos - em termos de custo e por sua imensa versatilidade - e por apresentarem uma gama grande de possibilidades de melhorias e incrementos tecnológicos.

Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de desenvolver uma metodologia para preparação de blendas poliméricas com novas propriedades e aplicações. Em geral, os polímeros possuem limitadas características que são provenientes da formulação química de suas cadeias. Para inserção de novas características a esses polímeros, as indústrias utilizam, entre outras metodologias, a criação de blendas poliméricas.

Blendas poliméricas são misturas de polímeros, de forma intencional, a fim de promover novas características ou propriedades para os polímeros. De acordo com os textos de Qin (2016), essa mistura de dois ou mais polímeros combinados pode criar um novo material com diferentes propriedades físicas e químicas de interesse.

Pensando nisso, o foco do trabalho é a construção de uma blenda polimérica feita à base de PVA (polivinil álcool) e amido (biopolímero vegetal) “dopada” de óleo de copaíba. A ideia é produzir materiais poliméricos com propriedades e aplicações não usuais aos materiais de partida. Essas propriedades podem ser alcançadas por métodos simples de preparação de blendas promovendo modificações de polímeros já existentes ao invés da realização de sínteses de novos polímeros que, por sua vez, podem demorar décadas. Após o desenvolvimento das blendas de PVA/AMIDO/Óleo de copaíba, as amostras foram caracterizadas pelas técnicas de Infravermelho (FTIR), UV-VIS, TGA/DTA, microscopia óptica e MEV para caracterizar as amostras e avaliar a metodologia desenvolvida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLÍMEROS

Conceito e Terminologias

Segundo Eloísa Mano (1998, p.3) a palavra polímero tem sua origem no grego *poli* (muitos) e *mero* (partes). Essa nomenclatura foi criada por Berzelius no ano de 1832 e descreve uma macromolécula, ou seja, grandes moléculas com elevado peso molecular, constituídas de cadeias carbônicas extensas, caracterizada por uma repetição de unidades/partes conhecidas como meros, interconectadas por ligações covalentes.

Para a subdivisão e melhor entendimento da diferença entre essas unidades foi convencionada a utilização de prefixos (mono, oligo e poli) para evidenciar o tamanho das cadeias de unidades a serem repetidas. Assim, um monômero é uma unidade molecular simples que quando repetida, muitas vezes, gera um polímero. O número relativo de meros componentes de uma cadeia polimérica é denominado de grau de polimerização, denotado pela simbologia n , GP (grau de polimerização)

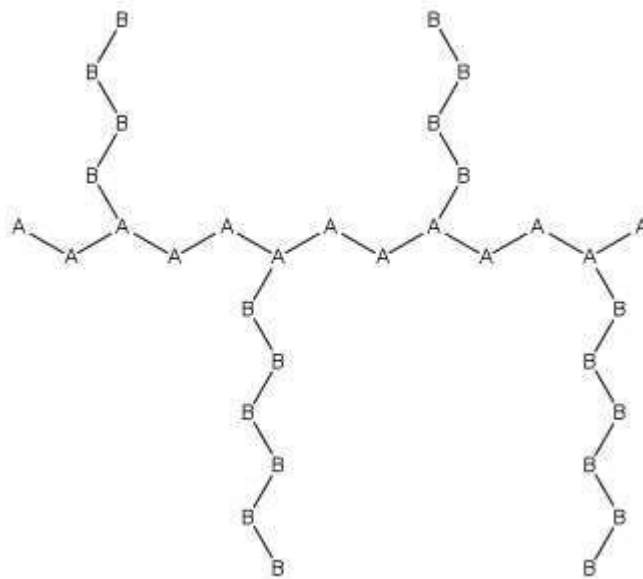
“Todos os polímeros são macromoléculas, porém nem todas as macromoléculas estão posicionadas no grupo dos polímeros” (MANO, 1998 p.3). Cada um dos diversos polímeros possui diferentes pesos moleculares mediante a sua extensão e quantidade de monômeros. Polímeros industrializados possuem pesos moleculares que variam na ordem de 10^4 a 10^6 , já polímeros de origem natural (encontrados brutos na natureza) podem alcançar pesos moleculares muito elevados na ordem de 10^8 . Essas elevadas cadeias possuem tamanhos proporcionais, isso propicia o entrelaçamento (“*entanglements*”) das cadeias, limitando seu o volume vazio (“*free volume*”).

Utiliza-se o termo oligopolímeros para se referir a cadeias poliméricas com baixo peso molecular na ordem de 10^3 e uma quantidade menor de monômeros ligados. Para encontrar o peso molecular total (MM) e médio de um polímero, matematicamente, são necessários os valores do grau de polimerização GP e a massa molecular do seu monômero repetida na construção.

$$MM = GP \cdot MM_{\text{mero}} \quad (1)$$

Quando os polímeros são formados por diferentes meros, podem receber diferentes terminologias definidas pela quantidade de monômeros distintos em sua cadeia. Segundo Canevarolo (2006, p.23), recebem o nome de *copolímeros* aqueles que possuem mais de um mero que se difere, de terpolímeros quando possuem três diferentes meros. Quando o polímero possui apenas um tipo de mero, o nome dado é *homopolímeros*. Para exemplificar os copolímeros, a Figura 1 mostra um esquema grafitizado ou enxertado.

Figura 1: Esquema de copolímero grafitizado.



2.2 ASPECTOS ESTRUTURAIS

Os aspectos estruturais são baseados na química orgânica envolvida no estudo dos polímeros. Estes são estruturados levando em conta as forças moleculares de ligação que são, em geral, formadas por ligações de cadeias carbônicas covalentes. Isso, por conta da capacidade do carbono em hibridizar e formar compostos muito complexos e com pesos moleculares muito elevados. (MCMURRY, 2005 p. 2 - 8)

2.2.1 Forças moleculares em polímeros

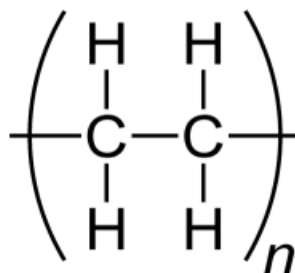
As forças moleculares presentes nos polímeros são diversificadas. Há de se entender que as cadeias poliméricas são compostas por conjuntos muito extensos de repetições de unidades primárias, as quais ligam se umas às outras por ligações primárias fortes ou intramoleculares. Tais ligações ocorrem entre os átomos do monômero ou por ligações moleculares secundárias fracas ou intermoleculares.

2.2.1.1 Ligações moleculares primárias fortes ou intramoleculares

Os monômeros apresentam em suas moléculas ligações moleculares primárias, átomo-átomo, que possuem energias de ligação fortes em comparação com as energias de ligação intermolecular, mais fáceis de serem rompidas (CANEVAROLO, 2006 p.35-37). Essas ligações primárias podem ser de variados tipos tais como:

- a) **Iônica:** Nestas ligações ocorrem transferência de elétrons. Em geral, não possuem propriedades de condutividade elétrica, salvo em soluções quando dissociadas. São compostos muito solúveis (COELHO, 2015 p. 51 e 52). Tais ligações não são muito comuns no estudo de polímeros, porém presentes nos chamados ionômeros, que são termoplásticos contendo grupos carboxílicos ionizáveis. Ex: CIV (Cimento de Ionômero de vidro).
- b) **Coordenadas:** Neste tipo de ligação, há contribuição de um par eletrônico para formação da ligação. Ela está presente em polímeros semi-orgânicos e inorgânicos. (CANEVAROLO, 2006 p.35)
- c) **Metálica:** Ligações metálicas são muito pouco comuns em polímeros, salvo em incorporação de metais em cadeias carbônicas poliméricas ou aplicações. (CANEVAROLO, 2006 p.35)
- d) **Covalentes:** São ligações caracterizadas pelo compartilhamento de elétrons, sendo o tipo com vasta predominância dentro das moléculas orgânicas (MCMURRY, 2005 p.8) que originam os polímeros (monômeros) como mostra a Figura 2.

Figura 2: Monômero de polietileno com representação de ligações covalentes simples.



Essa ligação molecular forte, a que se refere o texto, faz relação direta com as ligações covalentes, por conta da distância média de ligação dos átomos componentes das moléculas orgânicas e sua energia de ligação, que aumenta a partir da distância de ligação e do tipo da ligação, sendo classificados em simples, dupla e tripla. Um exemplo são as ligações presente no poliéster C=O (carbono=oxigênio), que possui uma distância média de 1,23 Angstroms e uma energia de ligação 171 kcal/mol, portanto a força intramolecular é grande. (CANEVAROLO, 2006 p.37)

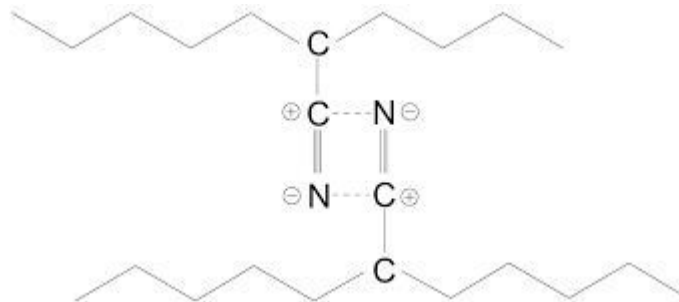
2.2.1.2 LIGAÇÕES MOLECULARES SECUNDÁRIAS FRACAS OU INTERMOLECULARES

As forças moleculares secundárias fracas têm como característica a ligação entre segmentos de cadeias poliméricas, as quais aumentam com a presença de grupos polares e diminuem com o aumento da distância entre moléculas (CANEVAROLO, 2006 p. 39 - 41). Essas ligações moleculares são descritas como forças de Van der Waals, que segundo Carraher Jr (2003 p.64) “[...] são de *mais distância na interação, em comparação com comprimentos de ligação primária, geralmente tendo interação entre 2,5 e 5 Å (0,25 – 0,5 nm)*”. A seguir serão descritas as forças de Van der Walls que podem ocorrer entre as cadeias poliméricas.

a) Forças de Van der Waals:

- **Interação dipolo-dipolo:** Acontece na presença de dois dipolos permanentes, ou seja, em moléculas polares que não apresentam distribuição uniforme de carga ao longo de sua superfície, os quais se ligam por atração de forças elétricas de sinais opostos a partir da polaridade das moléculas. Sua energia de ligação é baixa e a distância média de ligação se aproxima do dobro da referida pelas forças primárias. Um exemplo está nos grupos CN da poliácilonitrila, também conhecida pela sigla PAN. (CANEVAROLO, 2006 p.39)

Figura 3: Interação entre dipolos permanentes na molécula de poliacrilonitrila.

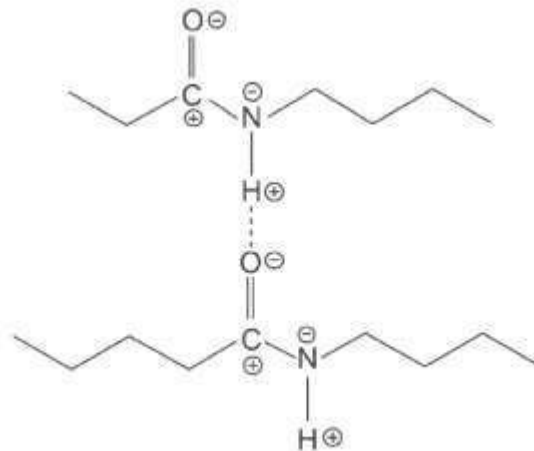


- **Interação dipolo-dipolo induzido:** A presença de um dipolo permanente pode induzir o desbalanceamento de cargas em uma espécie próxima, originando assim um dipolo induzido, que é uma força intermolecular secundária fraca. Geralmente não é presente dentro dos polímeros, pois em sua maioria possuem ligações dipolo-dipolo. (CANEVAROLO, 2006 p.40)

- **Forças de dispersão:** Em moléculas apolares, flutuações momentâneas de nuvem eletrônica podem provocar uma indução de cargas em outras moléculas, gerando uma interação efetiva, tais proporções dependem dos potenciais de ionização (GUIMARÃES, 2019 p.1588). Essa teoria embasa a força de atração entre moléculas alifáticas (com caráter apolar), o que permite, por exemplo, o estado sólido do polietileno.

- **Ligação de hidrogênio:**
 As ligações de hidrogênio são formadas a partir de uma indução de cargas no átomo de hidrogênio (H) por espécies mais eletronegativas como o oxigênio, nitrogênio e o flúor (CARRAHER Jr, 2003 p.66). Uma característica dessa força secundária fraca é a longa distância e baixa energia de ligação. Esse tipo de interação ocorre em alguns polímeros como fibras, como o algodão, lã, seda, *nylon*, poliacrilonitrila, poliésteres e poliuretanos, além das poliamidas. A Figura 4 mostra a representação das ligações hidrogênio na cadeia polimérica da poliamida.

Figura 4: Representação de ligações de hidrogênio na molécula de poliamidas.



2.3 TIPO DE CADEIA POLIMÉRICA

Cadeias poliméricas podem ter várias estruturas ou arquiteturas com variados tipos de formações de cadeia, sendo elas: cadeias lineares, cadeias ramificadas de arquitetura aleatória, estrelada e pente, além das cadeias com ligações cruzadas. Cada uma delas faz referência a estruturas funcionais e espacialmente posicionadas, a isso dá-se o nome de conformações de cadeia. As conformações das cadeias descrevem o arranjo geométrico dos polímeros e apresentam uma angulação espacial de menor valor energético, com dois ou mais sítios suscetíveis para permitir o crescimento da cadeia, aspecto muito relevante para a consideração de uma macromolécula como um polímero, como cita Eloísa Mano (1998, p.16):

“Se a substância tem grupamentos funcionais que propiciem o crescimento da molécula por apenas um ponto, não é gerado polímero; se houver dois pontos, isto é, a funcionalidade da molécula é 2, o polímero resultante terá cadeias lineares, com ou sem ramificações e comportamento termoplástico. Se os grupos funcionais permitirem reação por 3 ou mais pontos, o polímero resultante poderá conter ligações cruzadas, apresentando estrutura reticulada, tendo comportamento de termorrígido.” (Mano, 1998 p.16).

É necessário entender como são classificados os polímeros em termos do método de preparação e comportamento mecânico. Desta forma, é possível compreender a origem dos grupamentos funcionais mais conhecidos e suas aplicações baseadas em suas propriedades.

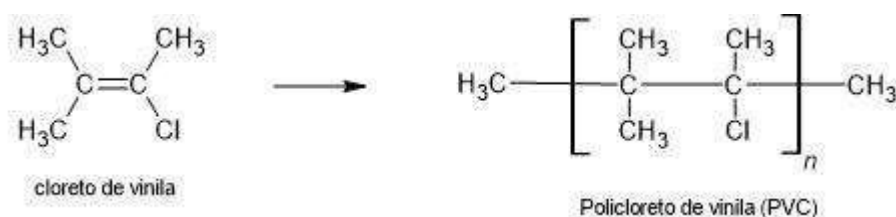
Segundo Canevarolo Jr. (2006, p. 107), para a classificação dos polímeros são consideradas as estruturas referentes aos meros componentes, em termos de números de meros, tipo de reação química, cinética de polimerização e tipo de arranjo físico. Essa divisão das classificações possui alguns tipos, e com intuito de elucidá-los, tem-se as seguintes classificações quanto ao método de preparação dos polímeros e quanto ao seu comportamento mecânico.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS QUANTO AO MÉTODO DE PREPARAÇÃO.

2.4.1 Polímeros de adição

São polímeros produzidos pela reação de um mesmo monômero e não há perda de massa molar na forma de compostos de baixo peso, ou seja, a conversão é total, assim o peso do polímero é igual ao peso de monômero adicionado. Isso permite a produção de polímeros de alta massa molar. Pode-se citar como exemplos de polímeros produzidos por esse método o policloreto de vinila (Figura 5), polimetilmetacrilato (PMMA) e polietileno (PE). (CANEVAROLO, 2006 p. 107)

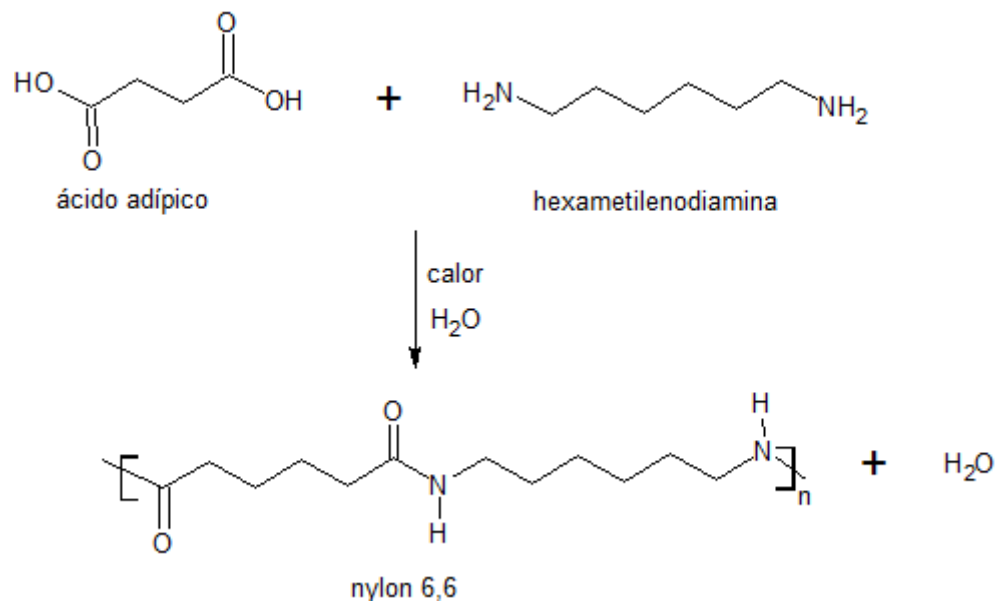
Figura 5: Polímeros de adição (PVC).



2.4.2 Polímeros de condensação

São originados de uma reação entre dois monômeros de grupos funcionais diferentes com eliminação de moléculas de baixo peso molecular como H_2O , NH_3 e HCl . Como exemplo de polímeros de condensação pode-se citar a formação *nylon 6,6* (hexametileno adipamida), advindo da reação de condensação do hexametileno diamina e o ácido adípico com a eliminação de água (molécula de baixo peso molecular). (AKCELRUD, 2007 p.8). A Figura 6 mostra a reação de condensação correspondente à síntese do *nylon* (Reusch, 2020).

Figura 6: Reação da polimerização de condensação do nylon 6,6.



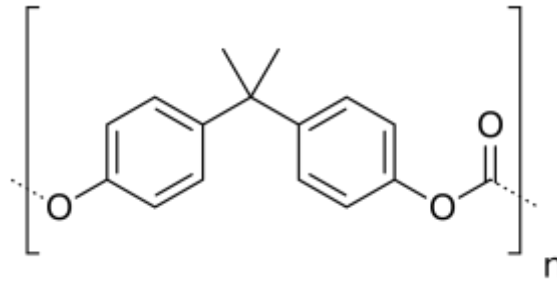
2.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO COMPORTAMENTO MECÂNICO

2.5.1 Plásticos

Plásticos são materiais poliméricos sólidos em temperatura ambiente. Possuem inúmeras propriedades que são elencadas a seguir, de acordo com suas subdivisões:

- 1) Termoplásticos:** Esse tipo de plásticos, quando a uma temperatura substancial e marginal de pressão, amolecem e fluem o que possibilita que os termoplásticos sejam moldados quando solidificados (CANEVAROLO, 2006 p.24). Esse processo de amolecimento e nova solidificação pode ser feito inúmeras vezes, portanto esses plásticos são recicláveis a exemplo do policarbonato. (CARRAHER Jr, 2003 p.46)

Figura 7: Estrutura do termoplástico policarbonato.

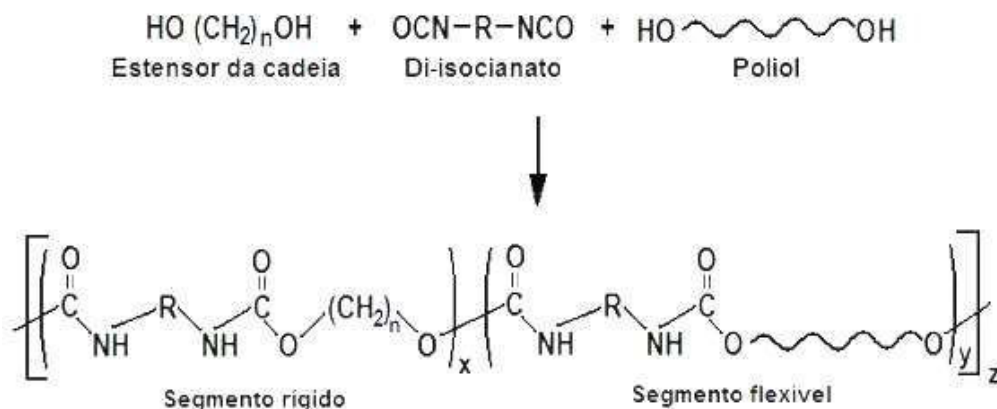


- 2) Termorrígidos:** São polímeros em retículo que não são capazes de se fundirem e não se solubilizam devido às reticulações da cadeia polimérica. Formam plásticos que quando são expostos a um aumento substancial e marginal de pressão, amolecem e fluem como os termoplásticos (CANEVAROLO, 2006 p.24), no entanto, só podem ser moldados uma vez em sua forma pré-polímero. Também são conhecidos por termofixos ou termoendurecidos, são materiais insolúveis e não-recicláveis. (CARRAHER Jr, 2003 p.46)

2.5.2 Elastômeros

Polímeros que na temperatura ambiente podem se deformar no mínimo duas vezes, voltando ao tamanho original rapidamente depois do esforço, isso acontece, pois, os materiais elastômeros possuem uma cadeia flexível com uma baixa densidade de ligações cruzadas (CANEVAROLO, 2006 p.25). Segundo o autor Mário Caetano, esses polímeros podem possuir parte da cadeia com um segmento rígido e um segmento flexível como mostrado na na molécula de poliuretano (TPU) (Figura 8).

Figura 8 : Exemplo de elastômero de poliuretano (TPU).



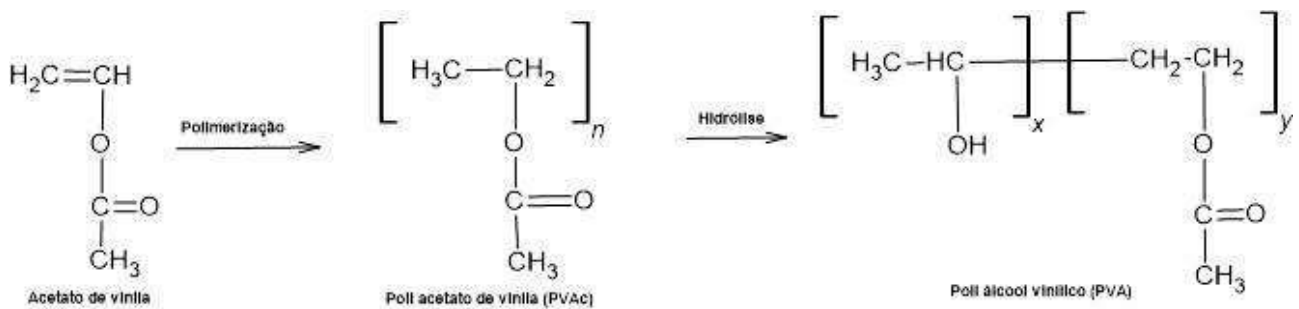
2.5.3 Fibras

Polímeros com orientação das cadeias e dos cristais, feita de modo forçado durante a fiação, o que aumenta a resistência mecânica desta classe de materiais, tornando-os possíveis de serem usados na forma de fios finos. (CANEVAROLO, 2006 p.24)

2.6 POLI(VINIL)ÁLCOOL (PVA)

Um dos polímeros mais importantes por suas excelentes propriedades que o diferem dos outros polímeros é o poli(vinil)álcool (PVA). Segundo Canevarolo (2006, p. 49), é um polímero que figura no grupo dos polivinil ésteres sendo um dos únicos polímeros solúveis em água, além de possuir boa resistência a solventes, óleos e graxas e sua resistência a passagem de oxigênio é superior a de qualquer polímero conhecido (Marten, 1985). Essas propriedades dependem do grau de polimerização e do grau de hidrólise do PVA. A Figura 9 mostra o processo de síntese do PVA a partir do acetato de vinila.

Figura 9 : Síntese de PVA a partir do acetato de vinila. Fonte: JUVENCIO, 2017.



O PVA tem aplicação nos setores industrial, comercial, médico e alimentício e tem sido usado para produzir muitos produtos finais, como lacas, resinas, fios cirúrgicos e materiais de embalagem de alimentos. (DEMERLIS, 2003 p.319 - 326).

Os polímeros sintéticos possuem variadas aplicações na indústria de uma forma geral, entretanto, existem algumas desvantagens como, por exemplo, o tempo necessário para o processo de degradação na natureza. Há polímeros que levam cerca de 500 anos para se degradarem naturalmente e, muitas vezes, não são tratados e são descartados de qualquer forma no meio ambiente, acumulando lixo em aterros, oceanos, nascentes, lençol freático e entre outros (Jornal digital: *National*

Geographic Brasil, 2020). Pensando nisso, muitos estudos têm sido realizados a fim de obter materiais poliméricos biodegradáveis e, nesta rota de estudos, os biopolímeros têm se tornado cada vez mais objeto de pesquisas para atingir esta finalidade.

2.7 BIOPOLÍMEROS

Biopolímeros são tipos de polímeros naturais – os quais são produzidos por fontes naturais renováveis e são, frequentemente, biodegradáveis e não tóxicos - muitos deles produzidos pelos seres vivos, os quais servem como fonte energética, como estrutura componente das paredes e membranas celulares, e, em células eucariontes servem como parte da composição das organelas. Essas características são de suma importância para que a vida de fato aconteça, uma vez que os processos metabólicos, as reações e os estímulos têm relação com os vários tipos de biopolímeros presentes nos corpos dos seres vivos. (MANO, 2013 p.38).

Nesse sentido, esses polímeros naturais se tornam parte imprescindível de todo o contexto da vida. Cada um possui uma origem distinta, segundo suas características e propriedades, que são comparadas com os polímeros sintéticos. Tais biopolímeros são divididos em polímeros de origem mineral, vegetal e animal, que compreendem os grupos de geopolímeros, fitopolímeros e zoopolímeros, respectivamente.

Para além da exemplificação do reino vegetal, dentro do reino animal, os zoopolímeros possuem uma vasta aplicação de grande importância, pois estão presentes - segundo Eloísa Mano (2013, p.328 - 332) - nas estruturas participantes do metabolismo basal dos animais, sendo estrutura componente de polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos (DNA e RNA).

Os biopolímeros, segundo Bandeira et al. (2021), “[...] são reconhecidos como uma alternativa em substituição aos polímeros químicos convencionais devido ao seu baixo impacto ambiental”. Dessa forma, existem algumas vantagens na utilização de biopolímeros, polímeros naturais e verdes, em relação aos polímeros sintéticos derivados do petróleo. Segundo Vinod *et al.* (2020).

“As fibras naturais têm despertado o interesse dos pesquisadores devido às suas propriedades notáveis como baixa densidade, baixo custo, fácil disponibilidade, biodegradabilidade e fácil processamento. Tais fibras também possuem consideráveis propriedades mecânicas, térmicas e boas

acústicas com alta resistência à fratura. Muitos estudos relatam o uso de fibras naturais em polímeros compósitos e compósitos de base biológica em substituição aos materiais sintéticos. Consequentemente, muitas indústrias deram um passo à frente para revolucionar o uso de materiais de base biológica". (Vinod *et al.*, 2020)

Semelhante ao polímero citado no texto de Vinod *et al.* (2020), os biopolímeros, de síntese natural nos seres vivos, apresentam características muito valorizadas, das quais destaca-se a disponibilidade e o encontro facilitado desses polímeros na natureza - capacidade que possibilita o tratamento e obtenção simplificada de tais tipos de polímeros - que substituem a altura vários dos polímeros sintéticos já usados.

A capacidade de degradação na natureza é a maior das vantagens presentes nos polímeros naturais. Esses polímeros biodegradáveis são composições poliméricas nas quais a degradação resulta da ação de microorganismos de ocorrência natural, tais como bactérias, fungos e algas (**Norma ASTM D6400-04**), podendo ter um tempo de degradação muito baixo, em questão de poucos meses. (BRITO, 2011 p.128).

Alguns grandes exemplos desses biopolímeros são os polissacarídeos (fitopolímeros) que são compostos por cadeias macromoleculares de monômeros, que tem como função o fornecimento de energia à célula, além de participar da construção e estrutura celular (BRÁS, 2015). Estão nesse grupo de polímeros de base natural: amido, celulose, quitina, proteínas, DNA e RNA, entre outros.

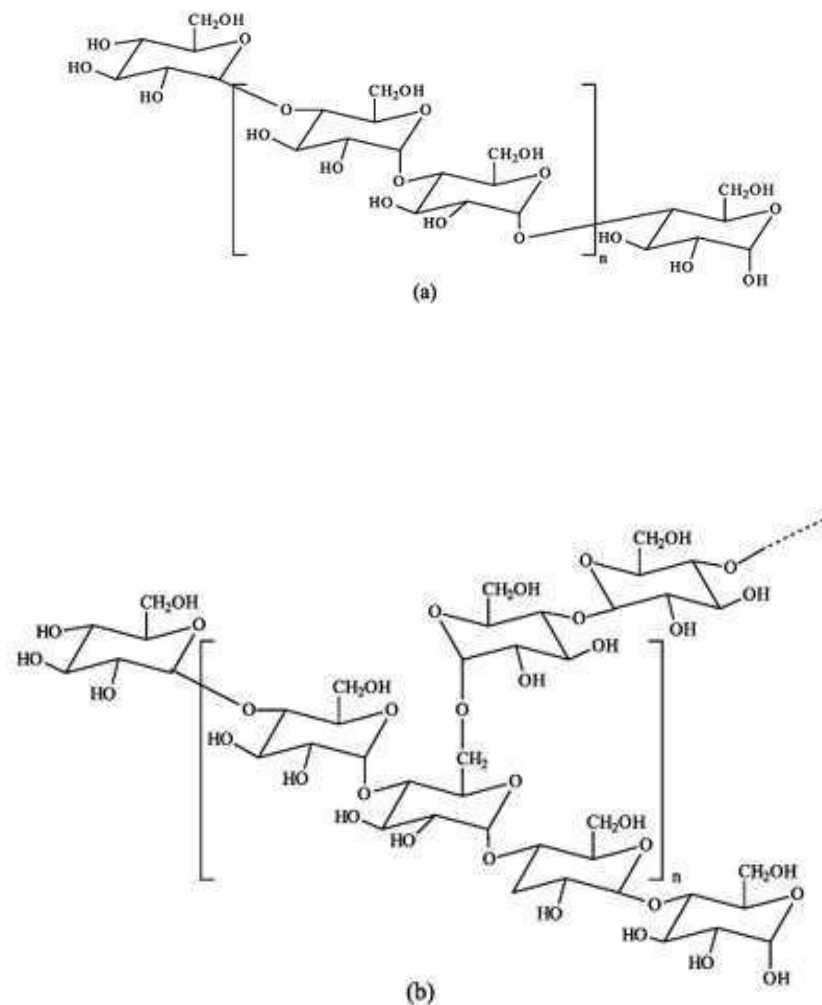
2.8 AMIDO

O amido é um polímero natural posicionado no grupo dos polissacarídeos constituído basicamente pela mistura de dois polissacarídeos menores (carboidratos) de α -D-glicose, a amilose e a amilopectina, para armazenamento temporário de energia. Ele é sintetizado nos cloroplastos como um dos produtos finais estáveis da fotossíntese (NELSON, 2014 p.818). A α -amilose (Figura 10a) é um polímero linear composto por monômeros de D-glicose unidos por ligações $\alpha(1-4)$, enquanto que a amilopectina (Figura 10b) é um polímero formado por unidades de D-glicose unidas por ligação $\alpha(1-4)$ e ramificações $\alpha(1,6)$ em intervalos de 24 a 30 unidades (BRÁS, 2015). Eles se fundem com proporções variáveis, as quais dependem da natureza e são formados no interior das células vegetais dos mais diversos tipos. Além disso, têm massas molares bem diferentes, sendo a amilopectina uma molécula de peso muito maior em relação à amilose (MANO, 2003 p.204). Para Muccillo *et al.*, (2009), "devido

à diversidade biológica e ambiental, os amidos se apresentam como grânulos das mais diversas formas, tamanhos e propriedades. O domínio e o conhecimento dessas características são uma importante ferramenta para a valorização de seu potencial”.

Quando, em meio aquoso, o amido é submetido ao aquecimento, algumas ligações internas de hidrogênio são rompidas. Essas ligações de hidrogênio são responsáveis pela estabilização da estrutura que cristaliza o grânulo e ao serem quebradas permitem a entrada de água na estrutura molecular provocando o rompimento do grânulo. (AZEVEDO et al. 2018)

Figura 10: Representação estrutural da amilose (a) e da amilopectina (b).



Este processo é conhecido como gelatinização do amido e, na forma de gel, o amido se apresenta como uma pasta viscoelástica ou um gel opaco dependendo da concentração utilizada. A capacidade de gelatinização do amido é umas das propriedades mais interessantes para a indústria de fármacos e alimentos e consiste

na transformação irreversível do amido em uma pasta viscoelástica. (AZEVEDO et al. 2018)

De uma forma geral, o polímero de amido possui grandes aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica, sendo utilizado para alteração de diversas características dos materiais, tais como, aparência, umidade, estabilidade durante o processamento, consistência entre outros. (MUCCILO et al., 2009)

Por conta dessa expressiva quantidade de seres, indivíduos provenientes do reino *plantae*, que produzem o amido, sua fonte de obtenção é quase inesgotável. Segundo a *National Starch and Chemical Industrial Ltda*, existem algumas aplicações especiais:

“São utilizadas para ligar ou desintegrar; expandir ou tornar denso, clarear ou tornar opaco, atrair ou inibir umidade, produzir textura curta ou longa, lisa ou de polpa, coberturas leves ou crocantes, pode ser usado para estabilizar emulsões ou formar filmes resistentes a óleo e ainda pode ser utilizado para auxiliar o processo de obtenção de algum produto”. (*National Starch and Chemical Industrial Ltda*)

O uso de amido na preparação de blendas poliméricas é investigado por vários pesquisadores. De acordo com Zanela et al. (2016) a mistura de PVA/amido pode melhorar as propriedades mecânicas do PVA e manter as propriedades de biodegradabilidade do material polimérico. Wang et al. (2003) relatam o uso glicerol, água e ureia em blendas PVA/amido como plastificantes, além de agentes reticulantes como o formaldeído. É evidente que a utilização do amido é bastante expressiva e permite a implantação em inúmeras outras áreas, inclusive em blendas poliméricas com polímeros de outras naturezas e de diferentes métodos de síntese/obtenção.

2.9 BLENDA POLIMÉRICAS

Blenda polimérica é uma nomenclatura utilizada para descrever uma mistura física de dois ou mais polímeros, sem que haja reação química intencional entre os componentes (SILVA et al., 2016). Essa mistura de dois ou mais polímeros combinados pode criar um novo material com diferentes propriedades físicas e químicas de interesse. (QIN, 2016 p. 55-70)

De acordo com Qin, Y. (2016), as blendas poliméricas podem ser divididas em três categorias:

1. Imiscíveis ou blendas de polímeros heterogêneos: os polímeros constituintes existem em fases separadas e podem ser observados duas temperaturas de transição vítrea.
2. Blendas poliméricas compatíveis: neste tipo de blenda, o polímero é imiscível, no entanto, macroscopicamente as propriedades físicas são uniformes. Essa uniformidade é causada pela forte interação entre os polímeros.
3. Blendas miscíveis ou homogêneas: os polímeros utilizados nesta mistura possuem estruturas químicas semelhantes, resultando em mistura polimérica homogênea de uma única fase. Uma única temperatura de transição vítrea é observada.

A miscibilidade de blendas poliméricas é um conceito fundamental para o entendimento e construção destes materiais poliméricos, pois permite relacionar a presença de fases distintas e o possível ganho de propriedades diferentes a partir das misturas. Segundo Utracki (1990, p.2), a miscibilidade descreve uma mistura homogênea em nível molecular, que se associa a um com um valor negativo da energia livre de Gibbs ($\Delta G_m \leq 0$) como mostra a equação (2). Assim, Segundo MACEDO *et al.*, 2017.

“[...] As blendas poliméricas são miscíveis quando os segmentos moleculares dos componentes poliméricos se misturam intimamente sem que haja qualquer segregação entre as moléculas, ou seja, são homogêneas em escala molecular.” (MACEDO *et al.*, 2017.)



$$\Delta G_m = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$

É importante citar que as blendas miscíveis são divididas em dois tipos, as blendas homogêneas e as heterogêneas, onde a grande mudança está na quantidade de polímeros utilizados na mistura. No caso das blendas homogêneas são utilizados dois ou mais tipos de polímeros que, posteriormente a mistura, formam apenas uma fase.

A imiscibilidade acontece quando é observado valores de energia livre de Gibbs positivos ($\Delta G_m > 0$), e se caracterizam pelo domínio de uma das soluções em sistemas de fases múltiplas. De acordo com Utracki (1990, p.3), “é *extremamente*

importante lembrar essa distinção ao tentar compreender as propriedades práticas de tais sistemas de duas fases. Geralmente, a fase principal formará microdomínios dispersos e contribuirá com certas propriedades especializadas para a mistura”. Dessa forma, se observa que mesmo com a mistura dos polímeros em blendas imiscíveis, com sistemas heterogêneos, as propriedades componentes de cada um estão presentes, enquanto em blendas miscíveis apresentam uma média das propriedades dos componentes da mistura. (MACEDO, 2017). O Quadro 1 mostra um comparativo das características das blendas miscíveis e imiscíveis.

Quadro 1: Comparativo de características das blendas miscíveis e imiscíveis.

	
Blendas Miscíveis	Blendas Imiscíveis
Homogêneas	Apresentam distintas fases
$\Delta G_m \leq 0$	$\Delta G_m > 0$
Propriedades sendo a média dos componentes	Influência dos componentes nas propriedades finais
Nenhuma atração de interface	Baixa energia de interface
Apresentam uma única temperatura de transição vítrea	Apresenta mais de uma temperatura de transição vítrea

2.10 OBTENÇÃO DE BLENDA POLIMÉRICAS

Existem variados tipos de métodos de obtenção de blendas poliméricas. Serão analisadas as duas principais metodologias: blendas preparadas por mistura em solução e por mistura mecânica. (SILVA *et al.*, 2016)

2.10.1 Mistura em Solução

Esse tipo de mistura é preparado por soluções individuais de cada um dos polímeros em um solvente em comum entre eles, que será misturado posteriormente nas proporções corretas/desejadas. Alguns métodos podem ser usados para aumentar a solubilização e a velocidade da reação. O processo de maior importância é a evaporação do solvente. Esse tipo de blenda polimérica é pouco usada e geralmente feita em laboratórios. (SILVA *et al.*, 2016)

2.10.2 Mistura Mecânica no Estado Fundido

Esse tipo de mistura se baseia na união dos componentes poliméricos em seu estado fundido ou amolecido, por isso, o processo envolve aquecimento e alto cisalhamento é bastante usado industrialmente por conta que as misturas de polímeros acontecem em grande escala. (SILVA *et al.*, 2016)

2.10.3 Aplicações das Blendas Poliméricas

A grande vantagem de produzir blendas poliméricas está na facilidade de obter materiais com propriedades desejadas a um baixo custo quando comparado com os investimentos utilizados na síntese de novos polímeros. Na preparação de blendas é possível obter materiais poliméricos com novas propriedades a partir de polímeros já existentes comercialmente ou na natureza. (SILVA *et al.*, 2016)

Dentre as razões para utilizar a técnica de preparação de blendas poliméricas para produção de novos materiais, pode-se citar a melhoria na processabilidade do polímero, melhoria na estabilidade, resistência à chama e redução de custo como já informado anteriormente (SILVA *et al.*, 2016).

As aplicações das blendas são diversas, pois é possível adicionar várias novas características a alguns polímeros, alterando suas propriedades, adicionando tenacidade, dureza, maleabilidade, durabilidade, resistência, menor ou maior tempo de degradação, elasticidade, entre outras propriedades. O Quadro 2 resume alguns exemplos e aplicações de blendas poliméricas, bem como as vantagens de utilizá-las.

Quadro 2: Blendas poliméricas, vantagens e aplicações práticas. Fonte: (SILVA *et al.*, 2016).

Blenda polimérica	Vantagens	Aplicação
PVC/ABS	Melhor processabilidade e resistência do que o PVC.	Carcaças de

	Melhor retardante de chama do que o ABS.	Eletrodomésticos
PC/ABS	Melhor resistência ao impacto e temperatura de deflexão térmica do que o ABS. Melhor processabilidade e menor custo do que o PC.	Aparelhos e máquinas de caixas eletrônicos. Componentes automotivos.
PP/EPDM	Melhor resistência ao impacto do que o PP	Isolamento de fios e cabos. Para choques de automóveis. Mangueiras.
PET/PMMA	Menor custo do que o PMMA	Elétricas e eletrônicos
PPO/HIPS	Melhor processabilidade e tenacidade do que o PPO. Melhor temperatura de deflexão térmica do que o PS.	Componentes eletrodomésticos; Carcaça de máquinas
PBT/PET	Menor custo, melhor brilho e flexibilidade do que o PET.	Elétricos e eletrônicos.
PA/ABS	Boa resistência ao impacto. Alta resistência ao calor. Alto fluxo.	Componentes automotivos. Elétricas/Eletrônica. Equipamentos de Jardins.

Como citado acima, as blendas são preparadas com o intuito de acrescentar novas propriedades aos polímeros tratados como matrizes na composição da mistura. Para isso, são unidos vários polímeros com diferentes características e que podem, a partir das formas de mistura, adicionar incrementos válidos à blenda, como uma melhor degradação, tenacidade, maleabilidade, entre outros citados acima. Nesse contexto, a adição de óleos essenciais às blendas poliméricas pode trazer benefícios, atuando como plastificantes (trazendo, à mistura, maior maleabilidade), modificando

as propriedades ópticas (Pereira *et al*, 2010), elétricas (DURÃES, *et al*; 2008), contribuindo para o processo de biodegradação, entre outras influências características. Um óleo essencial muito relevante nas regiões da América Latina e no Brasil é a oleorresina de copaíba, extraída da árvore copaibeira.

2.11 OLEORRESINA DE COPAÍBA

O óleo de copaíba é um tipo de óleo essencial extraído da copaibeira uma árvore nativa da América Latina, especialmente do Brasil e de partes da África Ocidental, apresentando uma altura de 25 a 40 metros com uma casca aromática, folhagem densa e pequenas flores e frutos. (PIERI *et al.*, 2009)

Figura 11: Árvore copaibeira. Fonte: www.sitiodamata.com.br



O processo de extração da oleorresina de copaíba, segundo CASCON (2004), provém de canais esquizolizígeos, espaços intercelulares que permitem a cisão das paredes celulares, alocados em todas as partes da árvore copaibeira. (GUIA ANATOMIA VEGETAL)

O oleorresina é obtida por meio de uma perfuração nos canais esquizolizígeos presentes no tronco da árvore de copaíba. Essa perfuração consiste de um trado de 2 metros de diâmetros em dois furos. O primeiro furo é feito 1 m acima da base da planta, enquanto o segundo furo, de 1 a 1,5 m acima do primeiro. Ao realizar os furos no tronco, insere-se um cano de PVC que permite o escoamento do oleorresina. Após

a coleta, os orifícios são fechados com argila para proteção contra fungos e cupins. (PIERI *et al.*, 2009). Em alguns casos, a oleorresina é peneirada e filtrada para retirada de impurezas. Posteriormente, ela passa por um processo de destilação para separar o óleo da resina. A resina pode representar de 10% a 40% do volume da oleorresina *in natura*. (FERREIRA, 2016)

De acordo com Cascon & Gilbert (2000), a oleorresina de copaíba é composta por uma parte sólida resinosa não-volátil (por isso denominada oleorresina), que possuem ácidos diterpênicos responsáveis por 55 a 60% do óleo (PIERI *et al.*, 2009). A composição química do óleo pode ser considerada como uma mistura de diterpênicos e de sesquiterpenos. Os sesquiterpenos se dividem em oxigenados (álcoois) e hidrocarbonetos sesquiterpênicos, que são constituintes voláteis predominantes do óleo (TORRES, 2008). Os sesquiterpenos encontrados em maior quantidade no oleorresina de copaíba são: α -copaeno, β -cariofileno, β -bisaboleno, α e β -selineno, α -humuleno e δ e γ -cadineno. (FERREIRA, 2016)

Segundo estudos Silva *et al.* (2006), a partir do óleo extraído da folha de copaíba encontrou-se como constituintes voláteis os seguintes sesquiterpenos: germacreno-d, germacreno-b, t-cadinol, δ -cadineno e β -cariofileno, que são semelhantes à parte volátil sesquiterpênica da oleorresina. Já a parte resinosa é composta por diterpenos como ácido copaiférico, ácido copaiferólico, ácido calavênico, ácido patagônico, ácido copálico, ácido harwíckico, colavenol dentre outros. Sendo o ácido copálico o único encontrado em todos os óleos analisados por CG até o momento, portanto, é utilizado como biomarcador do óleo. (PIERI *et al.*, 2009)

Por conta de sua composição e abundância, as aplicações do óleo de copaíba são inúmeras, em especial dentro da área medicinal, em indústrias cosméticas e farmacêuticas. O óleo de copaíba possui características antibióticas, potencial antisséptico, antitético, anti-inflamatório, antitumoral e cicatrizante. (GUIA eCYCLE). Essas funções intrínsecas do óleo de copaíba, o tornam um material bastante útil mercadologicamente atraindo pesquisadores científicos e investidores para novas pesquisas envolvendo o óleo essencial.

3. OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia de preparação de blendas poliméricas a partir de polímeros hidrossolúveis, com a adição de óleo essencial de copaíba (*Copaifera officinalis*).

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver metodologias de preparação de blendas poliméricas utilizando PVA, amido e óleo de copaíba.
- Caracterizar o material polimérico obtido em cada metodologia por FTIR.
- Caracterizar o material polimérico obtido em cada metodologia por UV-Vis.
- Caracterizar o material polimérico obtido em cada metodologia por TG/DTG.
- Caracterizar o material polimérico obtido em cada metodologia por microscopia óptica.
- Caracterizar o material polimérico obtido em cada metodologia por MEV.
- Realizar um acompanhamento do processo de biodegradação dos materiais via MEV.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS E REAGENTES

O PVA foi adquirido da Dinâmica Química Contemporânea Ltda. Doado pela professora Artemis Marti Ceschin do Laboratório de Circuitos e Dispositivos Integrados da Universidade de Brasília. O óleo essencial de copaíba foi adquirido no comércio possuindo um grau de pureza de 100%.

4.1.1 Instrumentação Utilizada

- Espectrofotômetro de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), modelo Spectrum Two da marca PerkinElmer.
- Espectrofotômetro UV-VIS Evolution 300 da Thermo Fisher Scientific.
- Analisador Termogravimétrico DTG-60H da SHIMADZU.
- Microscópio óptico da marca Astral Científica.
- Microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL JSM- 7000F.

4.2 PREPARAÇÃO DAS BLENDA POLIMÉRICAS

A preparação das amostras ocorreu por dois métodos diferentes, nos quais utilizam-se o amido gelatinizado e o amido natural, dando origem a quatro diferentes amostras, mostradas nos Fluxogramas. O que diferenciou os dois métodos foi a adição de clorofórmio na formulação. No primeiro método, não se utilizou clorofórmio (CHCl_3), enquanto no segundo método, foi adicionada uma pequena quantidade desse solvente.

4.2.1 Pré-tratamento do amido com óleo de copaíba (AM-p/CB)

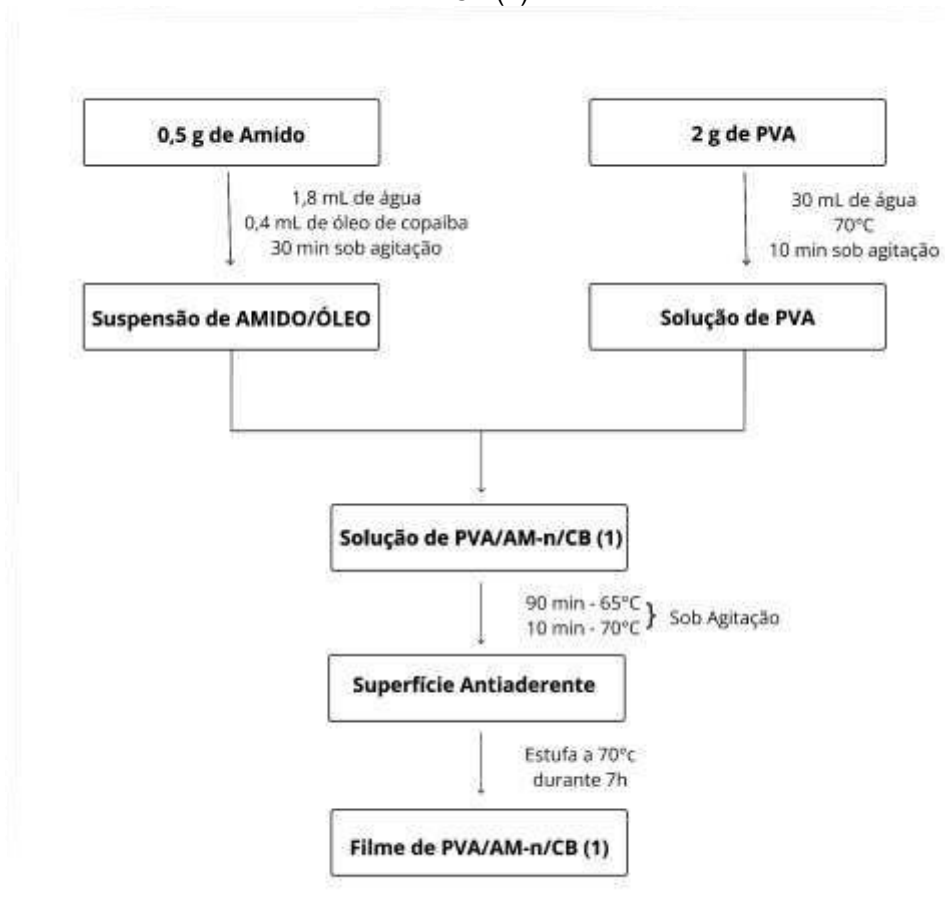
Para a preparação do amido (AM-p), pesou-se 0,5 g de amido e que foi colocado em um béquer de 25 mL. Posteriormente foram adicionados 1,8 mL de água deionizada e 0,4 mL de óleo de copaíba (CB), à mistura, que foi mantida sob agitação magnética durante 30 minutos. Logo em seguida, foi aquecida utilizando um banho-maria a uma temperatura média de 55°C durante 10 minutos para inchamento dos grânulos.

4.2.2 Blenda PVA/Amido natural/Óleo de copaíba (PVA/AM-n/CB (1))

Inicialmente, 0,5 g de amido foi adicionado em um béquer de 25 mL. Logo em seguida, colocou-se 1,8 mL de água deionizada e 0,4 mL de óleo de copaíba. A suspensão foi colocada sob agitação magnética por 30 minutos.

Para a preparação da solução de PVA, 2g de PVA foram dissolvidos em 30 mL de água destilada, sob agitação magnética durante 10 minutos em uma temperatura média de 70°C. Após a solubilização do PVA, adicionou-se a mistura amido natural-óleo de copaíba de massa igual a 2,509 g, obtida anteriormente. Essa mistura permaneceu sob agitação vigorosa e aquecimento a uma temperatura média de 65°C durante 90 minutos e, posteriormente, a temperatura média foi aumentada para 70°C durante mais 10 min. A solução PVA/AM-n/CB (1) foi transferida para um recipiente antiaderente e levado à secagem em uma estufa a uma temperatura de aproximadamente 70°C durante 7 horas. O fluxograma 1 mostra a sequência de preparação dos materiais.

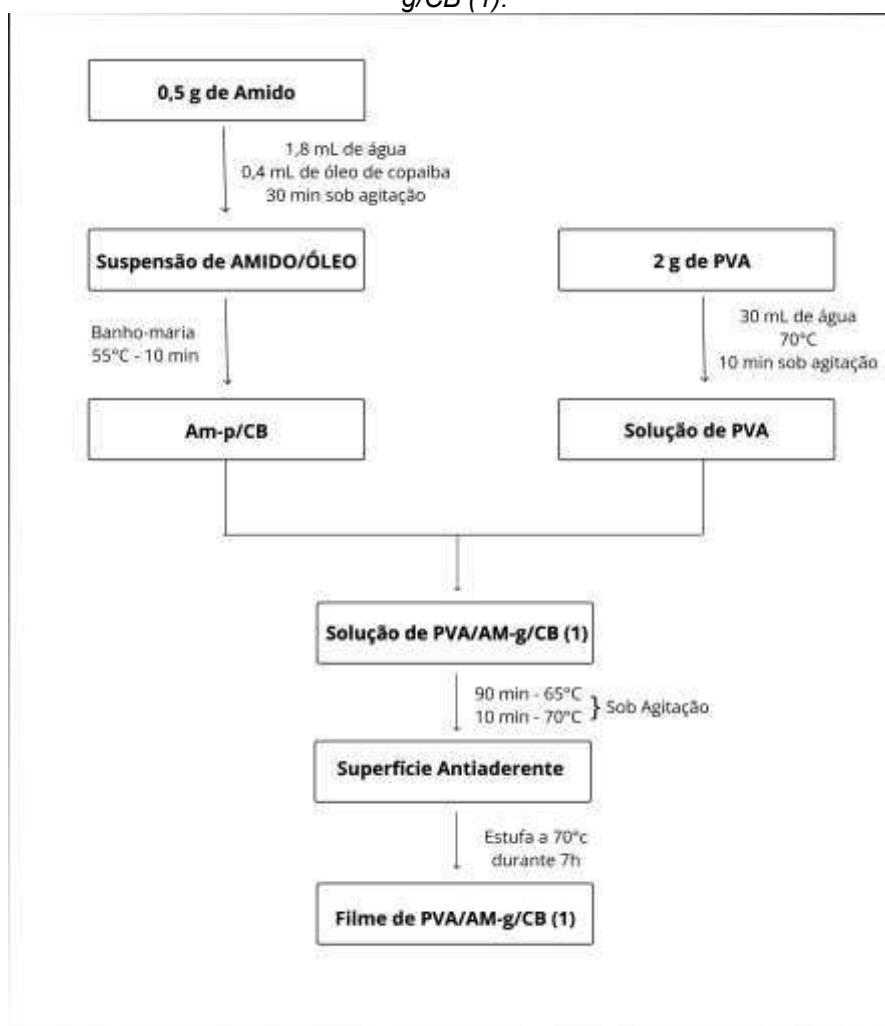
Fluxograma 1: Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-n/CB (1).



4.2.3 Blenda PVA/Amido gelatinizado/Óleo de copaíba - (PVA/AM-g/CB (1))

Para preparação da solução de PVA, 2g de PVA foram dissolvidos em 30 mL de água destilada sob agitação magnética durante 10 minutos em uma temperatura média de 70°C. Observada a solubilização do PVA, foram acrescentados 2,55 g de massa de amido pré-tratado com óleo de copaíba (AM-p/CB) preparado anteriormente. Essa mistura permaneceu sob agitação vigorosa e aquecimento a uma temperatura média de 65°C durante 1h30 e, posteriormente, a temperatura média foi aumentada para 70°C durante 10 min, para finalização da gelatinização do amido (AM-g/CB) anteriormente tratado. A solução polimérica de PVA/AM-g/CB (1) foi transferida para um recipiente antiaderente e levada à estufa a uma temperatura de aproximadamente 70°C durante 7 horas. O fluxograma 2 mostra a sequência de preparação dos materiais.

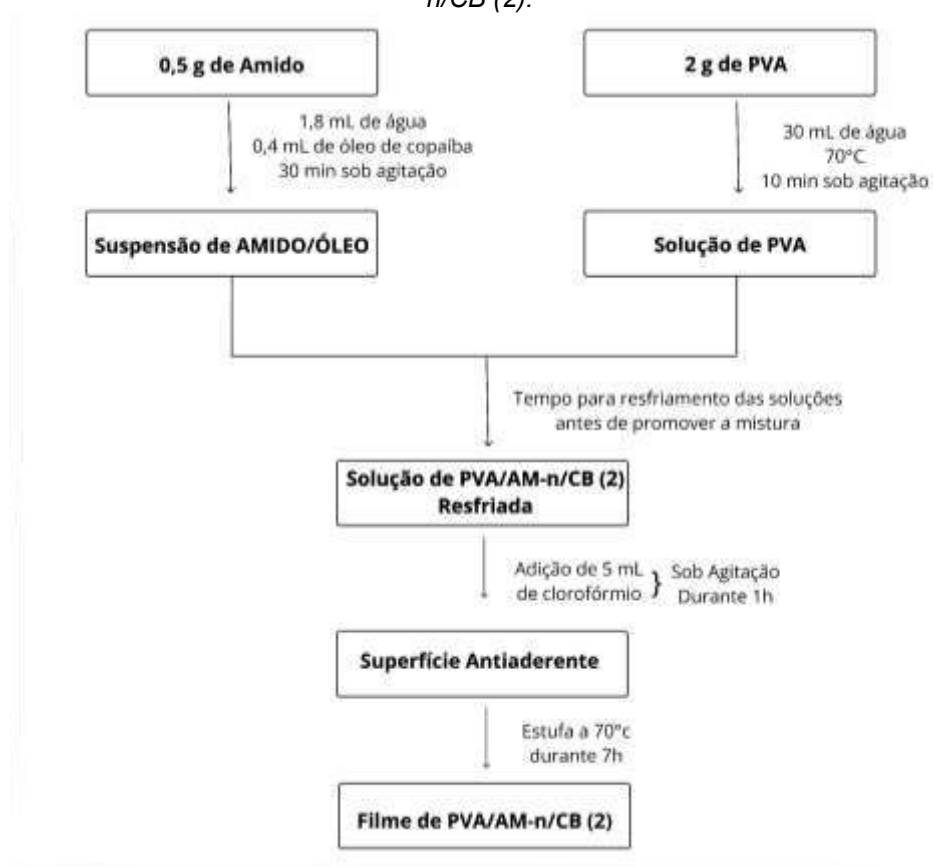
Fluxograma 2: Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-g/CB (1).



4.2.4 Blenda PVA/Amido natural/Óleo de copaíba com clorofórmio na formulação. (PVA/AM-n/CB (2))

Este processo de preparação é similar ao do preparo da blenda PVA/AM-n/CB (1). Inicialmente, 2g de PVA foram dissolvidos em 30 mL de água destilada sob agitação magnética durante 10 minutos em uma temperatura média de 70°C. Após observada a solubilização do PVA, adicionou-se a mistura amido natural-óleo de copaíba de massa igual a 2,448 g, obtida anteriormente. Essa mistura permaneceu sob agitação vigorosa e aquecimento a uma temperatura média de 65°C durante 1h30 e, posteriormente, a temperatura média foi aumentada para 70°C durante 10 min. Em seguida, a amostra foi levada a um breve resfriamento até alcançar a temperatura de 55°C, e 5 mL de clorofórmio (CHCl₃) foram adicionados ao seio da solução de PVA/AM-n/CB (2). A mistura foi submetida à vigorosa agitação durante 1h. Posteriormente, a solução foi transferida para um recipiente antiaderente e colocado em uma estufa a uma temperatura de aproximadamente 70°C durante 7 horas. O fluxograma 3 mostra a sequência de preparação do material.

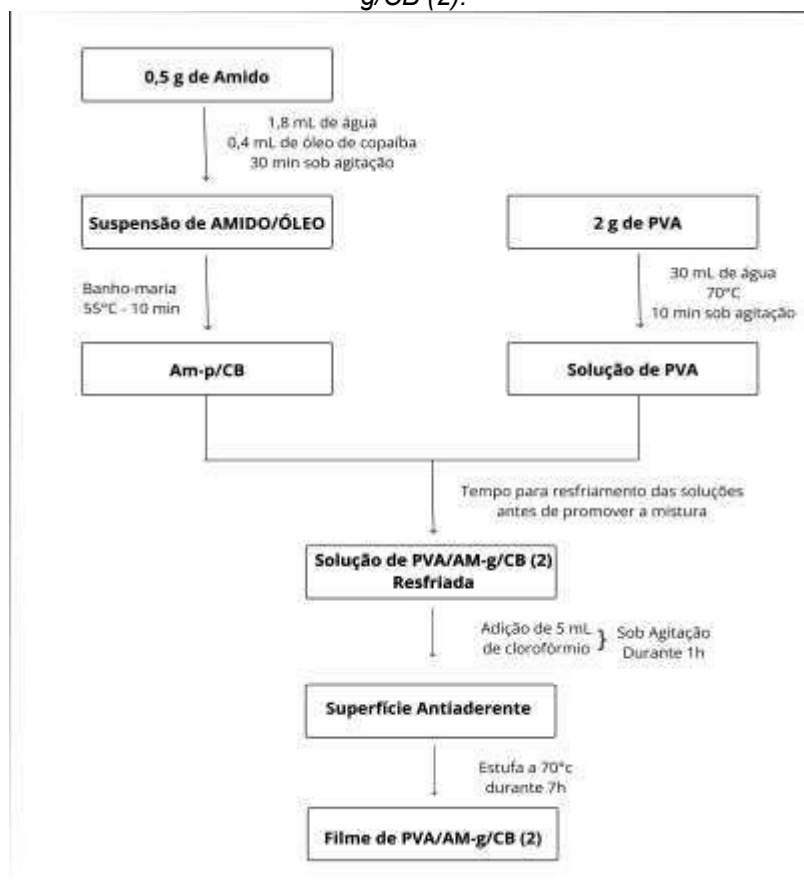
Fluxograma 3: Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-n/CB (2).



4.2.5 Blenda PVA/Amido gelatinizado/CB com clorofórmio em sua formulação (PVA/AM-g/CB (2)).

Este processo de preparação é similar ao preparo da blenda PVA/AM-g/CB (1). Inicialmente, 2g de PVA foi dissolvido em 30 mL de água destilada de água sob agitação magnética durante 10 minutos em uma temperatura média de 70°C. Após sua solubilização, 2,651 g de amido pré-tratado com óleo de copaíba (AM-p/CB) preparado anteriormente, essa mistura permaneceu sob agitação vigorosa e aquecimento a uma temperatura média de 65°C durante 1h30 e, posteriormente, a temperatura média foi aumentada para 70°C durante 10 min, para finalização da gelatinização do amido (AM-g/CB) anteriormente tratado. Em seguida, a amostra foi levada a um breve resfriamento até alcançar a temperatura de 55°C, e 5 mL de clorofórmio (CHCl_3) foram adicionados ao seio da solução de PVA/AM-g/CB (2). A mistura foi submetida à agitação vigorosa durante 1h. Posteriormente, a solução foi transferida para um recipiente antiaderente e colocado em uma estufa a uma temperatura de aproximadamente 70°C durante 7 horas. O fluxograma 4 mostra a sequência de preparação dos materiais.

Fluxograma 4: Fluxograma do procedimento experimental de desenvolvimento da blenda PVA/AM-g/CB (2).



4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS

4.3.1 Análise de Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As amostras foram analisadas em um espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), em forma de filmes e pó (amido), os quais foram gravadas no equipamento Spectrum Two da PerkinElmer operando na faixa de 650 - 4000 cm^{-1} , com precisão de 4 cm^{-1} .

4.3.2 Análise de Absorção UV-VIS

Os espectros de absorção, foram obtidos por um espectrofotômetro Evolution 300 da Thermo Fisher Scientific, com faixa de varredura inicial de 200 nm até 1000 nm alocado no Laboratório de Dispositivos e Circuitos Integrados do Departamento de Engenharia Elétrica da UnB. Em todas as varreduras foram utilizadas cubetas de quartzo.

4.3.3 Análise Termogravimétrica (TGA/DTA)

A análise de degradação e estabilidade térmica foi realizada por um Analisador Termogravimétrico DTG-60H da SHIMADZU alocado no Laboratório Multiusuário da Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de Brasília (UnB). As massas das amostras foram pesadas em uma cela de platina (7-12 mg) e aquecidas da temperatura ambiente até 650°C com taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹, sob atmosfera de hélio (30 mL.min⁻¹). Para encontrar os pontos onde a temperatura induz a velocidade máxima de degradação das amostras (T_d) foram realizadas a derivadas das curvas apresentadas pelos resultados da análise termogravimétrica (TGA)

4.3.4 - Análise da Morfologia por Microscopia Óptica

A análise morfológica das amostras feitas por microscopia óptica foi realizada utilizando um microscópio com três lentes de ampliação, da marca Astral Científica, com aumentos de 40 e 100 vezes, alocado no Laboratório de Físico-química do IFB.

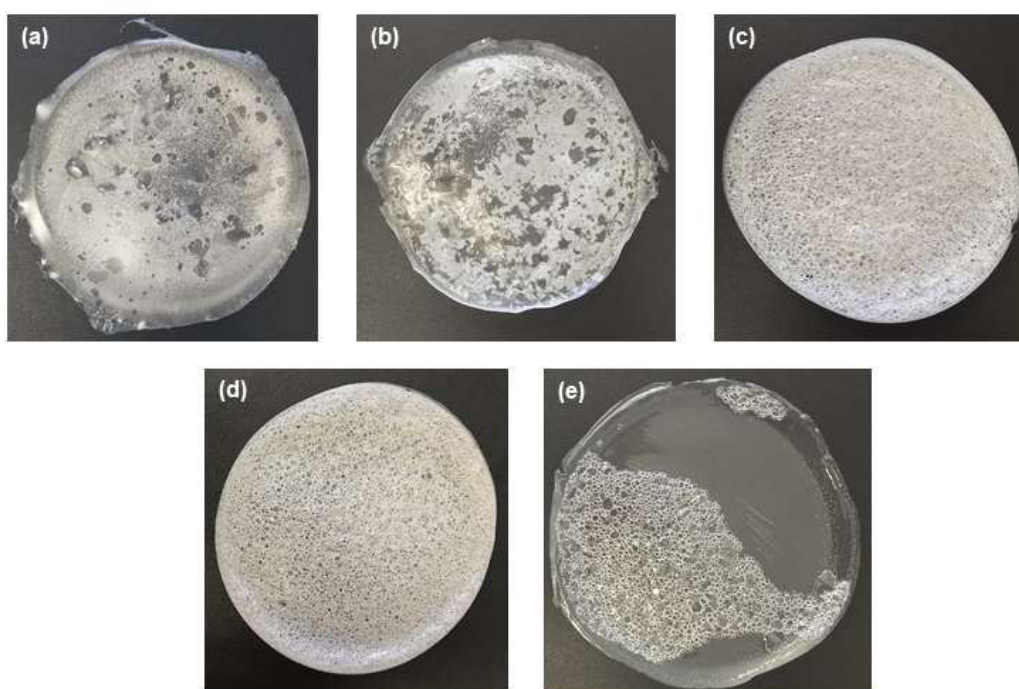
4.3.5 Análise da Morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia das amostras foi realizada usando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O MEV foi realizado de duas formas diferentes: superfície e parte interna dos materiais poliméricos. Para análise da superfície, as amostras foram cortadas em partes de 1cm x 2cm e fixadas em suporte de latão (*stub*) com fita de carbono. Para análise da parte interna, pedaços dos materiais poliméricos foram congelados em nitrogênio líquido e, posteriormente, fraturados. Os materiais foram fixados em suporte de latão (*stub*) com fita de carbono de forma que as fraturas ficassem voltadas para cima. Em seguida, as amostras foram recobertas com ouro (90 A), utilizando um Sputter Coater Balzers SDC 500 nas condições de 40 mV e 60s. As micrografias foram obtidas utilizando o microscópio JEOL JSM- 7000F, sob tensão de 15 e 5 kV, alocado no laboratório de Microscopia e Microanálise do Instituto de Biologia da UnB.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento das blendas resultou em filmes diferentes em morfologia interna e externa, além de diferenças macroscópicas perceptíveis como mostra a Figura 12.

Figura 12: Imagem fotográfica das blendas: (a) blenda PVA/AM-n/CB (1); (b) blenda PVA/AM-g/CB (1); (c) blenda PVA/AM-n/CB (2); (d) blenda PVA/AM-g/CB (2) e (e) PVA puro.



Pode-se verificar pela Figura 12 que as blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1) (Figura 12a e 12b) possuem morfologia macroscópica similar, revelando-se materiais com superfície não homogênea e claramente com separação de fase. As blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2) (Figura 12c e 12d) também apresentaram uma morfologia similar entre si, apresentando estruturas porosas que lembram bolhas de ar de tamanho uniforme e, aparentemente, distribuídas de forma homogênea dentro da cadeia polimérica do PVA. No entanto, ao comparar os materiais poliméricos preparados sem clorofórmio na formulação (Figura 12a e 12b) com os materiais preparados com clorofórmio na formulação (Figura 12c e 12d) é visível a diferença entre os aspectos superficiais. Visualmente as blendas preparadas

com clorofórmio (PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2)) lembram a estrutura de PS expandido, popularmente conhecido como isopor.

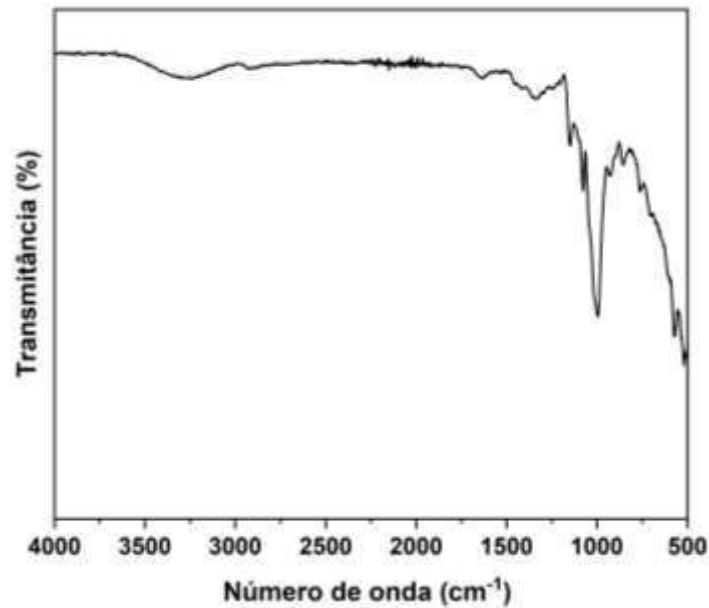
Segundo *The Dow Chemical Company* (criadora do termo isopor), “ [...] *poliestireno extrudido (XPS) é uma espuma feita para aplicações de isolamento térmico*”, ou seja, o poliestireno na forma expandida é um conglomerado que tem aspecto de espuma (formado por bolhas de gás). As blendas (PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2)) lembram o arranjo superficial do PS expandido (isopor), enquanto o aspecto dos materiais preparados sem clorofórmio revela nitidamente uma separação de fase com má distribuição do amido e do óleo de copaíba na matriz hospedeira, ou seja, uma blenda imiscível, o que não significa que as propriedades dos materiais foram perdidas.

5.1 ANÁLISE DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), é uma análise focada em evidenciar a presença de grupos funcionais presentes na estrutura de uma substância. Baseia-se na decomposição do espectro, nos comprimentos de onda na região do infravermelho médio ~ 4000 a 400 cm^{-1} . (HARRIS, 2017 p. 428-502). Esta análise foi utilizada para caracterizar a presença de grupos específicos e de bandas espectrais de substâncias comuns às amostras desenvolvidas.

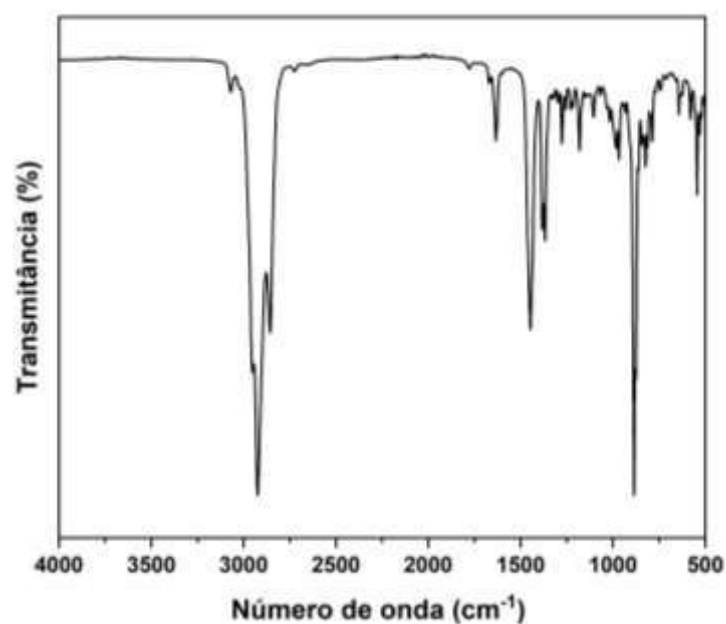
A Figura 13 revela o espectro de IR do amido. Pode-se observar que amido possui algumas bandas na região de $2900-3000\text{ cm}^{-1}$, tais bandas são correspondentes ao estiramento C-H sp^3 . Para os números de onda de 1163, 1150, 1124 e 1103 cm^{-1} existe uma correspondência aos estiramentos C-O e C-C, podendo ressaltar também uma contribuição do estiramento C-OH. (Lima *et al.*, 2012). Em outras regiões do espectro há bandas correspondentes às deformações C-OH e C-H₂, que de acordo com o texto do Lima *et al.* (2012) “referem-se às faixas 1077, 1067, 1047, 1022, 994 e 928 cm^{-1} e grupos O-C-O (éter) presentes em monômeros da glucose absorvem na faixa de $1150-1085\text{ cm}^{-1}$ ”.

Figura 13: Espectro do amido utilizado na composição da blenda.



O espectro de IR para o óleo de copaíba pode ser analisado pela Figura 14. O óleo apresenta uma absorção em 2930 cm^{-1} referente aos estiramentos de C-H alifáticos. Bandas em torno de $1500\text{-}1900 \text{ cm}^{-1}$ correspondem aos estiramentos CO_2H de carboxilas. (PERIOTTO, 2012). Para a amostra de óleo utilizada esse estiramento apareceu em 1437 e 1630 cm^{-1} .

Figura 14: Espectro do óleo de copaíba utilizado na composição da blenda.



As principais bandas de absorção características do IR do óleo de copaíba podem ser analisadas pela Tabela 1.

Tabela 1: Regiões de agrupamento segundo a ficha padrão de FTIR (PERIOTTO, 2012).

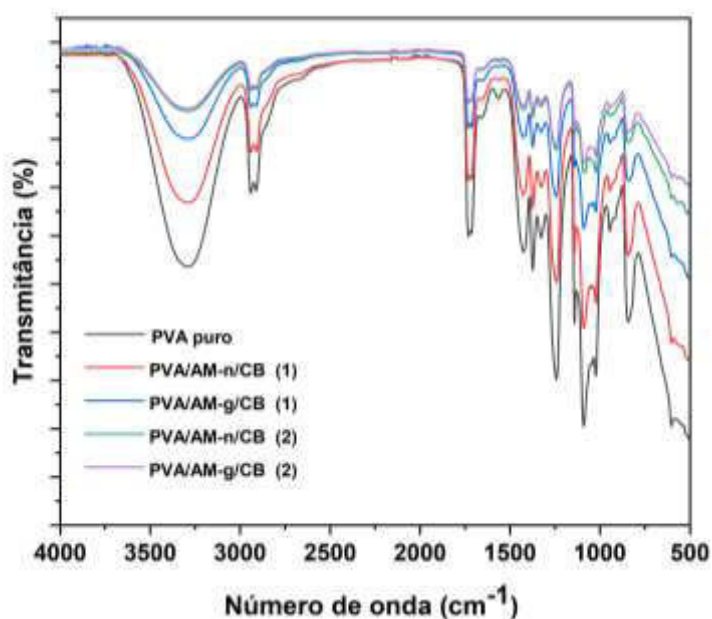
Dados da Ficha padrão de FTIR		
	Grupo funcional	Número de onda observado cm^{-1}
Óleo de copaíba	C-H - Alifáticos	2960-2850
	CO ₂ H - Carboxilas	1500-1900
	C-O - Ác. carboxílicos	1420 e 1300 – 1200
	C ₂ H - ésteres	1300-1050
	C=O - éteres	730-675

O PVA apresenta bandas largas entre 3550 e 3200 cm^{-1} que estão relacionados ao estiramento O-H de ligações de hidrogênio intermolecular e intramolecular. A banda observada entre 2840 e 3000 cm^{-1} se refere ao estiramento C-H de grupos alquilas.

A Figura 15 apresenta os espectros de IR do PVA puro e das blendas formadas a partir do PVA, amido e óleo de copaíba. Os principais picos de PVA observados ocorrem em 3280, 2917, 1425, 1324, e 839 cm^{-1} . Esses picos podem ser atribuídos aos estiramentos O-H do grupo hidroxila, vibração do estiramento assimétrico CH₂ de grupos alquilas, estiramento C-H, vibração da deformação C-H e estiramento C-C. (KHARAZMI, 2015). O pico que ocorre na faixa de 3400 - 3200 cm^{-1} também está relacionado ao estiramento O-H de ligações hidrogênio intermolecular e intramolecular (SILVA, 2015 p.26). A banda observada entre 2916 e 2945 cm^{-1} se refere ao estiramento C-H de grupos alquilas do PVA. Uma importante banda de absorção ocorre em 1142 cm^{-1} , pois esta banda permite avaliar a estrutura semicristalina do poli(vinil álcool) capaz de formar domínios dependendo do processo de síntese. (REISA, 2006)

Outros picos aparecem em aproximadamente 1301 cm^{-1} e em 1098 cm^{-1} que são associadas as vibrações CH_2 e as bandas características de vibrações do grupo C-O respectivamente, sendo tais grupos parte integrante da estrutura do PVA. (TEIXEIRA *et al.*, 2018)

Figura 15: Espectro comparativo de infravermelho das amostras poliméricas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2); PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.



Conforme pode ser visualizado pela Figura 15, todas as blendas apresentaram bandas em regiões comuns do PVA. A gelatinização do amido, bem como a adição de clorofórmio não alterou o espectro de IR de forma significativa. No entanto, ao comparar os espectros de IR do amido e do óleo de copaíba com os espectros das blendas, percebe-se que não é possível identificar as principais bandas referentes ao amido e ao óleo de copaíba nos materiais poliméricos. Isso pode ser explicado pelo fato de ter sido utilizado uma quantidade muito pequena de amido e óleo de copaíba na formulação das blendas. O PVA, polímero hospedeiro, não permitiu a visualização das faixas de absorção desses materiais devido à pequena quantidade utilizada para preparação dos materiais poliméricos. Além disso é válido acrescentar a possibilidade de que os feixes de luz incidentes da análise infravermelho não tenham alcançado

regiões de domínios com amido e óleo de copaíba, nesse contexto a leitura dos dados não ofereceria informações de curvas com todos os componentes da blenda.

As principais bandas de absorção do PVA e das blends poliméricas podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2: Principais bandas de absorção FTIR do PVA.

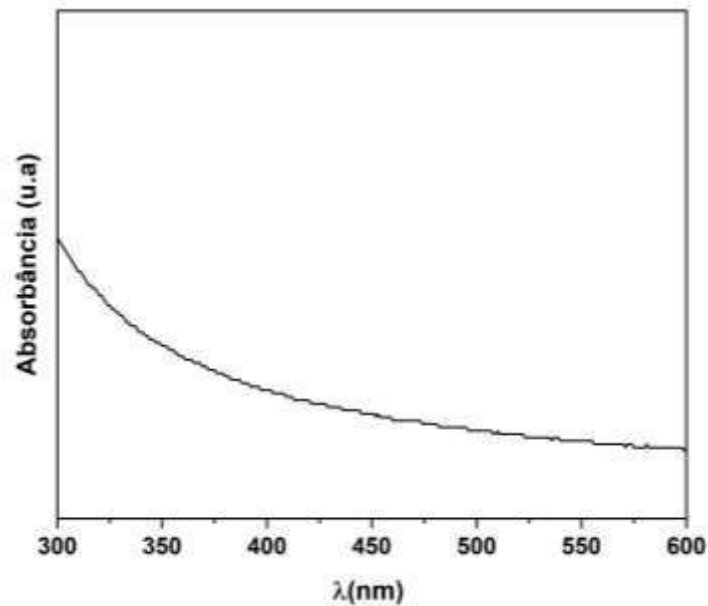
FTIR resultante do PVA	
Atribuição	Número de onda observado cm^{-1}
Estiramento OH	3300
Estiramento assimétrico CH_2	2917
Estiramento C=O	1690
Curvatura CH_2	1425
Deformação C-H	1324
Estiramento C-O	1080
Estiramento C-C	839

5.2 ANÁLISE DE ABSORÇÃO UV-VIS

A espectrofotometria UV-Vis é uma técnica de medida da interação da matéria com a luz eletromagnética (IUPAC, 2012), em regiões do visível e ultravioleta do espectro (200-800 nm).

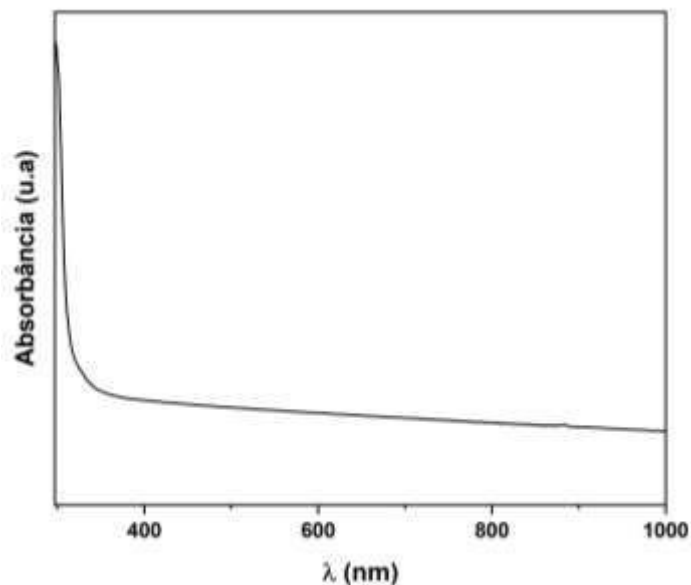
Para o amido a espectrofotometria UV-Vis revelou que a absorção aconteceu em valores abaixo de 300 nm. Segundo Sun (2007), existem duas bandas de absorção presentes na região ultravioleta do espectro do amido localizadas em 226 nm e 318 nm, que não são possíveis de perceber pelo gráfico plotado.

Figura 16: Curva de UV-Vis para o amido



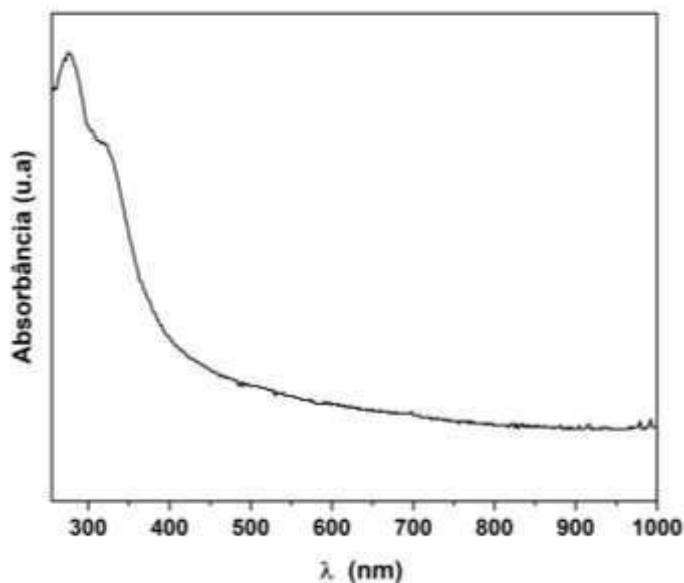
A curva de UV-vis para o óleo essencial de copaíba, utilizado neste trabalho, indica que o óleo essencial não possui faixas de absorção dentro do espectro visível (Figura 17), mas apresenta uma grande absorção na região do ultravioleta, abaixo de 320 nm. (ALVES, 2015)

Figura 17: Curva de UV-Vis para o óleo de copaíba.



O PVA puro possui um espectro de absorção próximo ao observado na curva do óleo de copaíba, pois as faixas de absorção estão nos comprimentos de onda (λ) em regiões do ultravioleta (EISA, 2011). Como indica a Figura 18, o PVA absorve na região de 260 a 295 nm com um máximo em 277 nm e um ombro em 318 nm. De acordo com a literatura (EISA, 2011).

Figura 18: Curva de UV-Vis para o PVA puro



O PVA puro tem um ombro de absorção característico em valores próximos a 318 nm, que segundo Costa *et al.* (2012) seria devido à “transição $\pi - \pi^*$ da insaturação dos grupos C=O e C=C presentes devido aos acetatos residuais”.

As curvas de análise UV-Vis das blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1) (Figura 19), apresentam forte absorção abaixo de 300 nm. Pode-se observar que a presença de amido e óleo de copaíba na matriz PVA promoveu o desaparecimento das bandas de absorção em 277 nm e 318 nm da matriz hospedeira, tornando-se um material com uma absorção forte abaixo de 300 nm, o mesmo comportamento é observado nas blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2) (Figura 20).

Figura 19: Curva de UV-Vis para as blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1).

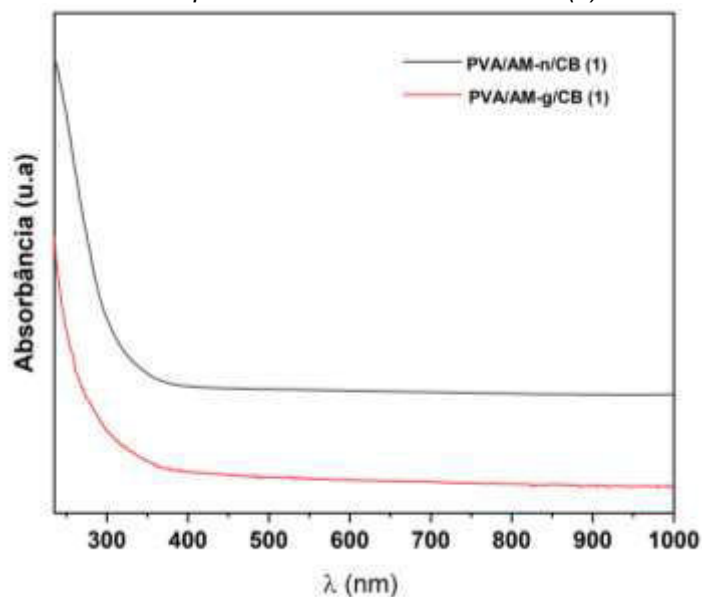
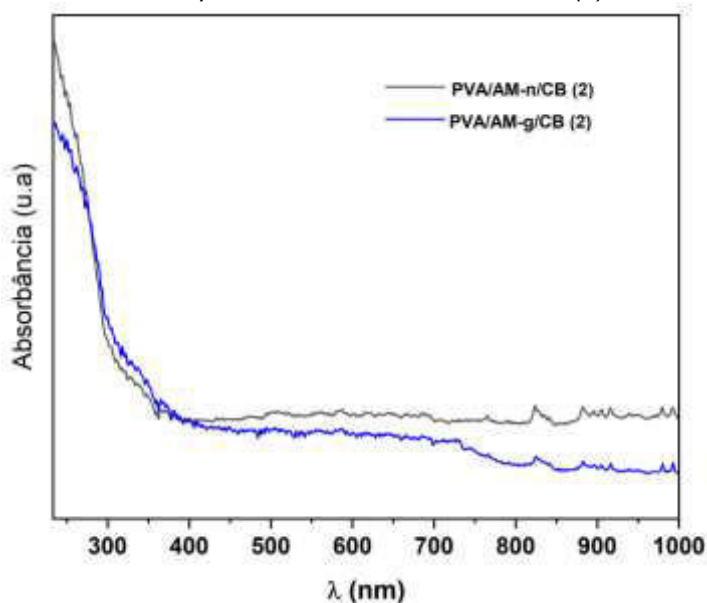


Figura 20: Curva de UV-Vis para as blends PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2).



5.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA/DTA)

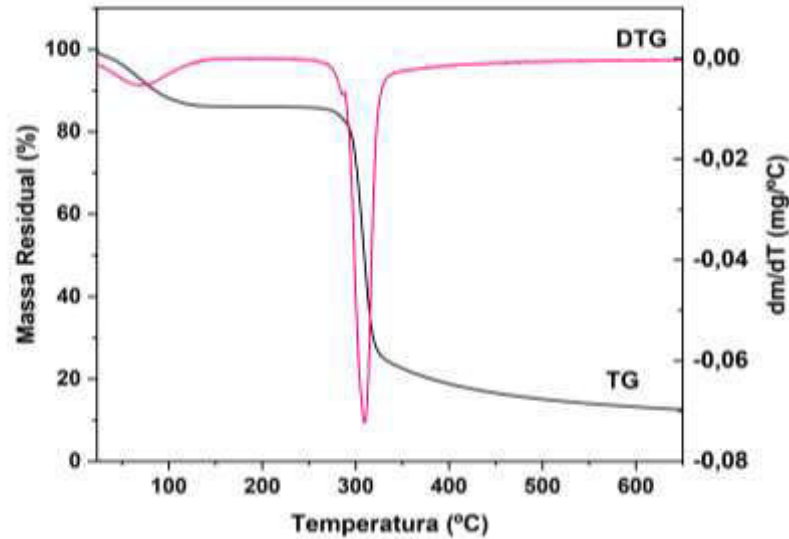
A análise termogravimétrica foi realizada nas diferentes amostras com intuito de medir a estabilidade térmica, além de analisar a resposta dos materiais quando expostos ao aumento progressivo da temperatura. Os gráficos fornecidos pelo TGA permitem a obtenção de dados relativos à degradação das massas de amostras em função das temperaturas as quais foram expostas, assim como a temperatura de mudança da curva (T_{onset}) indica o início da perda de massa dos materiais estudados. (TEIXEIRA *et al.*, 2018)

A análise da temperatura em que a velocidade de decomposição é máxima (T_d) também é um relevante resultado obtido pelo cálculo da variação da massa em relação ao tempo (dm/dt). Esta informação é obtida pela derivada da curva de TGA, conhecida como DTG. O resultado dessa derivada possibilita determinar a temperatura na qual a velocidade de degradação térmica é máxima nas amostras. (LIMA *et al.*, 2012)

A partir da curva de análise termogravimétrica do amido (Figura 21) é possível observar que o material apresenta dois estágios de degradação. O primeiro estágio ocorre 65,6° C, com 12,7% de perda de massa que pode ser associada a perda de água/voláteis, por vezes retida na estrutura do material. A segunda etapa de degradação ocorre 309°C com 63,2% de perda de massa e pode ser atribuída à degradação máxima do polissacarídeo. A temperatura inicial de degradação média

($T_{\text{onset 2}}$) na amostra de amido foi de 275°C (Tabela 3), dando início a decomposição térmica também conhecida como pirólise, que se finda em aproximadamente 325°C.

Figura 21: Curvas de TG/DTG para o amido.



Os valores das T_{onset} , T_d e perda de massa em cada etapa de degradação do amido estão apresentados na Tabela 3.

A curva de TG para o óleo de copaíba (Figura 22 e Tabela 3), indica que o material é termicamente estável até a temperatura T_{onset} de 77°C, valor relativo ao ponto do início extrapolado da curva. O óleo essencial apresenta uma T_d (ponto de inflexão da curva) de valor igual a 174 °C, temperatura onde a volatilização do óleo essencial foi máxima, com perda de massa de 97,3% (Tabela 3).

Figura 22: Curvas de TG/DTG para o óleo de copaíba.

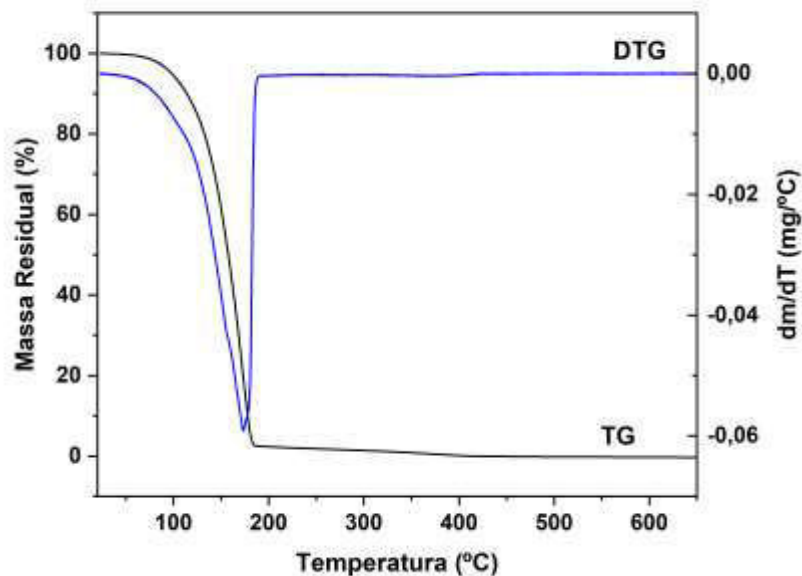


Tabela 3: Valores de Tonset, Td e perda de massa para o amido e óleo de copaíba.

Amostra	T _{onset} 1 (°C)	T _{d1} (°C)	*PM (%)	T _{onset} 2 (°C)	T _{d2} (°C)	*PM (%)
Amido	36,7	65,6	12,7	275,0	309	63,2
Óleo de copaíba	77,0	174,0	97,3	-	-	-

* Perda de Massa

Os valores adquiridos pelo gráfico do óleo de copaíba (Figura 22 e Tabela 3), relativo à temperatura inicial de degradação (T_{onset}), indicam a possibilidade de haver ocorrido um início de degradação do óleo de copaíba durante a produção dos polímeros, levando em conta as temperaturas utilizadas na síntese, que oscilaram numa faixa de 70°C – 80°C, fato que poderia prejudicar as propriedades da blenda formada.

As Figuras 23 e 24 mostram as curvas de TGA e DTG, respectivamente, para as blendas poliméricas e o PVA puro. Pode-se observar que a curva de TG para o PVA revela três estágios de degradação (Figura 23). O primeiro, apresenta uma temperatura T_{onset} em 41,6°C (Tabela 4) e ocorre em 86,4°C (Tabela 5) com uma perda de massa equivalente 8,5%. Essa primeira perda de massa pode estar associada a perda de voláteis e umidade (água) da matriz polimérica. No segundo evento térmico, observa-se uma segunda T_{onset} (276,5°C) onde se inicia o momento de degradação mais expressivo que se efetiva 324,5°C com perda de massa equivalente a 70,8% (Tabela 5). O terceiro estágio de degradação acontece em 437,0 °C e apresenta 15,5% de perda de massa e uma T_{onset} em 411°C.

Segundo estudos apontados por SADHU (2015), os valores de temperatura para os três estágios de degradação do PVA são 150°C, 350 °C e 450°C. A discrepância entre o primeiro valor encontrado e a literatura se deve a instabilidade do material por conta da presença de água em sua estrutura decorrente de um processo de secagem ineficiente.

Figura 23: Curvas de TG para as blendas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.

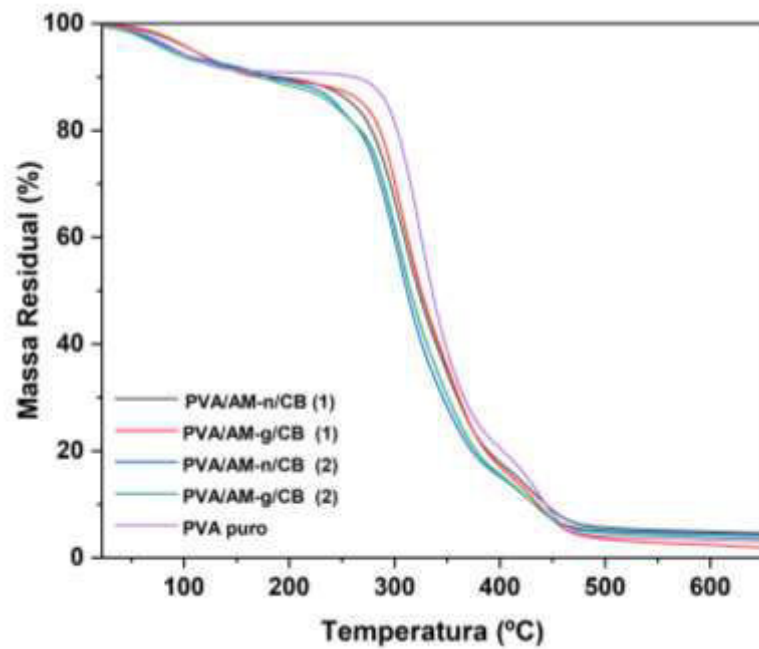


Figura 24: Curvas de DTG para as blendas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.

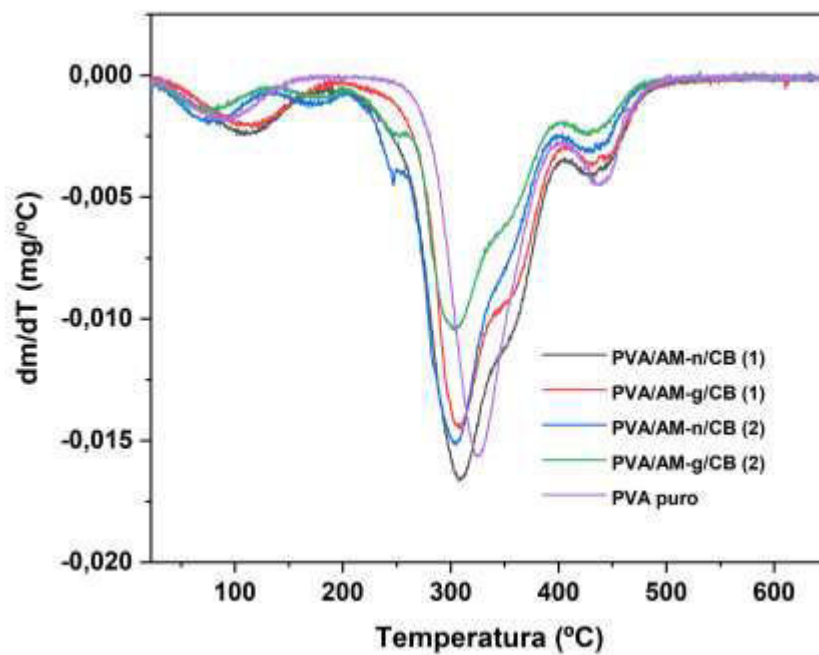


Tabela 4: Valores de T_{onset} para as blendas poliméricas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.

Amostra	T_{onset} 1 (°C)	T_{onset} 2 (°C)	T_{onset} 3 (°C)
PVA/AM-n/CB (1)	54,8	238,0	409,0
PVA/AM-g/CB (1)	58,2	241,0	405,0
PVA/AM-n/CB (2)	33,5	229,3	407,0
PVA/AM-g/CB (2)	33,0	234,8	403,0
PVA Puro	41,6	276,5	411,0

A Figura 23 revelou uma predominância da curva de PVA na análise da estabilidade térmica da estrutura, em detrimento das curvas de TG do amido e do óleo essencial. Isso pode ser relacionada a quantidade de PVA na construção da blenda - em cerca de 78% da massa total - outro possível motivo do desaparecimento das indicações da curva do óleo, seria a sua degradação, ponto que causa dúvida, pois a curva analisada não indica a presença de tal etapa na degradação (Figura 24).

Observando os valores das primeiras T_{onset} das blendas poliméricas (Tabela 4) e comparando com a primeira T_{onset} do PVA puro, pode-se dizer que as blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1) tiveram uma maior estabilidade térmica que o PVA, pois apresentaram as T_{onset} (1) superiores, enquanto que as blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2) tiveram uma estabilidade menor dentre todos os materiais analisados. A análise da segunda T_{onset} (onde se inicial a principal etapa de decomposição térmica) de todas as blendas demonstra que houve uma redução na estabilidade térmica em relação ao PVA puro, pois seus valores são inferiores a T_{onset} (2) e T_{onset} (3) da matriz polimérica de PVA. (Tabela 4). O mesmo efeito é observado ao se analisar as T_{onset} (3) das blendas poliméricas.

Para a análise dos dados relativos aos pontos de T_d (pontos de inflexão da curva da derivada de TG), tem-se a Figura 24 e Tabela 5. De acordo com o gráfico da DTG (Figura 24), as blendas apresentaram alguns valores de derivada (T_d), organizadas a partir de um ponto de referência que são as amostras com mais pontos de T_d (Tabela 5), que fornecem a temperatura onde a velocidade de degradação do material foi máxima (LIMA *et al.*, 2012). Como a T_d3 representa o momento de maior

perda de massa em todas as blendas, o seu valor é o mais relevante dentre os valores de derivada encontrados. Mesmo que o valor de T_{d3} seja mais expressivo, a T_{d1} , para as blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1), também apresentou informações válidas a discursão dos resultados, pois revelou um deslocamento da curva de degradação do PVA, o que sugere maior estabilidade, que aconteceu também para os valores da T_{onset} (1), corroborando com a sugestão anteriormente levantada.

Assim, os valores de T_{d3} das blendas relacionadas a derivada estão posicionadas na Tabela 5 e compreendem a valores menores que os encontrados na matriz de PVA puro (324,5°C) indicando uma menor estabilidade térmica das blendas quando comparada ao PVA puro. Para as blendas de PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1), as temperaturas T_{d3} são 309°C e 307,6°C com uma perda de massa de 72,7% e 73,3%, respectivamente, nesta etapa de decomposição. Para as blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2), as T_{d3} assumem valores iguais a 308,7°C e 307,8°C, com uma perda de massa de 72,8% e 66,5%, respectivamente.

O amido possui uma T_d de 309°C segundo a Tabela 3, pode se observar que as blendas um T_{d3} na faixa de 270 - 320°C, essas faixas de decomposição podem estar relacionadas a etapa de decomposição do amido e a decomposição do próprio PVA, deslocada para temperaturas menores, por conta da presença do PVA e do amido na composição das blendas. É possível observar na Figura 24 o surgimento de ombros de degradação nas blendas na faixa de temperatura inicial de 330 a 350°C, tais ombros de degradação podem indicar uma decomposição residual de PVA.

Tabela 5: Valores de T_d e perda de massa para PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1), PVA/AM-n/CB (2), PVA/AM-g/CB (2) e PVA puro.

Amostra	T_{d1} (°C)	*PM (%)	T_{d2} (°C)	*PM (%)	T_{d3} (°C)	*PM (%)	T_{d4} (°C)	*PM (%)
PVA/AM-n/CB (1)	108,0	9,2	-	-	309,0	72,7	429,5	11,16
PVA/AM-g/CB (1)	110,0	10,1	-	-	307,6	73,3	431,0	12,3
PVA/AM-n/CB (2)	79,0	6,7	179,0	3,6	308,7	72,8	437,0	9,9
PVA/AM-g/CB (2)	73,6	7,3	179,0	3,8	307,8	66,5	431,5	9,9
PVA Puro	86,4	8,5	-	-	324,5	70,9	437,0	15,5

* Perda de Massa

Outro ponto que vale mencionar é o surgimento de mais uma etapa de degradação para as blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2). As blendas PVA/AM-n/CB (1), PVA/AM-g/CB (1) e PVA puro apresentaram três etapas de degradação, enquanto os materiais poliméricos, PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2), apresentaram quatro estágios de degradação com o segundo estágio ocorrendo em 179,0°C e perda de massa de 3,6% e 3,8%, respectivamente, o que sugere que a alteração aconteceu por conta da presença de CHCl_3 . O aparecimento dessa nova etapa de degradação propõe que essas blendas poliméricas possuem uma menor estabilidade térmica quando comparadas com as blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1).

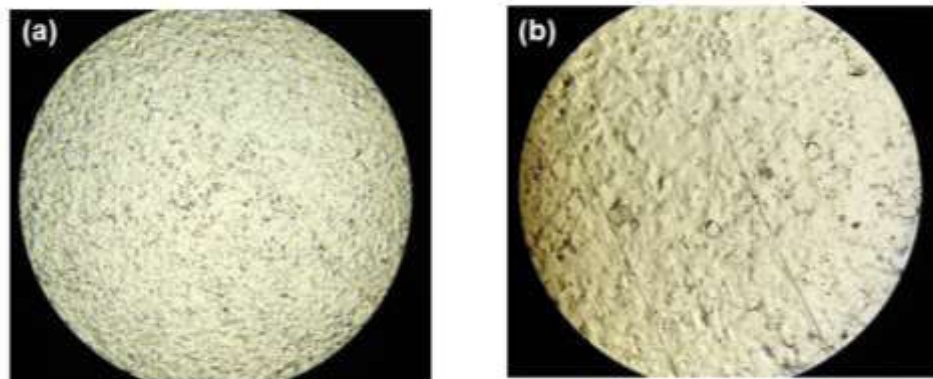
5.4 ANÁLISE DA MORFOLOGIA POR MICROSCOPIA ÓPTICA

Segundo o dicionário *Oxford languages* (2021), a morfologia tem como conceito o “*estudo da forma, da configuração ou da aparência externa da matéria*”, por isso é um estudo bastante relevante para caracterização de blendas, pois dizem muito sobre quais são as possíveis características e as formas com que se acomodam os componentes da mistura.

A técnica de microscopia óptica, é segundo a UFSC (2015), “*permite o aumento de imagens através da luz que após incidir sobre a amostra, passa por um conjunto de lentes objetivas (que formam e aumentam a imagem) e oculares (que aumentam a imagem)*”. Para as amostras analisadas os aumentos foram de 40x e 100x, separadas em blendas com amido natural (PVA/AM-n) e blendas com amido gelatinizado (PVA/AM-g). Além da diferenciação das blendas entre sem CHCl_3 (1) e com CHCl_3 (2), de forma que as análises pudessem relacionar os processos usando o amido gelatinizado, bem como a presença, ou não, do clorofórmio na composição das blendas poliméricas.

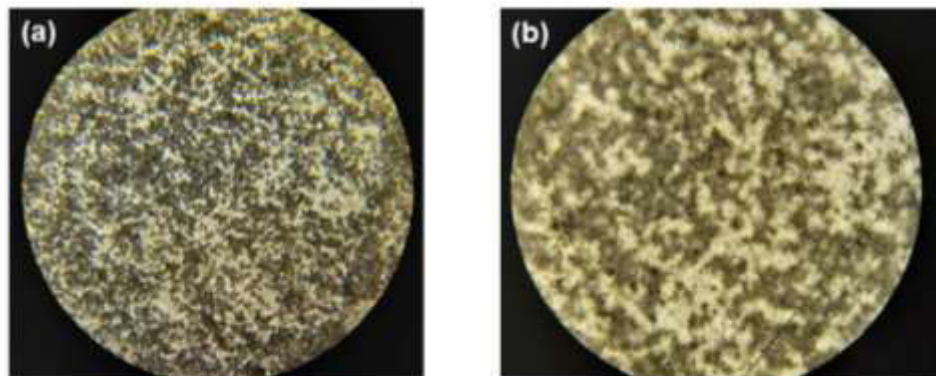
As micrografias para o PVA puro considerando um aumento de 40x e 100x (Figura 25) revelam que o polímero possui uma superfície lisa e homogênea com pequenas estruturas irregulares que formam pequenos relevos na superfície do PVA. Essa morfologia era esperada para um filme de PVA puro.

Figura 25: Micrografias ópticas do PVA puro com aumento de: a) 40x; b) 100x



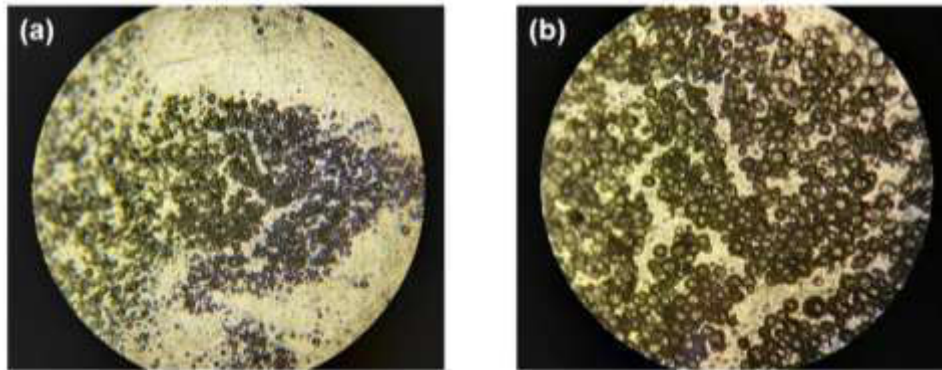
A Figura 26 mostra as micrografias para a blenda PVA/AM-n/CB (1). É possível afirmar que a superfície é heterogênea, comportando o amido natural utilizado na formulação o qual se incorpora a matriz hospedeira do PVA (Figura 26). Tal característica pode ser interessante, caso confira ao PVA novas propriedades.

Figura 26: Micrografias ópticas do PVA/AM-n/CB (1) com aumento de: a) 40x; b) 100x



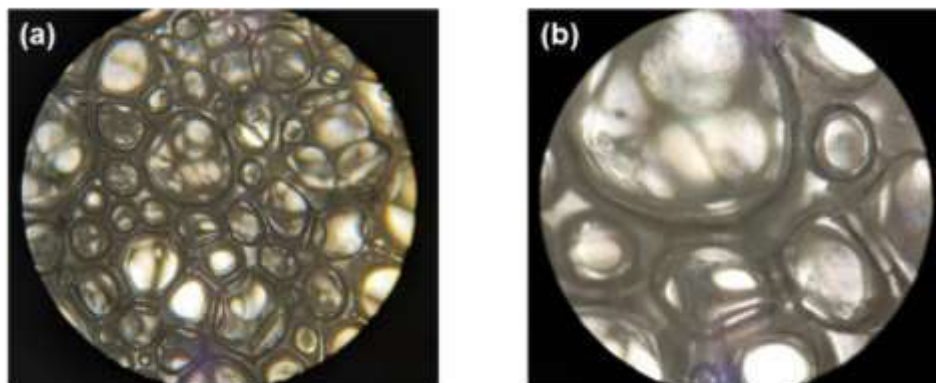
A blenda PVA/AM-g/CB (1), preparada com amido gelatinizado e sem CHCl_3 na formulação, apresenta uma superfície heterogênea com uma clara distinção das fases entre o amido e a matriz de PVA, conforme pode ser observado pela Figura 27. Análogo ao que foi citado para a blenda com amido natural, essa separação de fases ainda é válida, pois durante o processo de preparação dos materiais, as blendas podem sofrer separação de fase devido à variação de temperatura, pressão ou composição da mistura (PARAMESWARANPILLAI, 2015). Apesar da separação de fase, as propriedades de interesse podem ser encontradas mesmo com blendas imiscíveis dependendo da sua aplicação. (SCOBBO, 2003)

Figura 27: Micrografias ópticas do PVA/AM-g/CB (1) com aumento de: a) 40x; b) 100x



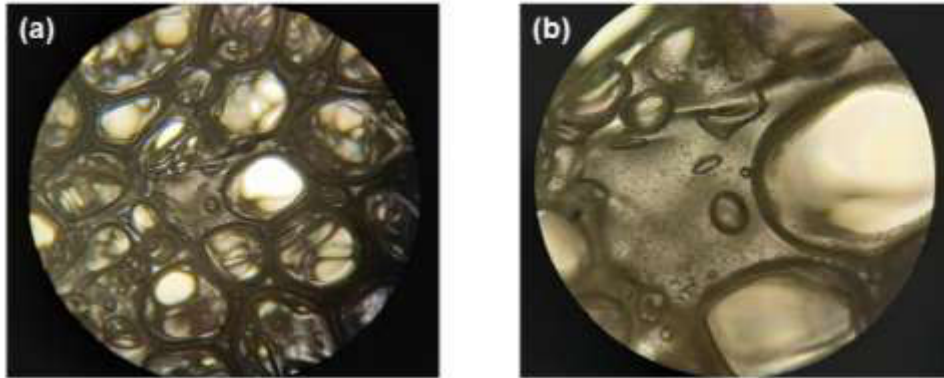
A microscopia óptica da blenda PVA/AM-n/CB (2) - com CHCl_3 e com amido natural - (Figura 28) apresenta uma estrutura que em muito se difere das estruturas encontradas nas blendas anteriores. O aspecto da blenda apresenta um arranjo composto por bolhas dispersas uniformemente em toda extensão do material polimérico. Além disso, as bolhas possuem diversos tamanhos como mostra a Figura 28b, esse efeito tem relação direta com a utilização do CHCl_3 na formulação, que deu à mistura uma característica morfológica que lembra a estrutura morfológica de um PS expandido, como mostra a Figura 12c. Os surgimentos das bolhas podem ter sido provocados durante a evaporação do solvente ao entrar em contato com a amostra e durante o processo de secagem.

Figura 28: Micrografias ópticas do PVA/AM-n/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 100x



Em consonância com as observações relativas à blenda anteriormente analisada, a morfologia da blenda PVA/AM-g/CB (2), também apresenta uma estrutura morfológica com um arranjo contendo bolhas de diferentes tamanhos bem distribuídas na matriz de PVA (Figura 29).

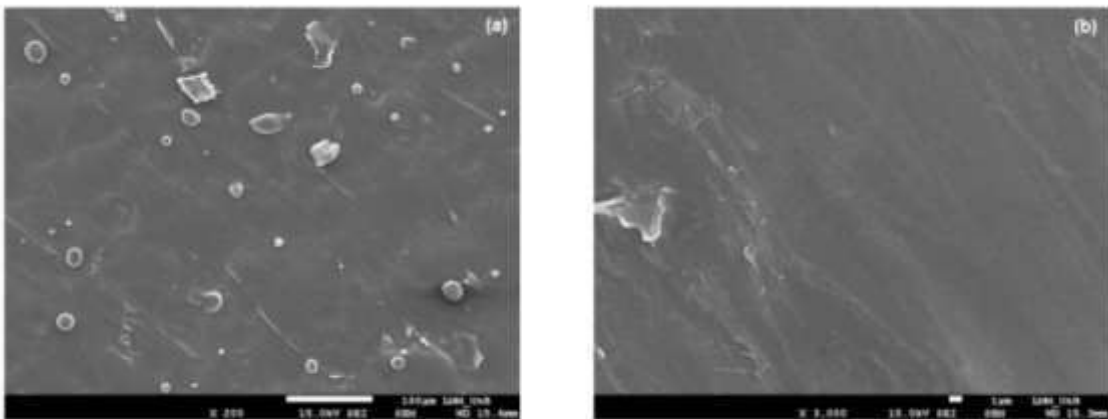
Figura 29: Micrografias ópticas do PVA/AM-g/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 100x



5.5 ANÁLISE MORFOLÓGICA DA SUPERFÍCIE DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A morfologia da superfície externa do PVA puro, analisada por MEV, pode ser visualizada pela Figura 30 com ampliação de 200x e 3000x, respectivamente. As imagens de MEV demonstraram uma superfície lisa com pequenos grânulos ou estruturas dispersas de forma aleatória que podem ser encarados como contaminações ou resíduo do próprio polímero após o processo de secagem.

Figura 30: Micrografias da superfície externas do PVA puro com aumento de: a) 200x; b) 3000x

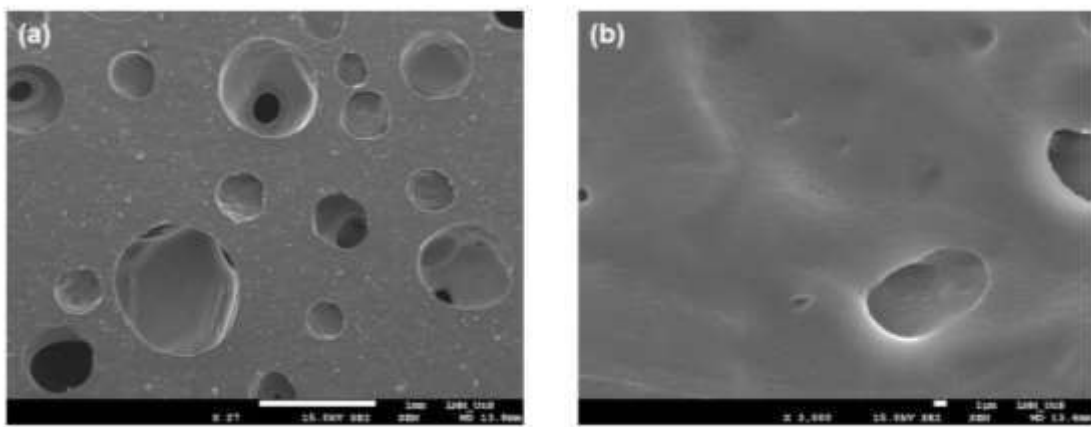


A superfície da blenda PVA/AM-n/CB (1) (Figura 31), apresentou pequenos domínios circulares na superfície da amostra (Figura 31a). Ao visualizar com um aumento de 3000x (Figura 31 b), pode-se observar pequenas perfurações na superfície indicando que - tais estruturas - ocorreram devido a incorporação do amido e do óleo de copaíba na matriz de PVA.

preparada com amido natural e CHCl_3 , possui uma morfologia com uma série de perfurações circulares na matriz hospedeira que tem relação direta com as bolhas uniformemente dispersas na blenda, como indica a micrografia óptica da mistura (Figura 28).

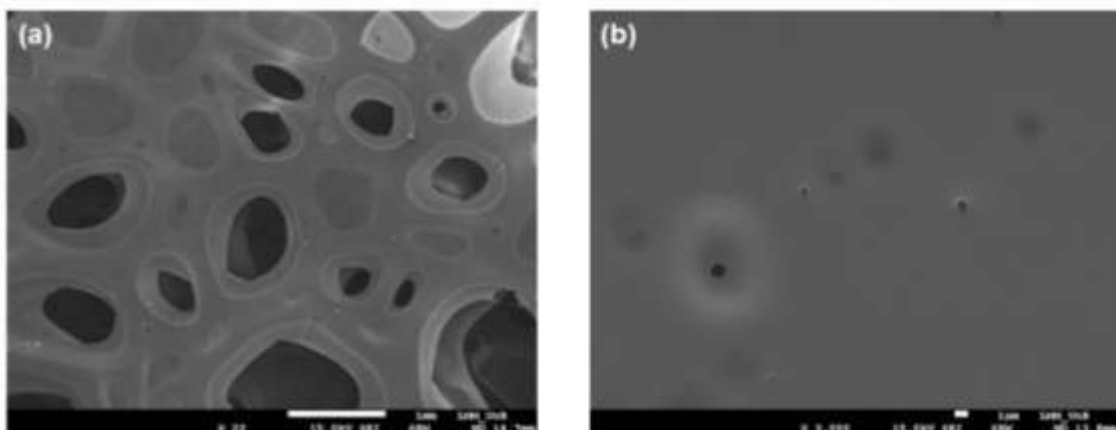
Tais perfurações são morfologicamente diferentes dos buracos presentes nas blendas sem clorofórmio, pois sua origem pode se relacionar ao processo de secagem do solvente, que conservaram o arranjo composto por bolhas dispostas na superfície da blenda.

Figura 33: Micrografias externas da blenda PVA/AM-n/CB (2) com aumento de: a) 27x; b) 3000x



As imagens de MEV para a blenda PVA/AM-g/CB (2) (Figura 34) mostram uma morfologia similar à da blenda PVA/Am-n/CB (2), pois apresenta uma estrutura externa formada por um conjunto de bolhas uniformemente plotadas na superfície do PVA. A Figura 34a (com um aumento de 22x) deixa clara essa percepção, pois torna evidente a organização da face externa da mistura. Novamente, um aumento de 3000x permite visualizar pouca informação, uma vez que esse aumento pode proporcionar imagens de uma região muito pequena, porém uniforme.

Figura 34: Micrografias externas da blenda PVA/AM-g/CB (2) com aumento de: a) 22x; b) 3000x

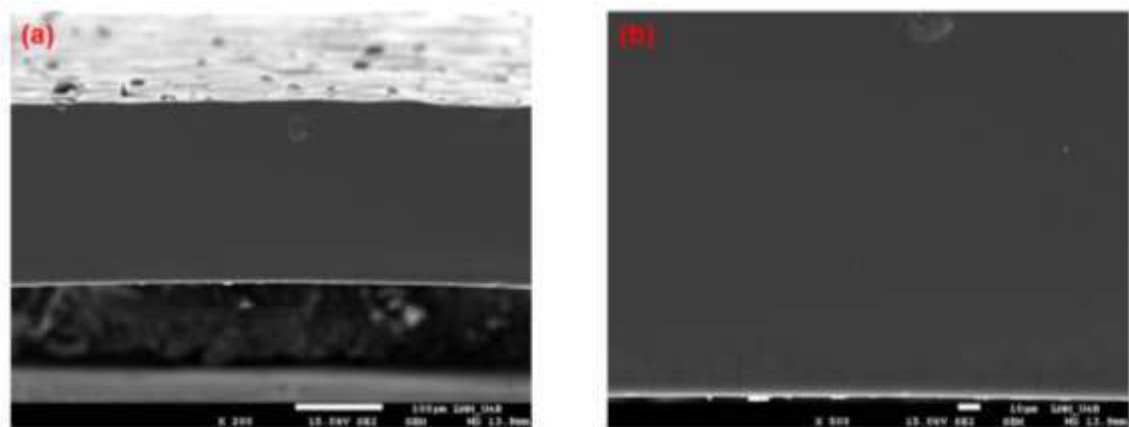


5.5.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DA PARTE INTERNA DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS POR MEV

Essa análise foi realizada considerando a parte interna dos materiais poliméricos. Para isso, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e fraturadas. As imagens de MEV são da região fraturada que permite ter uma ideia de como é a morfologia interna do PVA puro e das blendas poliméricas.

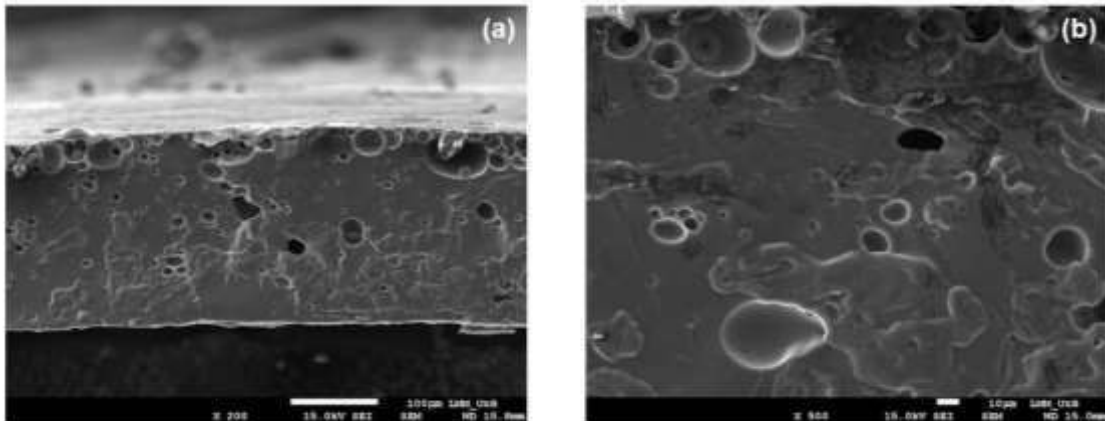
As imagens de MEV para PVA puro (Figuras 35), revelam uma superfície lisa e homogênea como era esperado para este tipo de amostra.

Figura 35: Micrografias da superfície interna do PVA puro com aumento de: a) 200x; b) 500x



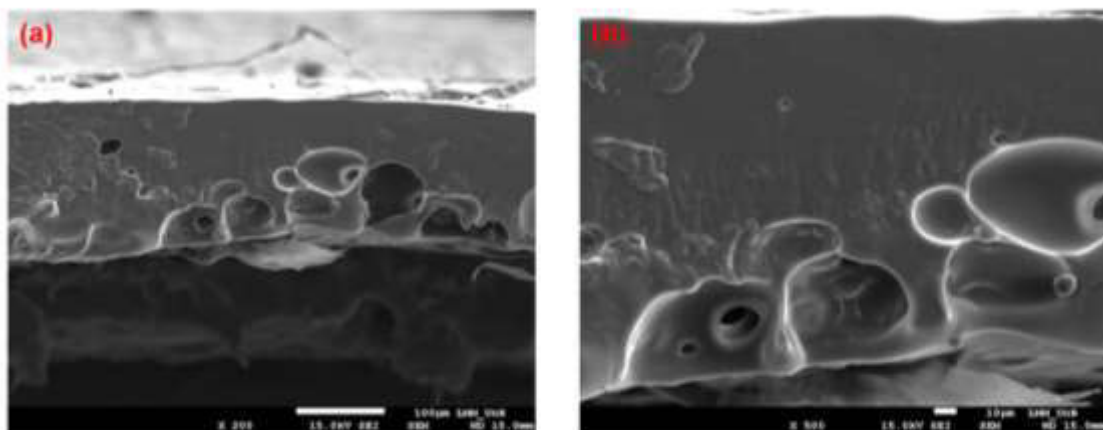
As micrografias para a blenda PVA/AM-n/CB (1) (Figura 36) trazem informações relevantes, pois mostram a presença de estruturas circulares, já percebidos nas micrografias ópticas (Figura 26). As estruturas circulares podem ser melhor visualizadas na imagem com aumento de 500x (Figura 36b). O surgimento de tais estruturas está ligado tanto à presença do amido como do óleo de copaíba na matriz hospedeira, uma vez que o amido, segundo a literatura, apresenta glóbulos de formato circular ou esférico (TEODORO, 2013) e óleos provocam formação de buracos na cadeia do polímero (PEREIRA, 2008). A morfologia das blendas poliméricas é uma comprovação de que o amido e o óleo de copaíba foram incorporados à matriz de PVA.

Figura 36: Micrografias da superfície interna do PVA/AM-n/CB (1) com aumento de: a) 200x; b) 500x



A Figura 37 mostra a morfologia da blenda com amido gelatinizado (PVA/AM-g/CB (1)) considerando um aumento de 200x (Figura 37a) e 500x (Figura 37b). A análise é similar à da blenda com amido natural (PVA/AM-n/CB (1)), ou seja, há presença de estruturas circulares distribuídas de forma não uniforme na matriz de PVA. É possível observar que existem regiões lisas na estrutura morfológica da amostra. Os buracos não estão distribuídos uniformemente por toda matriz, comprovando a separação de fase desse material polimérico, no entanto, o amido e óleo de copaíba estão integrados à estrutura do PVA.

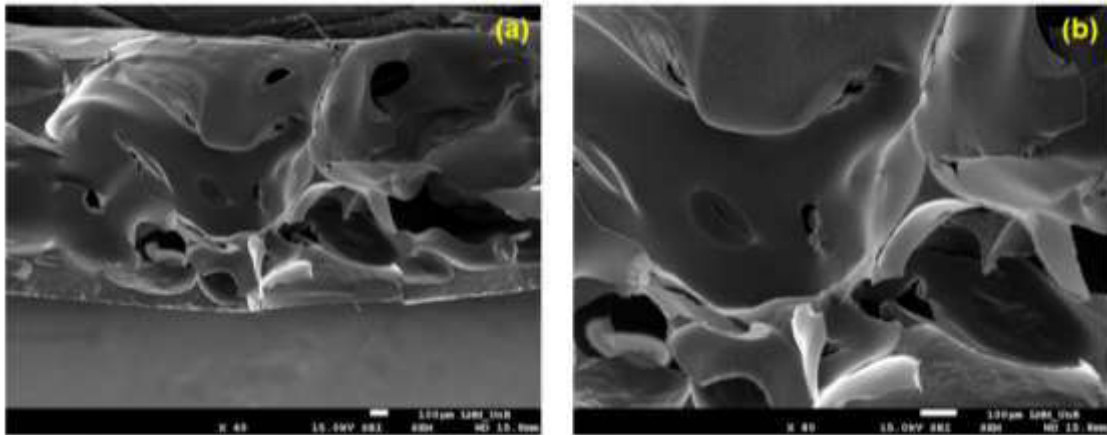
Figura 37: Micrografias da superfície interna do PVA/AM-g/CB (1) com aumento de: a) 200x; b) 500x



As micrografias referentes ao PVA/AM-n/CB (2) (Figuras 38), revelam uma estrutura repleta de relevos, que estão dispostos na superfície da blenda. Tais relevos lembram bolhas fissuradas, criadas a partir da evaporação do CHCl_3 durante o processo de preparação e secagem da amostra. Como evidencia a Figura 34 (que faz

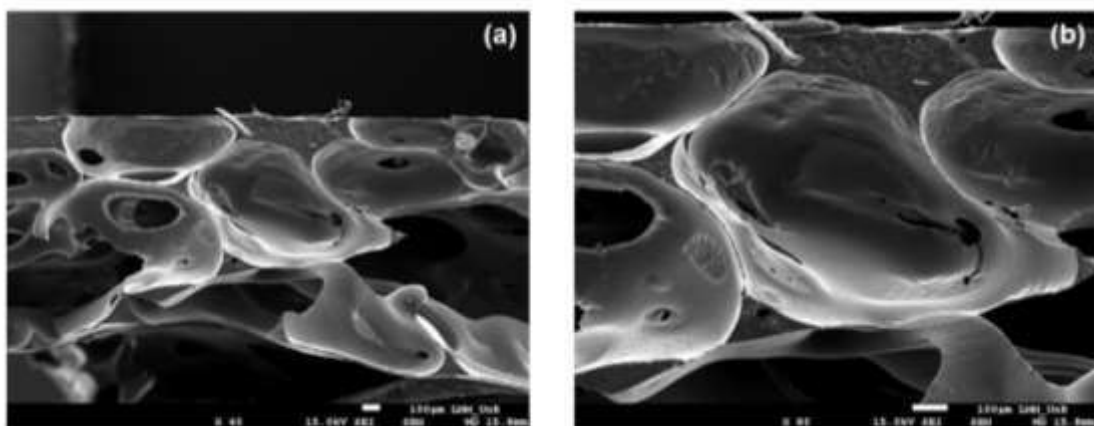
relação ao PVA/AM-g/CB (2)) existem estruturas fissuradas e outras que se mantiveram completas após os processos de preparação da amostra.

Figura 38: Micrografias da superfície interna do PVA/AM-n/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 80x



As imagens de MEV para a blenda PVA/AM-g/CB (2) (Figura 39) mostram uma morfologia análoga à da blenda PVA/AM-n/CB (2) (Figura 38). A blenda PVA/AM-g/CB (2) apresentou uma morfologia interna que aponta para uma superfície composta por bolhas uniformemente dispostas na matriz hospedeira. Essas bolhas, por sua vez, apresentaram fissuras e sua organização remete a estruturas de outros materiais.

Figura 39: Micrografias da superfície interna do PVA/AM-g/CB (2) com aumento de: a) 40x; b) 80x



Além da análise morfológica das blendas por MEV, foi promovida uma tentativa de realizar um estudo morfológico do processo de biodegradação dos materiais em solo preparado, no entanto, o material sofreu processo de fragmentação muito rápido e não foi possível recolher provas suficientes para análise morfológica da degradação.

Inicialmente considerou-se 62 dias de aterro, e posteriormente 7 dias, o resultado foi que em ambas as opções de tempo de aterro, o material foi completamente fragmentado.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

6.1 CONCLUSÕES

As blendas poliméricas foram preparadas a partir da mistura entre o polímero PVA, que serviu de matriz hospedeira, amido e o óleo essencial de copaíba, com intuito de acrescentar novas propriedades e características ao polímero principal. Foram investigadas as propriedades ópticas, térmicas e morfológicas. Além disso, tentou-se acompanhar o processo de biodegradação dos materiais via MEV, mas a fragmentação ocorreu rapidamente consumindo toda a amostra preparada. Os valores de absorção no IR apresentaram bandas muito características do PVA, o que de uma forma geral, aconteceu por conta da maior quantidade de PVA presente na mistura, representando cerca de 78% da massa total da blenda, além da possibilidade do feixe não incidir em regiões com a presença dos compostos plotados na matriz polimérica. Os espectros de absorção UV-Vis demonstraram que as tanto as blendas gelatinizadas quanto não gelatinizadas, não possuem grandes bandas de absorção na faixa do visível, sendo muito mais presentes em faixas com comprimentos de onda menores entre 200 - 350 nm. Foi possível observar que a presença do amido e do óleo de copaíba, em todas as blendas, promoveu o desaparecimento das bandas de absorção em 277 nm e 318 nm da matriz hospedeira. Isso pode ser um indicativo de interações do amido e óleo de copaíba com o PVA. O esperado era que óleo de copaíba provocasse uma nova banda de absorção, mas isso não foi observado. Uma provável explicação está no fato da quantidade de óleo de copaíba ser muito pequena, sendo necessário mais estudos sobre a proporção do óleo na preparação dos materiais poliméricos.

A análise por termogravimetria revelou uma redução na estabilidade térmica em variadas etapas de degradação em todas as blendas quando comparadas com o PVA puro, bem como uma queda das temperaturas de degradação máxima da matriz polimérica hospedeira.

As blendas produzidas sem adição de clorofórmio (PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1)) em sua metodologia tiveram uma morfologia totalmente diferente daquelas produzidas com clorofórmio (PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2)). As últimas, apresentaram uma morfologia que lembra o PS expandido (isopor), isso por conta do aspecto visual e estrutural das blendas que evidenciaram a presença de conglomerados de bolhas dispostas de forma uniforme nos filmes analisados por microscopia óptica e por MEV, sendo mais um indicativo da incorporação do óleo e

do amido na matriz de PVA. Além das micrografias ópticas, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelou a presença de glomérulos esféricos característicos do amido dispostos aleatoriamente na matriz hospedeira, nas blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1), que apresentaram uma mesclas entre o PVA e o amido em sua superfície heterogênea, com divisões de fase muito aparentes, demonstrando a clara evidência da inserção dos polímeros na mistura.

6.2 - PERSPECTIVAS

As análises e estudos das possíveis aplicações das blendas produzidas neste trabalho não foram finalizadas. Tendo isso em mente, algumas sugestões para trabalhos futuros são:

- Mudar as proporções de cada um dos materiais, aumentando a quantidade de amido e de óleo de copaíba na preparação do material polimérico de forma a trazer novas características térmicas e ópticas ao PVA;
- Verificar as possíveis aplicações das blendas PVA/AM-n/CB (1) e PVA/AM-g/CB (1) como revestimento;
- Verificar se a alteração da proporção do óleo pode afetar temperatura de transição vítrea (T_g) do PVA;
- Propor um plastificante para PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2) de forma a torná-las mais flexíveis;
- Verificar as possíveis aplicações das blendas PVA/AM-n/CB (2) e PVA/AM-g/CB (2) como isolante;
- Realizar um estudo relativo ao tempo de degradação das blendas na natureza para medir a velocidade de decomposição do material.

7. AS VANTAGENS DA REALIZAÇÃO DE PESQUISAS BÁSICAS NA ÁREA DE QUÍMICA NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DOCENTE

O presente estudo científico tem o foco de desenvolver uma metodologia de criação de novas blendas poliméricas. Nesse sentido, as possibilidades de inserção do tema "polímeros" no processo de ensino de química são inúmeros, pela promoção de novas metodologias e práticas que podem ser enriquecedoras para o desenvolvimento dos alunos no ensino de química.

O ensino de polímeros no ensino médio é quase inexistente e no ensino superior não é obrigatório, ou seja, a disciplina consta no currículo como optativa, portanto, nem todos os estudantes de licenciatura conhecem bem o assunto. No entanto, a relevância de introduzir o tema "polímeros" no ensino se dá pelo fato dos polímeros serem uma macromolécula que compõem os seres vivos (biopolímeros) e produtos que são utilizados no cotidiano dos seres humanos como, por exemplo, plásticos (polímeros orgânicos) (GUIA XI ENPEC, 2017), silício, polímero inorgânico, utilizado na construção de dispositivos eletrônicos (MANO, 2013), entre outros.

Aprender sobre polímeros e materiais poliméricos de uma forma geral (blendas e compósitos) permite que os alunos desenvolvam capacidade de entender a composição química do polímero, processo de síntese, formas de modificação do material, formas de utilizá-lo e descartá-los.

Uma das formas de ensinar e aprender sobre polímeros é através da experimentação, momento no qual é possível aliar a teoria com a prática. Hodiernamente tem se defendido muito as metodologias que aliam teoria e prática. De acordo com a Professora Maria Cavalcante, em seu trabalho sobre a relação entre teoria e prática na formação inicial do aluno de docência (2013), "*a práxis deve fazer parte do processo formativo do sujeito como pessoa e também como profissional, já que é indissociável do ato educativo*", ou seja, a teoria e a prática trabalham em conjunto para formular uma educação significativa em qualquer dos estágios de desenvolvimento do educando. Portanto, a proposta levantada é de sair do âmbito único da sala de aula e mostrar na prática a rotina de laboratório que envolve pesquisa, desenvolvimento e aplicação de materiais poliméricos. A pesquisa desenvolvida neste projeto permitiu compreender a definição de polímeros, os aspectos estruturais dos polímeros como forças moleculares, classificação dos polímeros quanto às propriedades mecânicas, aplicações dos polímeros, vantagens e desvantagens de polímeros sintéticos, permitiu compreender a definição de

biopolímeros, plastificantes e, ainda, possibilitou aprender na prática, através de experimentação laboratorial, conceito de blendas poliméricas, bem como entender algumas técnicas de caracterização da área de materiais. As práticas laboratoriais promoveram um maior conhecimento sobre os tipos de blendas poliméricas, forma de obtenção e mistura de soluções poliméricas, além de técnicas básicas de manejo e utilização dos equipamentos, tais como a chapa de aquecimento, pipeta, agitador magnético, espectrofotômetro de infravermelho, entre outros.

Essa metodologia unida a uma forte base teórica se torna completa na busca por um aprendizado significativo, interativo e motivante para aluno, entendendo que o estudante é o foco no processo de aprendizagem e o papel do professor é usar os melhores caminhos entre construções teóricas e práticas de ensino, para mediar a relação dos educados com os conhecimentos que precisam adquirir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKCELRUD, Leni. Fundamentos da ciência dos polímeros/ Leni Akcelrud - Barueri - Sp: Manole, 2007.

ALVES, William Ferreira; SOUZA, Maria Cristina; ALMEIDA, Alda Naíne Silva; OLIVEIRA, Sabrina Silva; RIBEIRO, Ingrid Loraine Rocha. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS DA REGIÃO DO VALE DO JURUÁ, ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; 2015.

ALVES, Willian Ferreira; SOUZA, Maria Cristina; ALMEIDA, Alda N. Silva; OLIVEIRA, Sabrina Silva; RIBEIRO, Ingrid L. Rocha. Características físico-químicas de óleos essenciais de plantas da região do vale do Juruá. Universidade Federal do Acre, Enciclopédia Biosfera - Acre: novembro, 2015. <
<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/caracteristicas%20fisico%20quimicas.pdf> >

ARAÚJO, Bruna Aline; L.S. de Freitas; K.K.F. Sarmiento; V.R. Bezerra; C.A.P. de Lima; K.M. de Medeiros; Aplicação de polímeros biodegradáveis como uma alternativa sustentável. Research, Society and Development, v. 10, n.9, julho 2021.<<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18248> >

AZEVÊDO, Luciana Cavalcanti; ROVANI, Alessandra S. C. de Sá Suzimara; FUNGARO, Denise Alves. PROPRIEDADES DO AMIDO E SUAS APLICAÇÕES EM BIOPOLÍMEROS, Cad. Prospec., Salvador, v. 11, Edição Especial, p.351-358, abr./jun. 2018.

BANDEIRA, A. A.; UBIRAJARA, W. de M.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, C. E. C. de; SANTOS, L. D. V. . Bibliometric analysis on the use of biopolymers by the civil construction industry. Research, Society and Development, [S. I.], v. 10, n. 4, p. e17210414025, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14025.

BRÁS, N., Polissacarídeos, Rev. Ciência Elem., V3(4), p.231, 2015. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2015.231>

Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico - WWF Brasil - 4 de março de 2019. Disponível em: < <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico> > Acesso em: 11 de setembro de 2021.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A.; Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. Departamento de Engenharia de Materiais - UFCG, Campina Grande - PB, v.6.2, p. 127-139, jan-ago. 2011.

CAETANO, Mário J.L. Elastômeros termoplásticos; ctborracha. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/elastomeros-termoplasticos/>> Acesso em: 14 de setembro de 2021.

CANEVAROLO Jr, Sebastião V. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros / Sebastião V. Canevarolo Jr. -- São Paulo: Artliber Editora, 2006.

CARRAHER Jr, Charles E. Polymer Chemistry/ Charles E. Carraher Jr. - 6º ed. - New York: Marcel Dekker, 2003.

CASCON, V. Copaíba - *Copaifera* spp. In: CARVALHO, J.C.T. Fitoterápicos antiinflamatórios: aspectos químicos, farmacológicos e aplicações terapêuticas. Ribeirão Preto: Tecmedd, 2004.

CASCON, V.; GILBERT, B. Characterization of the chemical composition of oleoresins of *Copaifera guianensis* Desf., *Copaifera duckei* Dwyer and *Copaifera multijuga* Hayne. *Phytochemistry*, v.55, n.7, p.773-8, 2000.

CASTELLAN, Gilbert Willian; Fundamentos de físico-química / Gilbert Castellan; tradução Cristina Maria Pereira dos Santos, Roberto Barros Faria; Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CASTRO, Neuza. Parede Celular. Anatomia vegetal. Disponível em: < <http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/parededeCelular/> > Acesso em : 7 de Dezembro de 2021.

CAVALCANTE, Maria M. Dias; OLIVEIRA, Francisca F. Bento; BOTÔ, Anne H. Vieira; SILVA, Suzane Costa. A relação entre teoria e prática na formação inicial docente:

percepções dos licenciandos de pedagogia. Universidade Estadual do Ceará (UECE). Ceará : editora realize, 2013.

COELHO, Augusto Leite. Química Inorgânica Descritiva/ Augusto Leite Coelho - 2º ed. - Fortaleza: EdUECE, 2015.

COSTA, Danyelle Rodrigues. **Hidrogéis de PVA-NaCMC para aplicações em curativos**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Escola Politécnica), Rio de Janeiro- 2012.

DEMERLIS, C.C.; Schoneker, D.R. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food Chem. Toxicol.* 2003, 41, 319–326.

DURÃES, Jussara A. ; DRUMMOND, Adriana L. ; PIMENTEL, Tais de A. P. F. ; MURTA, Maria Márcia; MOREIRA, Sanclayton G. C. ; SALES, Maria José Araújo. *Thermal And Structural Behavior of Buriti Oil/Poly(Methyl Methacrylate) and Buriti Oil/Polystyrene Materials*. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 92, p. 529-534, 2008.

EISA, Weal H.; ABDEL-MONEAM, Yasser K.; SHAABAN, Yasser; ABDEL-FATTAH, Atef A.; ZEID, Amira M. Abou. Gamma-irradiation assisted seeded growth of Ag nanoparticles within PVA matrix. **Materials Chemistry and Physics** v.128, pp. 109-113, 2011.

FERREIRA, Luciena dos Santos. **Caracterização do óleoresina de copaíba (*Copaifera reticulata*) Coletado Sazonalmente na Floresta Nacional dos Tapajós**. Dissertação de Mestrado, Pará. 2016.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Amido; Brasil Escola. Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/amido.htm> >. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

GAAZ, T.S.; Sulong, A.B. Akhtar, M.N. Kadhum, A.A.H.; Mohamad, A.B. Al-Amiery, A.A. Properties and Applications of Polyvinyl Alcohol, Halloysite Nanotubes and Their Nanocomposites. *Molecules*. 2015

GUIMARÃES, Tereza Cristina de Farias; REBAZA, Arles Victor Gil; PACHEKOSKI, Wagner Maurício. Elasticidade dos polímeros e compósitos forças de Van Der Wall. *Brazilian Applied Science Review*, Curitiba - SC, v.3, n.3, p. 1586 -1611, mai./jun. 2019.

HARRIS, Daniel C. *Análise química quantitativa/ Daniel C. Harris, Colaborador: Charles A. Lucy; tradução Júlio Carlos Afonso; Oswaldo Esteves Barcia.- 9° ed.- Rio de Janeiro: LTC, 2017.*

IUPAC: *Compendium of Chemical Terminology, Gold Book, 2012.*

JODAR, K. DOS S. P. *Desenvolvimento e caracterização de hidrogel de PVA (álcool polivinílico) e dextrana com sulfadiazina de prata para aplicação tópica. Sorocaba: Cambridge University Press, 2014.*

JUVENCIO, Luiz Ricardo Furlan. **Preparação e Caracterização de Filmes de PVA/Quitosana/Colágeno visando a aplicação como curativo cutâneo.** Tese de mestrado, Universidade Federal de São Carlos - Centro de Ciência e Tecnologia para Sustentabilidade (CCTS), Sorocaba-SP. 2017.

KHARAZMI, Alireza; FARAJI, Nastaran; HUSSIN, Roslina Mat; SAION, Elias; YUNUS, W. Mahmood Mat; BEHZAD, Kasra; *Structural, optical, opto-thermal and thermal properties of ZnS–PVA nanofluids synthesized through a radiolytic approach, Beilstein J. Nanotechnol. 2015, 6, 529–536.*

LIMA, B. N. B; CABRAL, T. B; NETO, R. P. C & TAVARES, M. I. B - *Estudo do Amido de Farinhas Comerciais Comestíveis. Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, vol. 22, n. 5, p. 486-490, 2012.*

MACEDO, T. C. P. **Processamento e caracterização da blenda poli(metacrilato de metila) (PMMA) com partículas elastoméricas e policarbonato (PC).** Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia (CT), Rio Grande do Norte. 2017.

MANO, Eloísa Biasotto. A natureza e os polímeros: meio ambiente, geopolímeros, fitopolímeros e zoopolímeros / Eloísa Biasotto Mano, Luis Claudio Mendes.- São Paulo: Blucher, 2013.

MANO, Eloisa Biasotto. Introdução a polímeros 1 Eloisa Biasotto Mano, Luis Claudio Mendes. - 2. ed. rev. e ampl. - São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MARTEN, F. L. "Vinyl alcohol polymers", in: Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger & G. Menges (eds.), John-Wiley, New York, 1985, Vol. 17.

MCMURRY, John. Química orgânica/ John Mcmurry - vol.1 - São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2005.

Microscopia óptica. Policom UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) - 25 de julho de 2021. Disponível em: < [https://policom.ufsc.br/microscopia-optica/#:~:text=A%20t%C3%A9cnica%20de%20microscopia%20C3%B3tica,\(que%20aumentam%20a%20imagem\)](https://policom.ufsc.br/microscopia-optica/#:~:text=A%20t%C3%A9cnica%20de%20microscopia%20C3%B3tica,(que%20aumentam%20a%20imagem)) > Acesso em: 19 de Janeiro de 2022.

MOK, C.F., Ching, Y.C., Muhamad, F. et al. Adsorption of Dyes Using Poly(vinyl alcohol) (PVA) and PVA-Based Polymer Composite Adsorbents: A Review. J Polym Environ 28, 775–793 (2020). <<https://doi.org/10.1007/s10924-020-01656-4> >

MORFOLOGIA in: Dicionário, **Oxford Languages**. Brasília: Google, 2021

MUCCILLO, Roberta Cruz Silveira Thys; **Caracterização e Avaliação de Amido Nativo e Modificado de Pinhão Mediante Provas Funcionais e Térmicas**; 1ºed - Tese de doutorado, Universidade do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Química. 2009.

NELSON, David L. Princípios de bioquímica de Lehninger / David L. Nelson, Michael M. Cox; [tradução: Ana Beatriz Gorini da Veiga ... et al.] ; revisão técnica: Carlos Termignoni ... [et al.]. – 6. ed. – Porto Alegre : Artmed, 2014.

Norma ASTM D6400-04. Standard Specification for Compostable Plastics.

O que são copolímeros e quais as suas classificações? - Afinkopolimeros, 25 de junho de 2020. Disponível em: <<https://afinkopolimeros.com.br/o-que-sao-copolimeros-e-suas-classificacoes/>> Acesso em: 20 de junho de 2021.

O que são os ODS, as metas globais que podem mudar o mundo até 2030? - Bluevision, 2019. Disponível em: <<https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/o-que-sao-os-ods-as-metas-globais-que-podem-mudar-o-mundo-ate-2030/>> Acesso em: 28 de julho de 2021.

Óleo de Copaíba: para que serve e benefícios. eCycle. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/oleo-de-copaiba/>> Acesso em: 8 de Dezembro de 2021.

PARAMESWARANPILLAI, Jyotishkumar; THOMAS, Sabu; GROHENS, Yves. título do capítulo: *Polymer Blends: State of the Art, New Challenges, and Opportunities*, *Characterization of Polymer Blends: Miscibility, Morphology, and Interfaces*, First Editio n. Edited by S. Thomas, Y. Grohens, and P. Jyotishkumar. 2015, Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2015.

PARKER, Laura. Poluição por plástico é um problema grave — mas ainda não é tarde demais para solucioná-lo. National geographic Brasil, 11 de outubro de 2020. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2020/10/poluicao-por-plastico-e-um-problema-grave-mas-ainda-nao-e-tarde-demais>> Acesso em: 28 de julho de 2021.

PEREIRA, N. S. ; Adamo F G do Monte ; A. Reis ; Paulo C de Moraes ; Sales, Maria José A. *Luminescence and energy transfer from açai oil in polystyrene matrix*. Optical Materials (Amsterdam. Print), v. 32, p. 1134-1138, 2010

PEREIRA, Nizamara Simenremis. **Estudo comparativo entre PS/ β -caroteno e PS/ácido oléico com PS/óleo de Buriti (*mauritia flexuosa*) e preparação e caracterização dos materiais PS/óleo de açai (*euterpe oleraceae mart*).** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Distrito Federal. 2008.

PERIOTTO, Danilo. Apostila de Química Analítica Qualitativa. Química dos Elementos de Transição Experimental UFSCar – 2012.

Petróleo cru e saúde humana: pesquisadores reforçam a necessidade de voluntários usarem equipamentos de proteção - WWF Brasil - 24 de outubro de 2020. Disponível em: < <https://www.wwf.org.br/?73642/Petroleo-cru-e-saude-humana-pesquisadores-reforcaram-a-necessidade-de-voluntarios-usarem-equipamentos-de-protecao> > Acesso em: 14 de setembro de 2021.

PISANU, L. Estudo da força de adesão em polímeros dissimilares obtidos pelo processo de injeção multicomponente: Aplicações em Compósitos com Fibra de Coco. 159 f. 2018. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial – PEI), Universidade Federal da Bahia; Bahia. 2018.

PRAVAKAR Ojha; T. Siddaiah; P.V.R.K. Ramacharyulu; N.O. Gopal; Ch. Ramu; H. Nagabhushana. Spectroscopic, thermal, structural and electrical studies on VO₂⁺ ions doped PVA/MAA:EA polymer blend films. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, Volume 4, Issue 2, 2019, Pages 267-275. <<https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2019.03.004> >

QIN, Y. (2016). Applications of advanced technologies in the development of functional medical textile materials. Medical Textile Materials, 55–70. doi:10.1016/b978-0-08-100618-4.00005-4

Química dos polímeros: uma proposta de intervenção à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017, Disponível em: < <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R2175-1.pdf> > Acesso em: 26 de janeiro de 2022.

REISA, Elizabeth Fonseca; CAMPOS, Fábila S.; LAGE, Andrey Pereira; LEITE, Romulo Cerqueira; HENEINE, Luiz Guilherme; VASCONCELOS, Wander Luiz; LOBATO, Zelia Ines Portela; MANSUR Herman Sander - Synthesis and Characterization of Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogels and Hybrids for rMPB70 Protein Adsorption - Materials Research, Vol. 9, No. 2, 185-191, 2006.

REUSCH, William. Condensation Polymers, Virtual Textbook of Organic Chemistry. Disponível em: <https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules

[\(Organic Chemistry\)/Polymers/Condensation Polymers](#)> Acesso em: 31 de janeiro de 2022.

SADHU, Susmita Dey; SONI, Anshuman. Thermal Studies of the Starch and Polyvinyl Alcohol based Film and its Nano Composites. *Journal Of Nanomedicine & Nanotechnology*, [s.l.], v. 01, n. 7, p.1-5, 2015. OMICS Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7439.s7-002>.

SCOBBO, J. J.; GOETTLER, L. A. *Polymer Blends Handbook*, Kluwer Academic Publishers, 2003.

SILVA, A.L.M.F; CARDOSO, D.N.P; FELIPE, A.M.P.F; SOUZA, J.A.S. **Influência de Aditivo PVA no Comportamento Reológico de Argamassa Elaborada a Partir de Resíduos Industriais**. Pós-graduação. Universidade Federal do Pará. Belém-PA, 2015.

SILVA, Divânia Ferreira; LUNA, Carlos Bruno Barreto; ARAÚJO, Edcleide Maria; SILVA, Adriano Lima. *Blendas Poliméricas: Conceito, Obtenção e Aplicações*. Revista de Engenharia e Tecnologia, Campina Grande - PB, V.8, N°.1, p. 58-77, Abril/2016.

SILVA, F.H. et al. Estudo do óleo essencial e extrato hidrometanólico de *Copaifera langsdorffii* Desf (Caesalpinaceae) do cerrado e mata atlântica. In: REUNIÃO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29., 2006. Águas de Lindóia.

SILVERSTEIN, R. M.; Bassler, G. C. & Morrill, T. C. - "Infrared Spectrometry". in: *Spectrometric Identification of Organic Compound*, p.91, John Wiley & Sons, Singapura (1991).

SUN, Jian-Hui; SUN, Sheng-Peng; WANG, Guo-Liang; QIAO, Li-Ping. *Degradation of azo dye Amido black 10B in aqueous solution by Fenton oxidation process*. 74(3), 647–652. 2007. DOI:10.1016/j.dyepig.2006.04.006

TEIXEIRA, Thatiane Dorneles de Almeida. **Preparação e caracterização de blendas poliméricas a partir da hibridização de 2,1,3 benzotiadiazol e substâncias húmicas extraídas da turfa**. Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal de Brasília - *Campus Gama*, Distrito Federal. 2018.

TEODORO, Ana Paula; CARVALHO, Gizilene M.; MALI, Suzana. Preparação e utilização de nanopartículas de amido como reforço em filmes de amido. 12º Congresso Brasileiro de Polímeros (12ºCBPol). Universidade Estadual de Londrina (UEL); Paraná. 2013.

TORRES, Raimundo N. Soares; LOPES, José A. Dantas; NETO, José M. Moita; CITÓ, Antônia Maria das G. Lopes. Constituintes Voláteis de Própolis Piauiense. Departamento de Química, Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina – PI, Brasil. 2008. <<https://www.scielo.br/j/qn/a/BSFnZQcCfDZXFcpck5LKPjB/?format=pdf&lang=pt> >

UTRACKI, L. A. Polymer Alloys and Blends: Thermodynamics and Rheology. - 2º ed.- Hanser, New York Londres, 1990.

VINOD, A., Sanjay, M. R., Suchart, S., & Jyotishkumar, P. (2020). Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. Journal of Cleaner Production, 258, 120978.

WANG, Xiu-Li; YANG, Ke-Ke; WANG, Yu-Zhong. Properties of Starch Blends with Biodegradable Polymers, Journal of Macromolecular Science, Part C, 43:3, 385-409, 2003. DOI: 10.1081/MC-120023911

YEE, M.J., Mubarak, N.M., Khalid, M. et al. Synthesis of polyvinyl alcohol (PVA) infiltrated MWCNTs buckypaper for strain sensing application. Sci Rep 8, 17295 (2018). < <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35638-3> >

ZENELA, Juliano; CASAGRANDE, Maira; SHIRAI, Marianne Ayumi; LIMA, Vanderlei Aparecido. Biodegradable blends of starch/polyvinyl alcohol/glycerol: multivariate analysis of the mechanical properties, Polímeros, 26(3), 193-196, 2016.