



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO



Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais

Dissertação de Mestrado

Preparação e caracterização de blendas de amido termoplástico

Autor: Ueslei Bias da Silva

Orientador: Prof. Dr. Robson Tadeu Soares de Oliveira Júnior

Uberaba – MG

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em
Química de Minas Gerais

Preparação e caracterização de blendas de amido termoplástico

Dissertação do Curso de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais, subárea de concentração, Química dos Materiais, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Química.

Mestrando: Ueslei Bias da Silva

Orientador: Prof. Dr. Robson Tadeu Soares de Oliveira Júnior.

Área de Concentração: Química dos materiais.

Uberaba – MG

2022

S584p

Silva, Ueslei Bias da

Preparação e caracterização de blendas de amido termoplástico /
Ueslei Bias da Silva. -- 2023.

75 f. : p., il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Multicêntrico em Química de Minas
Gerais) -- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG,
2023

Orientador: Prof. Dr. Robson Tadeu Soares de Oliveira Junior

1. Biopolímeros. 2. Amido. 3. Separação gravimétrica. 4. Látex.
I. Oliveira Junior, Robson Tadeu Soares de. II. Universidade Federal
do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 577.11:678.7



Ministério da Educação
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais
Uberaba - MG

ATA DE DEFESA E QUALIFICAÇÃO

Programa de Pós-Graduação:	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MULTICÊNTRICO EM QUÍMICA DE MINAS GERAIS				
Evento:	DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO				
Data:	23/03/2022	Início em:	08h30	Término em:	11h20
Número de matrícula aluno:	2018.1096.3				
Nome do aluno:	UESLEI BIAS DA SILVA				
Título do trabalho:	Preparação e caracterização de blendas de amido termoplástico.				
Area de concentração:	Química				
Linha de Pesquisa:	Química de materiais				
Projeto de pesquisa vinculado:	PREENCHIMENTO OPTATIVO				

Reuniu-se de forma remota, utilizando-se a plataforma meet.google.com/bvm-hnhd-obr em conformidade com as recomendações do Ofício Circular n.º 03F/2020/PROPPG/UFTM, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MULTICÊNTRICO EM QUÍMICA DE MINAS GERAIS, assim composta dos Professores Doutores: **Cláudio Márcio Castro (IFTM-Uberaba)** e **Renata Pereira Alves Balvedi (UFTM - Iturama)**; **Robson Tadeu Soares de Oliveira Junior** orientador(a) do(a) candidato(a). Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). **Robson Tadeu Soares de Oliveira Junior** apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Concluída a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca se reuniu e atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

APROVADO(A) mediante entrega da versão final da dissertação com as modificações solicitadas pela banca.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFTM.

Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada, dela sendo lavrada a presente ata, que foi assinada pela Banca Examinadora.

18/07/2023, 11:57

SEI/UFTM - 0708337 - Ata de Defesa e Qualificação



Documento assinado eletronicamente por **ROBSON TADEU SOARES DE OLIVEIRA JUNIOR, Professor do Magistério Superior**, em 30/03/2022, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cláudio Márcio de Castro, Usuário Externo**, em 30/03/2022, às 14:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENATA PEREIRA ALVES, Professor do Magistério Superior**, em 18/07/2023, às 11:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 165, de 16 de junho de 2023](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0708337** e o código CRC **ECC0E61E**.

Dedico este trabalho a minha amada mãe, Ozonia
Aparecida Bias (In memorian).

AGRADECIMENTOS

A DEUS!

Aos amigos e companheiros de universidade, que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais esta etapa de estudos.

A meus pais, pela vida e pelos ensinamentos de honestidade e humildade para encarar a vida de cabeça erguida e determinada

Ao Prof. Dr. Robson Tadeu Soares de Oliveira Júnior, o qual me aceitou como mestrando, mesmo quando outros professores se recusaram, meu profundo e eterno agradecimento!

Aos técnicos lotados no departamento de bioquímica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – ICTE, em especial ao senhor Flávio Carvalho, pelo apoio na execução e acompanhamento direto no projeto.

Aos professores do programa PPGMQ-MG, os quais tive o prazer de trabalhar. A CAPES e ao CNPQ, pelo apoio financeiro e na execução do projeto.

Devido ao fechamento da universidade por um período prolongado por causa da pandemia, o trabalho não pôde alcançar todos seus objetivos. Muitos experimentos não puderam ser realizados. Entretanto, agradeço à ciência por ter nos salvado.

RESUMO

Materiais poliméricos são descartados de diversas formas ao final de seus usos. Grande parte destes são descartados de forma irresponsável como por exemplo: em aterros, mares e oceanos e até mesmo em nascentes pluviais, causando prejuízos incalculáveis ao meio ambiente. Em virtude disto se mostra de grande importância a síntese de novos materiais poliméricos, sintetizados a partir de compostos naturais, denominados polímeros naturais. A grande vantagem desta classe de polímeros está em sua biodegradabilidade, uma vez que muitos dos polímeros sintéticos conhecidos se quer apresentam tempo definido de degradação. Neste contexto, sintetizou-se um biopolímero à base de amido de milho (amido termoplástico – TPS) dopado com concentrações variadas de látex natural, com intuito de aumentar a resistência mecânica do material e ao mesmo tempo manter sua biodegradabilidade. O TPS foi produzido sem adição de ácidos, mas com glicerol e temperaturas mais altas, utilizando um agitador de hélice de maior potência. No entanto, a alta viscosidade do TPS dificultou a obtenção de uma mistura adequada. Isso resultou em um material mais frágil em termos de resistência à tração e alongação. As blendas com látex apresentaram melhores propriedades mecânicas em comparação com o TPS puro. Especificamente, a blenda com 0,5% de látex se destacou devido à menor quantidade de microbolhas formadas na estrutura, associa-se essas microbolhas aos pontos de ruptura das amostras.

Palavras-chave: Biopolímero; Amido; Caracterização; Látex; Blendas.

ABSTRACT

Polymeric materials are discarded in various ways at the end of their use. A large part of them is irresponsibly disposed of, for example, in landfills, seas and oceans, and even in rainwater springs, causing incalculable damage to the environment. Therefore, the synthesis of new polymeric materials from natural compounds, known as natural polymers, is of great importance. The great advantage of this class of polymers lies in their biodegradability since many of the known synthetic polymers do not have a defined degradation time. In this context, a biopolymer based on corn starch (thermoplastic starch - TPS) doped with various concentrations of natural latex was synthesized with the aim of increasing the material's mechanical strength while maintaining its biodegradability. TPS was produced without the addition of acids but with glycerol and higher temperatures using a more powerful propeller stirrer. However, the high viscosity of TPS made it difficult to obtain a suitable mixture. This resulted in a more fragile material in terms of tensile strength and elongation. Blends with latex showed better mechanical properties compared to pure TPS. Specifically, the blend with 0.5% latex stood out due to a lower quantity of microbubbles formed in the structure, associating these microbubbles to the sample's rupture points.

Keywords: Biopolymer; Starch; Characterization; Latex; Blend.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1.0-INTRODUÇÃO	17
1.1- POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS	17
1.2- O AMIDO TERMOPLÁSTICO	21
1.3- LATEX	25
2.0-OBJETIVOS	30
2.1- OBJETIVO GERAL	30
2.2 -OBJETIVO ESPECIFICO	30
3.0-MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 - MATERIAIS	33
3.2- MÉTODOS	33
3.3-ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	35
3.5-CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO TPS E SUAS BLENDA EMPREGANDO MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1- INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TPS E SUAS BLENDA	42
4.2- CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA DO TPS E SUAS BLENDA POR MEIO DE FTIR	45
4.3- ANÁLISE MORFOLÓGICA POR MEIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	50
5-APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS E BIODEGRADABILIDADE	60
6.0- CONCLUSÃO	65
7.0-REFERÊNCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ciclo esperado para um polímero natural _____	20
Figura 2- Descrição da molécula de (a) Amilose e (b) Amilopectina. _____	22
Figura 3 -Estrutura química do isopreno _____	27
Figura 4- Chapa de aquecimento com agitador automático aferição de temperatura instantânea. 1- Regulador de Tensão e Potencia (PWM); 2-Suporte em madeira para motor; 3- Termômetro de aferição por corrente elétrica; 4- Becker 1.000 mL; 5- Suporte em metalon com ajuste de altura; 6- Motor de ventilador de ½ cavalo; 7- Ventoinha de computador; 8- Hélice em Inóx; 9- Papel alumínio; 10-Chapa aquecedora. _____	34
Figura 5- Representação esquemática do corpo de prova. Cp = corpo de Prova, D = largura do corpo de prova; LL = comprimento livre de sessão do corpo de prova, Lt = Comprimento total das amostras, D = comprimento das “garras” do equipamento e K= espessura total do corpo de prova. _____	37
Figura 6 - Amostra de TPS analisada empregando-se microscopia eletrônica de varredura. _____	40
Figura 7- (a) Látex in natura dissolvido em amônia (b) e seco após 30 dias em temperatura ambiente. _____	42
Figura 8 - Espectros de FTIR da amostra de (a) látex in natura e de (b) amido puro entre 500 a 4000 cm ⁻¹ _____	46
Figura 9- Espectros de FTIR da amostra de TPS e blendas TPS/látex nas composições de 0,2, 0,5 e 50 % entre 500 a 4000 cm ⁻¹ _____	47
Figura 10- Comparação dos espectros de FTIR (em cm ⁻¹) em função da composição das amostras de amido, TPS, látex e suas blendas. _____	49

Figura 11 -Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para o amido puro, com ampliações de 150 e 500x. _____	51
Figura 12 -Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para filmes de látex com ampliações de 150 e 500x. _____	52
Figura 13 -Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para filmes de látex com ampliação de 2000 x. _____	53
Figura 14 -Microscopia eletrônica de varredura para amostras de filmes de TPS a 150 e 500 x _____	54
Figura 15 -Microscopia eletrônica de varredura para amostras de blendas com 0,2 % de látex com aumento de 500 x _____	55
Figura 16 - Microscopia eletrônica de varredura para amostras de blendas com 0,5 % de látex com aumento de 500 x _____	56
Figura 17 - Microscopia eletrônica de varredura para amostras de blendas com 50 % de látex com aumento de 500 x _____	57
Figura 18 -Imagem mine sacos convencionais (pretos) e biodegradável (brancos)___	61
Figura 19 - Imagem mine sacos convencionais (pretos) e biodegradável (brancos) contendo plantas. _____	61
Figura 20 - Imagem das plantas no dia 1º e após 30º dia _____	62
Figura 21 -Imagem das raízes de plantas colocadas em vaso: diretamente com bioplásticos _____	62
Figura 22 - Imagens das raízes de plantas colocadas em vaso com bioplásticos e sua degradabilidade após 30 dias _____	63
Figura 23 -Imagens das raízes de plantas e suas evoluções com e sem bioplásticos ___	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- *Porcentagem de substâncias constituintes do látex in natura* _____ 26

Tabela 2- *Apresentação os símbolos utilizados para representar os corpos de prova, juntamente com as respectivas dimensões em milímetros* _____ 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TPS – Amido Termoplástico

CO₂ – Dióxido de carbono

PEBD/LDPE – Poli-Etileno de Baixa densidade

PBAT – Polibutileno Adipato Tereftalato

PBS – Polibutileno Succinato

PBSA – Polibutileno Succinato Adipato

INC – Comitê Intergovernamental de Nações

ONU – Organizações das Nações Unidas

ONG's – Organizações Não Governamentais

PEAD/HDPE – Poli-Etileno de Alta densidade

PT – Poliéster Termoplástico

KV – Kilovolts

TR – Tração a Ruptura

PELDD/LLDPE – Poli-Etileno de Baixa densidade Linear

ULDPE – Polietileno de Ultra Baixa Densidade

DIN – Deutsches Institut Fur Normung

RPM – Rotações Por Minuto

HA – High Amônia

PWM – Pulse Width Modulation

ASTM – American Society for Testing and Materials

ASME – American Society of Mechanical Engineer

ISO – International Organization for Standardization

BSI – British Standards Institution

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.0-INTRODUÇÃO

1.1-POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS

O uso de materiais poliméricos tornou-se uma parte fundamental da nossa vida moderna, sendo amplamente utilizado em uma grande variedade de produtos, desde utensílios domésticos até equipamentos de alta tecnologia. No entanto, o foco tem sido no desenvolvimento sustentável, buscando equilibrar seus benefícios com a redução de seus impactos ambientais. Com o passar dos anos, os polímeros biodegradáveis têm recebido cada vez mais destaque (BRITO; ARAÚJO; MÊLO, 2011). O impacto ambiental dos plásticos oriundos do petróleo tornou-se uma grande preocupação global, pois eles são produzidos a partir de recursos não renováveis e muitos levam centenas de anos para se decompor (CHAMAS et al., 2020). Como resultado, o acúmulo de plásticos nos oceanos e em aterros sanitários tornou-se um grande problema ambiental que ameaça a vida marinha e a saúde humana. O crescente uso de plásticos descartáveis e a falta de infraestrutura adequada para gerenciá-los de forma eficaz tornam a situação ainda mais preocupante. Portanto, é necessário um esforço global para lidar com o problema dos plásticos, desde a redução do uso de plásticos descartáveis até o desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem (SHAXSON, 2009). Com a nova tendência mundial, os olhos da indústria voltaram-se para as embalagens, inicialmente eram feitas de folhas amarradas de bananeiras e hortaliças, em alguns casos tecidos, chegando ao papel e por fim os plásticos. A crescente preocupação com o impacto ambiental dos plásticos levou à busca por alternativas mais sustentáveis. Hoje em dia, existem diversas opções disponíveis, como embalagens biodegradáveis feitas a partir de materiais como amido de milho, celulose e diferentes polímeros de origem natural (SHAIKH; YAQOOB; AGGARWAL, 2021). Além disso, as empresas também estão investindo em tecnologias de reciclagem avançadas, como a reciclagem química, que permite a recuperação de plásticos em um estado purificado, pronto para ser empregado na produção de novas embalagens ou outros produtos (THIOUNN; SMITH, 2020).

Outra tendência que vem ganhando força é a redução do uso de embalagens em si, através de práticas como a venda a granel e a utilização de embalagens reutilizáveis. Muitas empresas estão adotando essas práticas e vêm sendo elogiadas por seus esforços em prol da sustentabilidade.

De acordo com um relatório publicado em 2016 pela Fundação Ellen MacArthur, se as tendências atuais de uso e descarte de plásticos continuarem, estima-se que até 2050 haverá mais plástico do que peixes, em termos de peso, nos oceanos do mundo. O relatório também estima que a produção anual de plásticos poderá triplicar, passando dos atuais 311 milhões de toneladas para cerca de 1.124 milhões de toneladas em 2050, o que representaria cerca de 20% do consumo global de petróleo. Essas estimativas ressaltam a necessidade urgente de repensar a forma como produzimos, usamos e descartamos plásticos, e adotar soluções mais sustentáveis e circulares para o problema do plástico (WORD ECONOMIC FORUM; 2016).

No ano de 2016, a quantidade de garrafas plásticas de água compradas mundialmente ultrapassou 480 bilhões. No entanto, menos da metade dessas garrafas foram coletadas e destinadas à reciclagem. Além disso, somente 7% dessas garrafas foram transformadas em novas garrafas, enquanto o restante acabou sendo despejado em aterros sanitários ou poluindo o meio ambiente terrestre e marinho (Exame, 2017).

Os benefícios dos produtos poliméricos são acompanhados de um lado negativo: sua alta durabilidade que resulta em problemas de descarte. O ciclo de vida útil de um polímero é geralmente encerrado em aterros, reciclagens, lixões ou incinerações, mas isso não garante uma gestão adequada do material do ponto de vista ambiental.

O Brasil ocupa a quarta posição no ranking mundial de produção de resíduos plásticos. Por isso, o Ministro do Meio Ambiente, Joaquim Leite, anunciou durante a primeira reunião do Comitê Intergovernamental de Negociação (INC, na sigla em inglês) da ONU, realizada em Punta del Leste, Uruguai, que o governo brasileiro tem o compromisso de recuperar 50% de todas as embalagens plásticas geradas até 2040, com o objetivo de evitar o descarte desses materiais no meio ambiente (gov.br, 2022). Apesar da iniciativa, 2040 é uma data muito distante, o que poderá levar ao agravamento da situação relacionada ao descarte inadequado deste material.

Diversos pesquisadores estão trabalhando no desenvolvimento de biopolímeros a fim de reduzir o impacto ambiental causado pelos polímeros convencionais (SADASIVUNI et al., 2020; CHA; CHINNAN, 2004; JONES;

MCCLEMENTS, 2010; SCHIFFMAN; SCHAUER, 2008). É importante salientar que os plásticos biodegradáveis não são necessariamente fabricados exclusivamente a partir de matérias-primas renováveis. Por exemplo, o PBAT (polibutileno adipato tereftalato), que é comumente usado em filmes plásticos, é derivado de matérias-primas fósseis, mas ainda é biodegradável. O PBS (polibutileno succinato) e o PBSA (polibutileno succinato adipato), são usados em filmes plásticos, sacolas e embalagens de alimentos e cosméticos, além de serem aplicados nas áreas de produtos farmacêuticos, e na agricultura (PEDRO; NUNES DA COSTA, 2018).

Dentre as diversas pesquisas em andamento voltadas para melhorar as propriedades dos biopolímeros, destacam-se o desenvolvimento de blendas (MOCHANE et al., 2020), compósitos (SCHIFFMAN; SCHAUER, 2008) e nano compósitos (DIYANA et al., 2021a) que combinam o amido com outros materiais.

Compósitos à base de amido têm sido amplamente aceitos pela comunidade científica devido ao seu enorme potencial e à sua origem renovável e de baixo valor comercial (TANG et al., 2012; ROUF; SCIENCE; 2016, RIVADENEIRA-VELASCO et al., 2021).

Embora esses biopolímeros tenham algumas limitações técnicas, que restringem o seu uso como matéria-prima, investimentos em pesquisas estão sendo feitos para minimizar essas limitações e permitir que esses materiais atinjam o mesmo nível comercial e técnico dos polímeros convencionais à base de petróleo (MITRUS; WOJTOWICZ; MOSCICKI, 2010; XIE et al., 2014; RIVADENEIRA-VELASCO et al., 2021).

O amido termoplástico (TPS) é um polímero renovável e biodegradável produzido a partir do amido modificado, apresentando-se como uma opção interessante aos plásticos convencionais derivados do petróleo (ZHANG; REMPEL; LIU, 2014). A síntese do amido termoplástico pode ser realizada por diversos métodos, sendo o mais comum a mistura do amido com um plastificante e um agente de reticulação, seguido de extrusão. A metodologia de síntese do amido termoplástico pode ser ajustada para controlar suas propriedades, incluindo a estabilidade térmica e mecânica, por exemplo, a adição de um agente de reticulação pode aumentar a estabilidade térmica, enquanto um plastificante pode melhorar a flexibilidade do material (DIYANA et al., 2021b).

Além disso, a incorporação de grupos funcionais durante o processo de síntese pode melhorar a compatibilidade com outros materiais, adequando-o para aplicações

específicas (MOAD, 2011; STAGNER et al., 2011).

As propriedades do amido termoplástico dependem de vários fatores, como a fonte do amido, presença de aditivos e condições de síntese. Em geral, o amido termoplástico não apresenta elevada resistência mecânica em comparação com os polímeros convencionais. Geralmente, sua estabilidade térmica e resistência à umidade também podem ser limitadas, o que pode afetar seu desempenho em algumas aplicações (MAHIEU et al., 2013; BENGOCHEA et al., 2022). As perspectivas para o amido termoplástico são encorajadoras, devido ao crescente interesse em materiais sustentáveis e biodegradáveis. Ele pode ser empregado em diversas aplicações, como embalagens, filmes, revestimentos e produtos descartáveis. Além disso, melhorias nas propriedades do material por meio da modificação da sua estrutura química e dos processos de síntese podem expandir suas aplicações. Um polímero biodegradável é um material polimérico que pode ser decomposto por microorganismos em condições ambientais adequadas em produtos químicos naturais, como dióxido de carbono, água, biomassa e compostos inorgânicos (ARAÚJO et al., 2021) . O ciclo esperado para um polímero natural está apresentado na Figura 1.

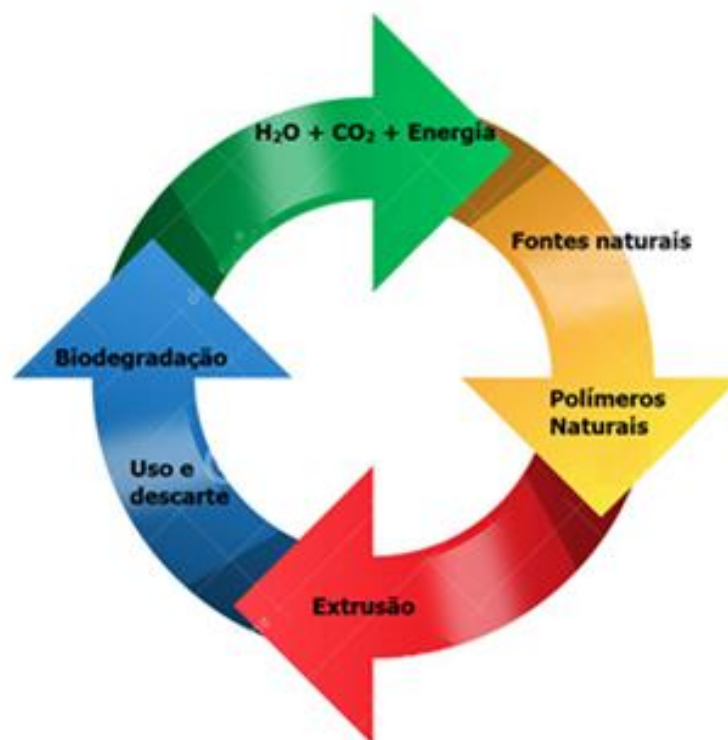


Figura 1- Ciclo esperado para um polímero natural

Nesse contexto, torna-se importante os polímeros classificados como compostáveis, pois liberam obrigatoriamente dióxido de carbono (CO₂), água, compostos inorgânicos e biomassa, igualmente aos outros materiais compostáveis já conhecidos, sem que reste em sua decomposição resíduos visíveis, distinguíveis ou tóxicos (PEDRO; NUNES DA COSTA, 2018).

Os polímeros compostáveis são projetados para se degradarem em uma taxa similar aos materiais orgânicos naturais, como folhas e galhos, em um ambiente industrial de compostagem. Eles são produzidos a partir de fontes renováveis, como amido de milho, cana-de-açúcar, celulose e outros produtos de origem vegetal. Além disso, os polímeros compostáveis não contêm aditivos tóxicos e não deixam resíduos prejudiciais no meio ambiente.

Esses materiais têm um grande potencial para reduzir o impacto ambiental dos resíduos plásticos. Eles podem ser usados para produzir embalagens, sacolas de compras, copos e outros produtos que normalmente seriam descartados após o uso. Ao escolher produtos compostáveis, os consumidores podem contribuir para a redução de resíduos e para o uso mais eficiente de recursos naturais.

1.2- O AMIDO TERMOPLÁSTICO

O amido pode ser encontrado em várias espécies vegetais como fonte de carboidratos de reserva, sendo comumente presente em grãos de cereais, leguminosas, tubérculos e frutas imaturas ou verdes. O amido pode representar de 40% a 90% do peso seco desses alimentos. Além disso, é considerado a principal fonte de carboidratos na alimentação humana, correspondendo a cerca de 80% a 90% de todos os polissacarídeos consumidos na dieta (DENARDIN; RURAL; 2009). A indústria que emprega o amido considera fatores como a disponibilidade da fonte, porcentagem deste na planta e a sua qualidade no momento da extração. O amido é composto por moléculas de glicose unidas através de ligações glicosídicas α (1,4) na amilose, que lhe dá uma configuração linear, e pela amilopectina, um polímero

ramificado de maior massa molecular, contendo ligações α (1,4) e α (1,6), além de compostos nitrogenados, lipídeos e minerais (MILES et al., 1985; WANG; CHEM; 1994; STAGNER et al., 2011). O percentual da amilose e amilopectina dependem da fonte do amido. Entretanto, as porcentagens relativas de amilose e amilopectina no amido (endosperma de cereais) podem variar de 18% a 28% de amilose e de 72% a 82% de amilopectina (KHAN et al., 2017). A Figura 2 mostra as estruturas químicas da amilose e amilopectina.

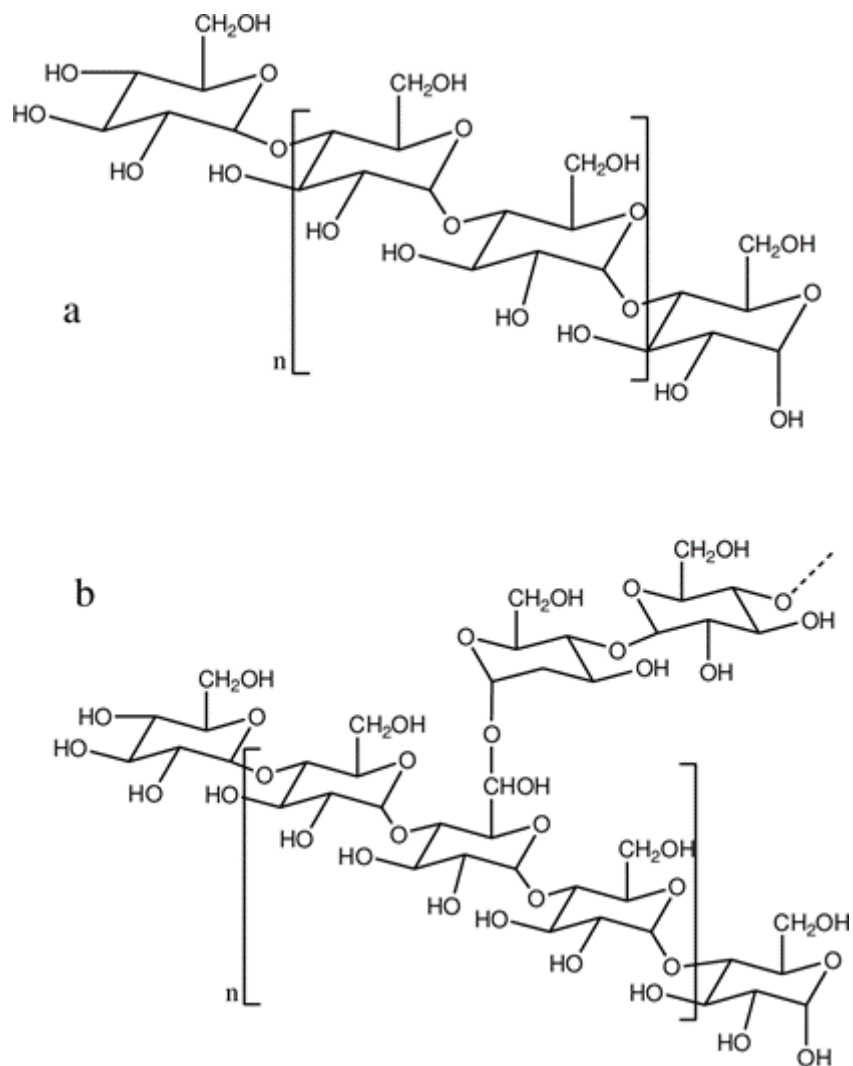


Figura 2- Descrição da molécula de (a) Amilose e (b) Amilopectina.

Embora o amido termoplástico (TPS) tenha propriedades atraentes, como

biodegradabilidade, baixo custo e ampla disponibilidade, ele também apresenta desafios em relação à sua aplicação em diversos setores. Como já mencionado, pelo fato do TPS ser altamente sensível à umidade e à temperatura, isso pode levar a problemas de processamento e diminuição das propriedades mecânicas do material final. Neste contexto, a relação entre amilose e amilopectina é crucial para ajustar as propriedades do amido termoplástico. Variações na proporção e interação desses componentes podem afetar a estabilidade térmica, a capacidade de absorção de água, a formação de redes, a viscosidade, a solubilidade, a capacidade de gelificação, a cristalinidade e as propriedades mecânicas do material resultante. A amilose tem a capacidade de formar complexos de inclusão com outros compostos, impactando sua estabilidade térmica, capacidade de absorção de água e resistência ao envelhecimento. Por outro lado, a amilopectina contribui para a solubilidade, gelificação e características mecânicas do amido termoplástico (KHAN et al., 2017; ALTAYAN; AL DAROUICH; KARABET, 2021).

As frágeis propriedades mecânicas do TPS se torna um fator limitante para sua aplicação em embalagens de longa duração e na substituição de plásticos de engenharia (OTÁVIO DONIZETTE MALAFATTI et al., 2021). Deste modo, pesquisas continuam a ser realizadas para melhorar as propriedades do amido termoplástico e encontrar soluções para esses desafios. Os materiais compostos são cada vez mais populares na indústria devido às suas propriedades de resistência mecânica e à fadiga, leveza, durabilidade, versatilidade entre outras. Os compósitos são formados pela combinação de dois ou mais materiais distintos, com o objetivo de obter uma combinação de propriedades que não seria possível com os materiais originais separadamente (LA MANTIA; MORREALE, 2011; SHUBHRA; MATERIALS; 2013). Neste sentido, compósitos de TPS com diferentes tipos de cargas, como fibras de celulose, nanocargas de sílica, argila entre outras podem apresentar propriedades mecânicas e térmicas distintas do TPS puro (CURVELO; DE CARVALHO; AGNELLI, 2001; MÜLLER; LAURINDO; YAMASHITA, 2012; RIVADENEIRA-VELASCO et al., 2021).

A modificação do amido termoplástico também pode ser realizada por meio da formação de blendas, o que também pode possibilitar a produção de materiais com elevada resistência à umidade e à tração. A formação de blendas é uma das alternativas mais promissoras para tornar o amido útil como polímero no lugar de outros plásticos, e o rápido progresso nesse campo é confirmado por diversas

publicações. Blendas de amido termoplástico com polímeros como álcool polivinílico (ZHOU et al., 2009), polietileno (ST-PIERRE et al., 1997; (ALTAYAN; AL DAROUICH, 2022), poliestireno (ZABIHI; FASIHI; RASOULI, 2022) e polipropileno (MELIGI et al., 2009; CHEN et al., 2016) são bem descritas na literatura.

Além das fibras naturais, nanocargas e blendas também é possível adicionar outros aditivos ao TPS para melhorar suas propriedades.

Os plastificantes são aditivos que desempenham um papel fundamental na estrutura e qualidade dos biopolímeros, pois sua adição visa principalmente fornecer mobilidade molecular e flexibilidade aos filmes (XIE et al., 2014; ZHANG; REMPEL; LIU, 2014; ZABIHI et al., 2021). Eles têm um impacto direto na resistência mecânica e nas transições vítreas, resultantes da interação entre o plastificante e as cadeias de amido. Estudos que analisaram a adição de plastificantes mostraram que eles também desempenham um papel secundário na melhoria desses produtos, proporcionando benefícios no processamento e na moldagem dos polímeros (KHAN et al., 2016; MONTILLA-BUITRAGO et al., 2021; NAGARAJA; COMPOSITES; 2022). Os plastificantes, assim como os catalisadores, não alteram a composição química dos biopolímeros. No entanto, uma de suas propriedades é a capacidade de reter umidade, permitindo uma facilitação nos movimentos moleculares. Isso ocorre devido à modificação dos arranjos espaciais na estrutura do biopolímero com a adição dos plastificantes. Sem a adição desses aditivos, os filmes não se estabilizariam adequadamente, ficariam excessivamente úmidos, adquirindo uma aparência gelatinosa, ou perderiam umidade excessivamente ao longo do tempo, tornando-se quebradiços e com baixa resistência mecânica. Os plastificantes podem ser classificados entre voláteis e não voláteis, como neste trabalho abordou-se os não-voláteis. Existem também plastificantes não voláteis utilizados em biopolímeros (VIEIRA et al., 2011), que são polímeros derivados de fontes renováveis. Alguns exemplos de plastificantes não voláteis para biopolímeros são:

Glicerol: É um plastificante não volátil comumente usado em biopolímeros, como o ácido polilático (PLA). O glicerol é um subproduto da produção de biodiesel e possui propriedades de plastificação adequadas para melhorar a flexibilidade e as propriedades mecânicas do PLA.

Polibutadieno Líquido (PBD): É um plastificante não volátil utilizado em biopolímeros como o polihidroxibutirato (PHB). O PBD melhora a flexibilidade e a resistência ao impacto do PHB, tornando-o mais adequado para aplicações em embalagens e filmes.

Poliglicerol: É um plastificante não volátil derivado do glicerol e é usado em biopolímeros como o amido termoplástico (TPS). O poliglicerol atua como um plastificante eficaz, melhorando as propriedades de processamento e flexibilidade do TPS.

Sorbitol: É um plastificante não volátil usado em biopolímeros como o poliéster termoplástico (PTT). O sorbitol é um poliol natural que pode melhorar as propriedades mecânicas, a flexibilidade e a resistência ao impacto do PTT.

No presente trabalho investigou-se a influência do glicerol nas propriedades do TPS, juntamente com a adição de pequenas quantidades de látex in natura.

1.3- LATEX

O látex natural, também conhecido como borracha natural, é uma dispersão coloidal de micropartículas poliméricas, que pode ser encontrado tanto em estado líquido como em forma de elastômero. Essas partículas se dividem em duas categorias: aquelas com propriedades não borrachosas e aquelas com propriedades de borracha. As partículas de borracha têm um tamanho que varia entre 5 e 3.000 nm e são envolvidas por uma combinação complexa de proteínas, lipídios e ácidos graxos de cadeia longa, os quais conferem uma carga negativa (RIPPEL; GALEMBECK, 2009).

O látex é extraído através do processo de sangria a partir de diversas fontes naturais, sendo encontrado em mais de 200 plantas. Alguns exemplos dessas plantas incluem a Castilloa, o mamoeiro, a papoula e, comercialmente, a seringueira brasileira - *Hevea brasiliensis*. Esta última é responsável por mais de 99% da produção mundial de látex natural devido à sua alta densidade de látex e à grande quantidade armazenada em sua estrutura. A seringueira pode atingir alturas de até 50 metros e um diâmetro de aproximadamente 1,5 m.

A árvore conhecida como seringueira faz parte do gênero *Hevea*, que pertence à família das euforbiáceas. Existem 11 espécies nesse gênero, sendo a *Hevea brasiliensis* a mais produtiva e amplamente cultivada comercialmente devido à sua alta qualidade de látex (GOMES' JOSÉ; ALBUQUEROUE', 2000).

Essa planta é exclusiva da bacia hidrográfica do Rio Amazonas. A partir dos quatro

anos de idade, a seringueira começa a liberar sementes e, aos seis anos, está pronta para iniciar o processo de sangria, no qual o látex é coletado. A seringueira tem uma vida produtiva longa e se desenvolve bem em solos profundos, ricos em argila e próximos a rios e áreas alagadas, com uma certa acidez e temperatura úmida, características abundantes na região amazônica.

No Brasil, a exportação da borracha natural teve início por volta de 1827 e desempenhou um papel importante na economia do país, atingindo seu auge após 1840, com o desenvolvimento da vulcanização por Charles Goodyear. A síntese da borracha utilizava a borracha natural como matéria-prima, e os estudos sobre esse processo começaram com materiais originários da Índia, país para onde a planta foi levada a partir do Brasil. A borracha natural teve um impacto tão significativo na economia brasileira que, entre os anos de 1879 e 1912, a exportação da borracha foi a base da economia do país, período conhecido como o "ciclo da borracha". Essa atividade gerou grandes riquezas concentradas nas mãos dos chamados "coronéis da borracha". No entanto, o declínio da borracha ocorreu alguns anos depois, devido ao crescimento das plantações britânicas no continente africano, voltadas para a exportação e importadas do Brasil ("Zoneamento pedoclimático para a seringueira no Estado do Acre. - Portal Embrapa", 2021).

No período entre 1875 e 1876, a Inglaterra enviou vários pesquisadores para diferentes regiões do mundo em busca de novas fontes de riqueza. No Brasil, o botânico inglês Henry Wickham, a serviço do Império Britânico, coletou sementes de seringueira e as enviou para Londres. Posteriormente, essas sementes foram implantadas no continente africano, na Índia e em outros países. Como consequência, atualmente os maiores produtores de borracha natural são a Tailândia (35%) e a Indonésia (23%), enquanto o Brasil, que já foi o maior produtor e exportador mundial nas décadas passadas, hoje responde por apenas 1% da produção global e não consegue suprir sua demanda interna (MAIZ DA SILVA et al., 2021). O látex apresenta em sua composição basicamente borracha, proteínas, carboidratos, lipídios e água. A composição química percentual do látex in natura está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Porcentagem de substâncias constituintes do látex in natura

Constituinte	% em massa no látex
<i>Borracha</i>	25-45
<i>Proteínas</i>	1-1,8
<i>Carboidratos</i>	1-2
<i>Lipídios neutros</i>	0,4-1,1
<i>Lipídios polares</i>	0,5-0,6
<i>Inorgânicos</i>	0,4-0,6
<i>Aminoácidos, aminas....</i>	0,4-0,6
<i>Água</i>	49-71

Fonte: (RIPPEL, 2005)

O látex natural encontrado nas plantas contém poli-isopreno que possui a capacidade de coagular rapidamente e de forma espontânea.

O isopreno, que é a substância química mais relevante e amplamente estudada no látex, possui a estrutura química representada na Figura 3.

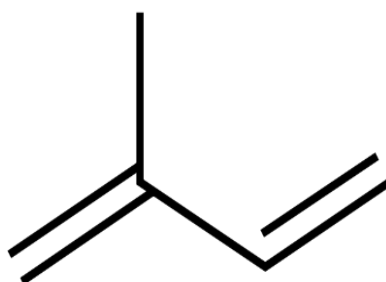


Figura 3 -Estrutura química do isopreno

Para facilitar o manuseio e a utilização desse material, são empregados aditivos que retardam a sua coagulação, permitindo um tempo prolongado para manipulação. Durante o processo de coagulação, o látex se separa em duas fases distintas e bem definidas: a borracha natural, que apresenta uma consistência densa e aglutinada, e uma fase levemente esbranquiçada, que evapora completamente quando as duas fases estão completamente separadas. O látex in natura se assemelha a um líquido leitoso e pode ser separado em suas fases por meio de centrifugação. A parte superior contém o isopreno, enquanto a parte inferior consiste em uma substância clara e esbranquiçada. Essa substância desempenha um papel importante na estabilização da borracha natural presente no látex, evitando sua aglutinação e coagulação, funcionando como um aditivo natural por um curto período de tempo. Ao serem separadas ou armazenadas em temperatura ambiente ou superior, a fase clara do látex evapora completamente, estabilizando o poli-isopreno.

No presente trabalho, a síntese de TPS foi investigada na presença e ausência de látex. A metodologia empregada sofreu modificações em relação aquelas encontradas na literatura, com o objetivo de aprimorar a resistência mecânica do TPS. Neste sentido, pequenas quantidades de latex foram adicionadas ao TPS durante sua síntese.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.0-OBJETIVOS

2.1- OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta pesquisa é realizar a síntese e caracterização de amido termoplástico dopado com látex natural, visando aprimorar sua resistência mecânica com o intuito de viabilizar sua aplicação comercial.

2.2 -OBJETIVO ESPECIFICO

Os objetivos específicos deste estudo são detalhados a seguir:

- a) Desenvolvimento de uma metodologia para a síntese de TPS, tanto na presença como na ausência de látex.
- b) Análise das condições de preparação do TPS, incluindo temperatura, pH do meio, agitação, adição de plastificantes e quantidade de látex utilizado.
- c) Caracterização espectroscópica do TPS e suas misturas por meio de técnicas como FTIR (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e testes de tração mecânica.
- d) Produção de tubetes de amido termoplástico com a finalidade de servirem como recipientes para cultivo de plantas e plantio direto no solo.
- e) Análise do tempo de degradação do tubetes após alocados no solo.
- f) Observação da contribuição do novo material como forma de adubo para o desenvolvimento da planta.

- g) Comparação entre as raízes das plantas cultivadas no novomatérial e a plantada diretamente ao solo.

- h) Examinar o desenvolvimento da planta após o plantio.

CAPÍTULO 3
MATERIAIS E MÉTODOS

3.0–MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS

Nesta seção, serão descritos os materiais utilizados na síntese do TPS e suas blendas com látex.

Todas as soluções foram preparadas empregando água deionizada pelo sistema de purificação Milli-Q. O látex utilizado foi tratado com amônia (P.A Merck) na concentração de 0,7% em relação ao peso do látex, utilizando a técnica conhecida como "high-amônia" (HA). Após a adição da amônia, o material foi armazenado em baixas temperaturas, em torno de 5°C. Isso permitiu manter a estabilidade do látex. Para a obtenção do TPS e suas blendas foi empregado o amido solúvel da marca Synth®.

3.2- MÉTODOS

Os biopolímeros foram preparados utilizando, 37,5 gramas de amido de milho, 20 gramas de glicerol como plastificante e 500 mL de água deionizada, compondo um volume total aproximado de 545 mL. Usando um agitador elétrico construído no próprio laboratório e uma chapa aquecedora, a mistura amido/glicerol na presença de água foi agitada por 5 minutos a temperatura ambiente para homogeneização, em seguida, a temperatura foi elevada e mantida constante a 45 °C para gelatinização do amido, por 10 minutos.

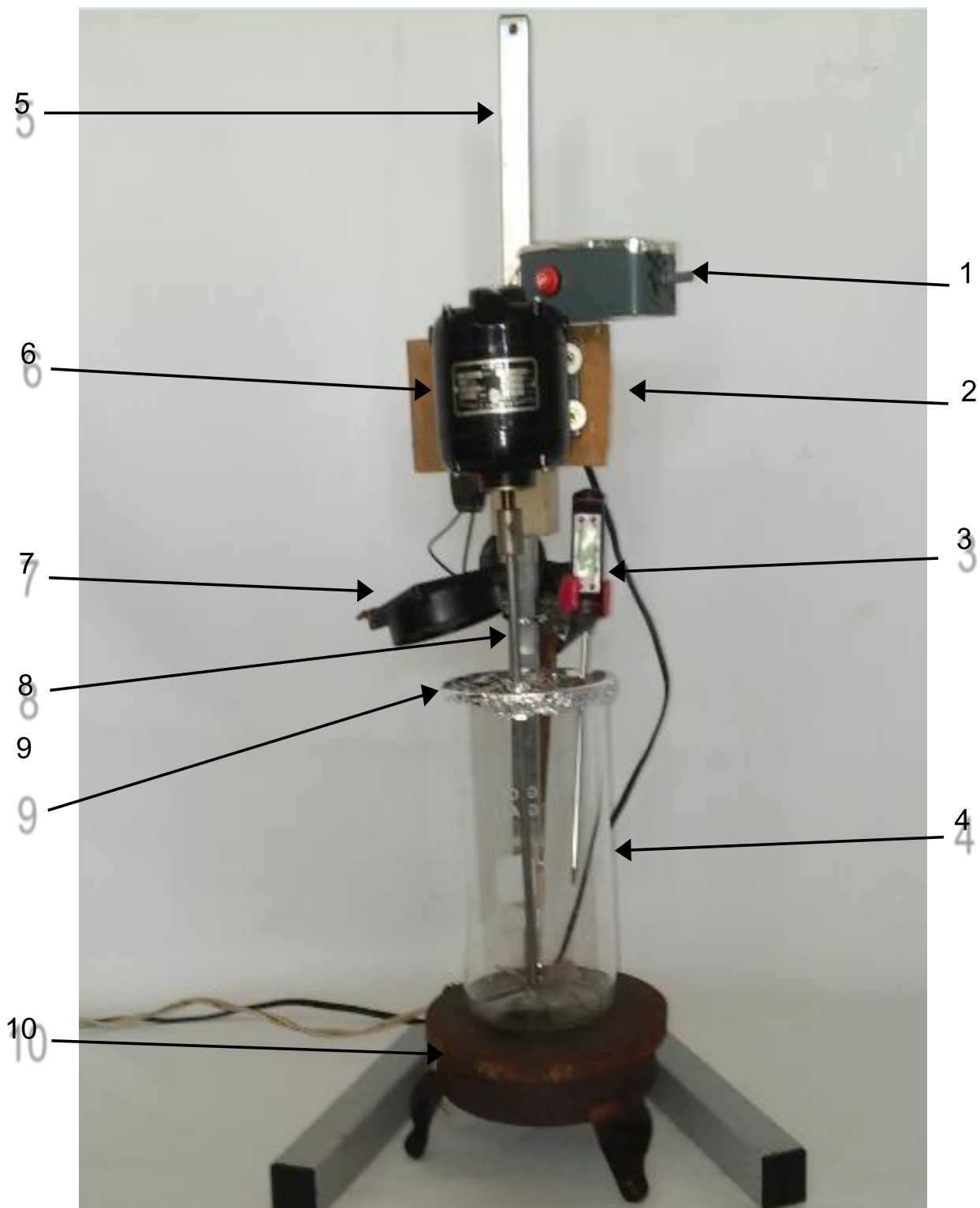


Figura 4-Chapa de aquecimento com agitador automático aferição de temperatura instantânea. 1- Regulador de Tensão e Potencia (PWM); 2-Suporte em madeira para motor; 3- Termômetro de aferição por corrente elétrica; 4- Becker 1.000 mL; 5- Suporte em metalon com ajuste de altura; 6- Motor de ventilador de ½ cavalo; 7- Ventoinha de computador; 8- Hélice em Inóx; 9- Papel alumínio; 10-Chapa aquecedora.

Após a gelatinização, a temperatura foi aumentada até 97,5°C e mantida constante por aproximadamente 36 minutos. O material obtido ainda na forma fluida foi depositado sobre placas petri de vidro com diâmetro de 12 cm. O TPS foi mantido em estufa a temperatura de 45°C até sua cura. A síntese das blendas TPS com látex seguiu as mesmas condições e parâmetros já mencionados na produção de TPS, porém, quando a mistura alcançou temperatura de 97,5°C, adicionou-se o látex in natura (solúvel em amônia) e aguardou-se por mais 16 minutos sob temperatura e agitação constantes, totalizando os 51 minutos de reação. O sistema de aquecimento foi desligado, o material obtido foi depositado sobre placas petri, que por sua vez foram levadas a estufa a 45°C por 36 horas.

As blendas foram preparadas com diferentes quantidades de latex, que variaram de 0,0% até 50% de látex (m/m). O percentual de borracha na solução de amônia contendo látex foi determinado por evaporação de um determinado volume da solução.

3.3-ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

De acordo com as diretrizes estabelecidas para ensaios de tração em filmes, três corpos de prova distintos foram utilizados, sendo coletados de diferentes regiões das amostras. Todos os corpos de prova foram preparados com diâmetros específicos de 2,5 cm de largura, 5 cm de comprimento e espessuras normalizadas pelo equipamento. Os ensaios foram conduzidos em conformidade com a norma ASTM D638 M-96 ("D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", 1996), utilizando um equipamento Emic DL3000, com uma carga de 200 Kgf e uma taxa de análise de 50 mm/min. A norma ASTM D638 M-96 é uma norma técnica desenvolvida pelo Comitê ASTM Internacional para determinar as propriedades mecânicas de materiais poliméricos por meio de ensaios de tração. Essa norma estabelece os procedimentos e diretrizes para a realização desses ensaios, incluindo a preparação dos corpos de prova, as condições de teste, as medições e os cálculos necessários.

A norma ASTM D638 M-96 define as especificações para a realização de ensaios de tração uniaxial, onde a amostra é submetida a uma carga gradualmente crescente até a sua ruptura. Esses ensaios fornecem informações importantes sobre as propriedades mecânicas dos materiais, como resistência à tração, alongamento, módulo de elasticidade e tenacidade.

A resistência máxima à tração dos filmes de biopolímeros depende principalmente de sua estrutura química, bem como do tempo, temperatura e taxa (ou velocidade) de carregamento nos quais os ensaios são realizados.

Os valores máximos de tensão e alongação das amostras, foram calculados os utilizando as equações 1, 2 e 3.

$$\text{Área total} = \frac{(\text{Largura do corpo de prova}) \times (\text{comprimento})}{100} \quad (\text{equação 1})$$

$$\text{Elongação máxima} = \frac{(\text{Distância (mm)}) \times 100}{\text{Comprimento do corpo de prova (mm)}} \quad (\text{equação 2})$$

$$\text{Tensão máxima} = \frac{\text{Carga máxima (Newtons)}}{\text{Área em milímetros quadrados}} \quad (\text{equação 3})$$

A obtenção dos dados consiste em fixar o corpo de prova em garras posicionadas no equipamento e aplicar uma força gradual em direções opostas ao centro da amostra. Durante esse processo, são registrados os valores de força aplicada e a deformação resultante. Essas medidas são obtidas por meio de um extensômetro, que envia os dados para uma unidade central de processamento. Em

seguida, esses dados são convertidos em coordenadas numéricas, que serão utilizadas para construir um gráfico de tensão versus deformação. A Figura 5 apresenta os parâmetros utilizados para medir a tensão e a elongação dos corpos de prova.

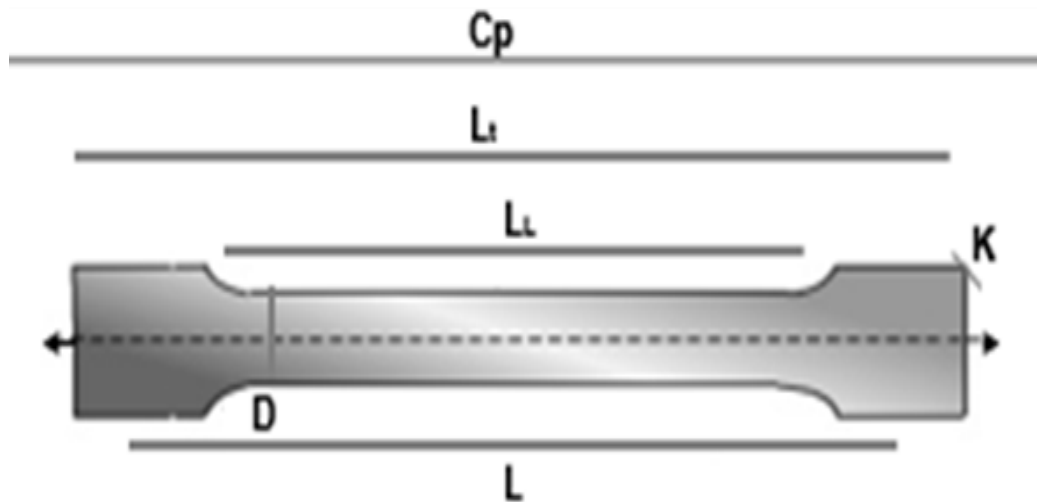


Figura 5- Representação esquemática do corpo de prova. Cp = corpo de Prova, D = largura do corpo de prova; LL = comprimento livre de sessão do corpo de prova, Lt = Comprimento total das amostras, D = comprimento das “garras” do equipamento e K= espessura total do corpo de prova.

No presente estudo, foi realizado o ensaio de tração mecânica nas amostras dos filmes de TPS e suas blendas com látex. As dimensões dos filmes utilizados como corpos de prova estão descritas na tabela 2.

Tabela 2- Apresentação os símbolos utilizados para representar os corpos de prova, juntamente com as respectivas dimensões em milímetros

Símbolos dos corpos de prova Dimensões (mm)

Cp	---
D	25
LL	50
Lt	80 a 120
LD	130
K	3 a 1,5

3.4-CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPIA DO TPS E SUAS BLENDA EMPREGANDO FTIR

As amostras utilizadas neste estudo foram submetidas a uma caracterização utilizando um aparelho de análise de FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) da marca BOMEM MB-Séries, disponível na Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Foram obtidos espectros de filmes preparados a partir das seguintes amostras: látex in natura, TPS (Termoplástico de Amido), blendas e amido puro. A faixa de número de onda analisada abrangeu o intervalo de 500 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} . Antes da obtenção dos espectros, as amostras passaram por um processo de ambientação, no qual foram expostas a umidade controlada de 40%.

Os dados obtidos a partir da análise FT-IR forneceram informações sobre as amostras nas diferentes condições de umidade. Essa caracterização por FT-IR permite a identificação e análise das bandas de absorção características dos grupos funcionais presentes nas amostras, possibilitando a compreensão da estrutura química e das interações moleculares dos materiais estudados. Esses resultados são de grande importância para a compreensão das propriedades e comportamento das amostras, contribuindo para o desenvolvimento de aplicações específicas e aprimoramento de biopolímeros.

3.5-CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO TPS E SUAS BLENDA EMPREGANDO MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.

No presente estudo, as amostras de TPS e suas blendas contendo látex foram submetidas a análises detalhadas de microestrutura e morfologia utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para esse propósito, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura Jeol JSM-840A, localizado na Universidade Estadual Paulista-Júlio de Mesquita Filho (Unesp). As amostras foram preparadas seguindo dimensões padronizadas, com 10 mm de comprimento, 5 mm de largura e, em média, 1 mm de espessura. Essas dimensões foram selecionadas para fornecer uma representação adequada da estrutura das amostras. Cada amostra pesava aproximadamente 0,5 mg, garantindo uma quantidade adequada para análise e garantindo a representatividade dos resultados. No microscópio eletrônico de varredura, as amostras foram visualizadas utilizando elétrons secundários e trabalhando com uma voltagem de 25 KV. Essa configuração permite uma análise detalhada da superfície das amostras, revelando informações sobre sua microestrutura e morfologia em alta resolução. A Figura 6 ilustra as dimensões das amostras utilizadas neste estudo, destacando seu comprimento, largura e espessura.

Essas informações são relevantes para a compreensão da escala das amostras e sua representatividade nas análises realizadas. A utilização da microscopia eletrônica de varredura, proporciona uma visão ampliada e detalhada das amostras, permitindo a observação de características como a distribuição de fases, a presença de porosidades, a textura da superfície, as possíveis anormalidades ou propriedades ocasionadas pela adição de alguma carga as amostras, substratos ou partes não homogeneizáveis no meio e outras características microestruturais relevantes a composição física do material.

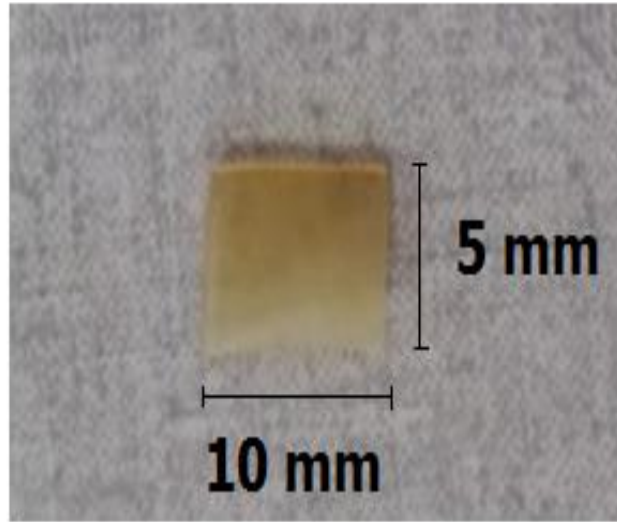


Figura 6 - Amostra de TPS analisada empregando-se microscopia eletrônica de varredura.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TPS E SUAS BLENDS

Inicialmente, foi determinada a massa de borracha natural presente na solução de látex em amônia. Para isso, as amostras foram mantidas em temperatura ambiente por um período de 30 dias, com monitoramento diário através de pesagens realizadas em uma balança analítica. Na Figura 7 (a), é possível observar que o látex apresenta uma aparência esbranquiçada, semelhante àquela obtida quando é extraído diretamente da fonte natural. Esse material dissolvido em amônia ficou sob refrigeração a aproximadamente 5°C, o que contribui para a preservação de suas propriedades e garantiu sua estabilidade ao longo de períodos prolongados. Ao longo dos 30 dias de análise, o látex coagulou e adquiriu uma aparência amarela/translúcida característica da borracha natural, como mostrado na Figura 7 (b).

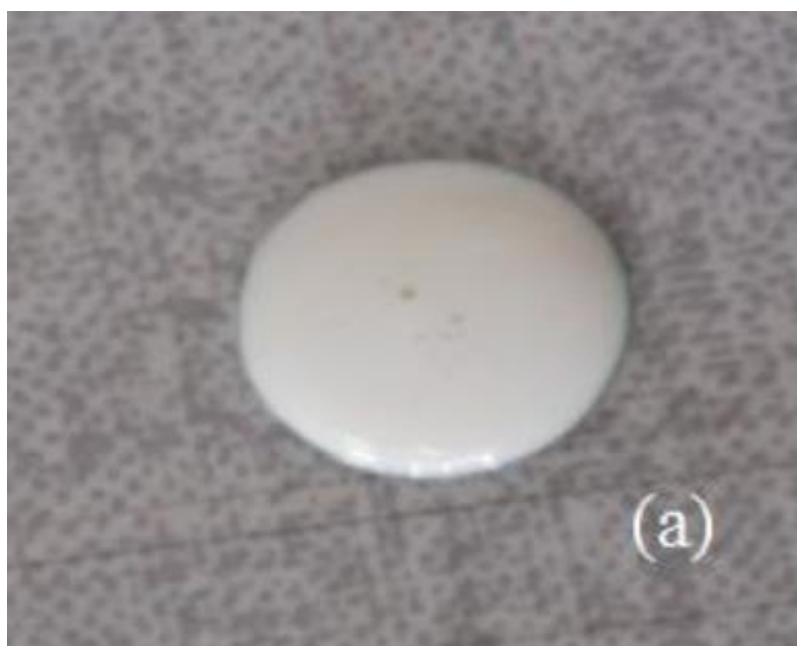


Figura 7- (a) Látex in natura dissolvido em amônia



Figura 8- (b) Látex seco após 30 dias em temperatura ambiente

Neste contexto, através da determinação da massa de borracha natural presente na solução látex/amônia, foi possível pipetar a quantidade adequada desta para preparar as blendas de TPS com percentuais definidos de látex. Desta forma, foram preparadas amostras de TPS puro, blendas com as composições percentuais de 0,2; 0,5; 1; 5; 10 e 50 % de látex em relação à massa de amido, além de corpos de prova somente de borracha natural.

Através da realização de ensaios de tração, é possível obter parâmetros relevantes relacionados à deformação e ruptura de cada amostra testada. Cada amostra analisada foi submetida a uma força uniaxial em uma de suas extremidades, fixando-se a outra extremidade no aparelho medidor, os testes se concentram em deformar o corpo de prova até seu rompimento por completo, medindo-se assim, quão resistente à deformação e à ruptura são os materiais analisado.

De acordo com os dados obtidos da tensão versus força para o TPS, foi observada uma tensão de 1,92 MPa, enquanto a força exercida sobre a amostra até

seu completo rompimento foi de somente 7,69 Newtons. Essa força é aplicada pelo equipamento para deslocar o material. A baixa resistência desta amostra já era esperada devido à sua fragilidade conhecida.

Assim, foi possível avaliar a relação tensão alongação para a amostra de TPS, na qual observa-se a fácil ocorrência de ruptura do material.

A próxima amostra analisada foi o látex puro, empregado como corpo de prova.

A amostra apresentou uma alongação de 150% e não se rompeu, chegando até o final do percurso empregado pelo equipamento. O presente trabalho visa alcançar um ganho considerável na resistência mecânica das amostras, porém, esse material possui uma característica elastomérica, sendo capaz de se deformar em até 600% sem romper (“D412 Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension”, 2021). As amostras que apresentaram melhorias na resistência mecânica em comparação com TPS puro foram as blendas TPS/látex com 0,2 e 0,5 % de látex. Os testes realizados revelaram uma elasticidade maior nas blendas em comparação com o TPS, que foi utilizado como material base. O TPS apresentou um valor médio de alongação de 93,6 %, enquanto as blendas com 0,2% e 0,5% demonstraram alongações de 120,5 e 135,5 %, respectivamente. É importante ressaltar que os valores obtidos neste estudo, ou seja, 20,14 MPa e 24,33 MPa, já se assemelham às forças de tensão mecânica do polietileno de alta densidade, que normalmente varia entre 17,3 MPa e 34,6 Mpa (BRISTON; KATAN, 1986).

Dessa forma, os resultados obtidos nesse trabalho sugerem que as blendas estudadas possuem uma elasticidade superior ao TPS e apresentam resistências mecânicas comparáveis às do polietileno de alta densidade. No entanto, é importante considerar os desafios relacionados à resistência mecânica desses materiais quando se trata de sua aplicação prática, conforme discutido em estudos anteriores. As amostras com 1, 5 e 10 e 50 % apresentaram comportamento elástico similar, ou seja, grande alongação. Contudo, não apresentaram valores apreciáveis de resistência mecânica, pois ocorreram diferenças significativas nas medições no que tange a ruptura destas amostras. Isso foi atribuído a não homogeneização da látex amostras. Deste modo, o estudo foi descontinuado para as amostras com 1, 5, 10 e 50 % de latex.

4.2- CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA DO TPS E SUAS BLENDA POR MEIO DE FTIR

Para a análise do amido termoplástico, amido comum, látex in natura e blendas TPS/látex, utilizou-se a técnica de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier. A Figura 8 apresenta os espectros de FT-IR do látex in natura (A) e do amido puro (B) na faixa entre 500 e 4000 cm^{-1} . As amostras foram mantidas em condições ambiente por 30 dias.

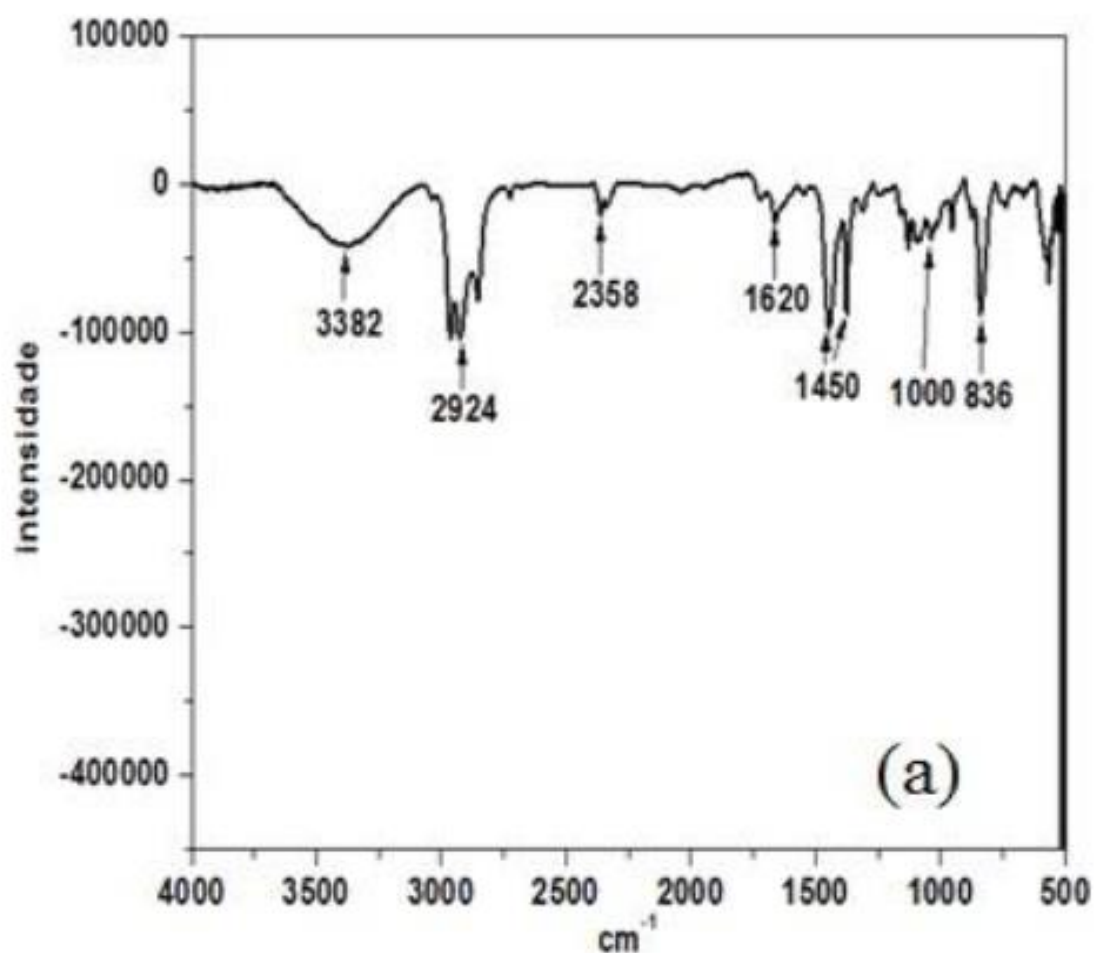


Figura 9 - Espectros de FTIR da amostra de (a) látex in natura

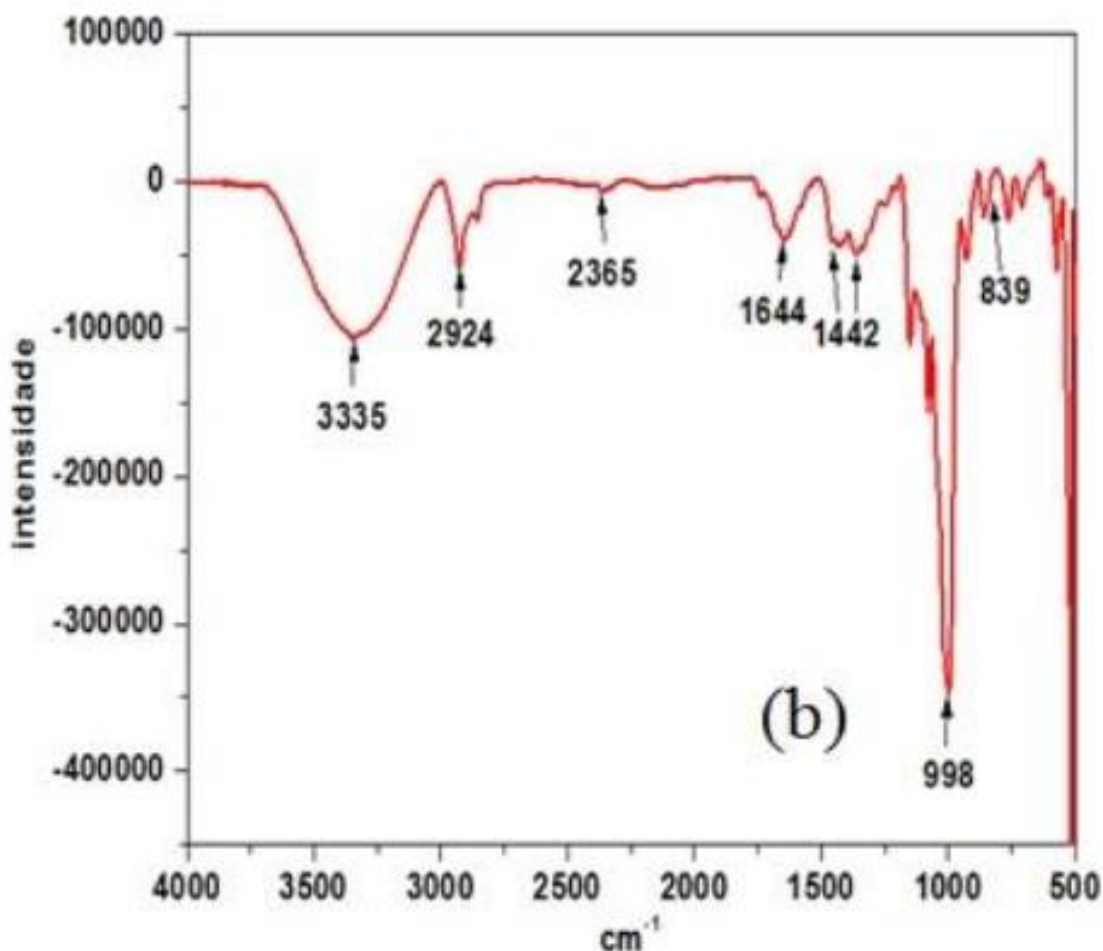


Figura 10 - Espectros de FTIR da amostra de (b) amido puro entre 500 a 4000 cm^{-1}

No espectro do látex in natura, as bandas de absorção mais relevantes são observadas nas seguintes regiões (em cm^{-1}): 3382, 2924, 2358, 1620, 1442, 1000 e 836. Já no espectro do amido puro, as bandas mais relevantes são observadas nas regiões de 3335, 2924, 1644, 1442, 1090 e 1000 cm^{-1} .

Ambas as amostras apresentam absorção na região de 3500 cm^{-1} , o que é característico de grupos O-H. No entanto, essa região é mais intensa no espectro do amido puro, o que pode ser atribuído à alta absorção de umidade pelo amido (KIZIL; IRUDAYARAJ; SEETHARAMAN, 2002). Por outro lado, o látex tende a perder umidade com o tempo para se estabilizar em isopreno. Além disso, a presença de várias hidroxilas nos isômeros da amilose e amilopectina, que formam o amido, também pode explicar essa diferença.

As bandas em torno de 2920 cm^{-1} estão presentes em ambas as amostras e são atribuídas a ligações do tipo C-C. No entanto, essas bandas são mais intensas no látex in natura, devido ao maior número de ligações carbono-carbono e à ausência de interferência de grupos oxigenados. As absorções em 1440 cm^{-1} , que são descritas como bandas do tipo C-H no látex in natura, são características de hibridação sp^2 e sp^3 . No entanto, no amido puro, essas ligações são características apenas do tipo sp^3 .

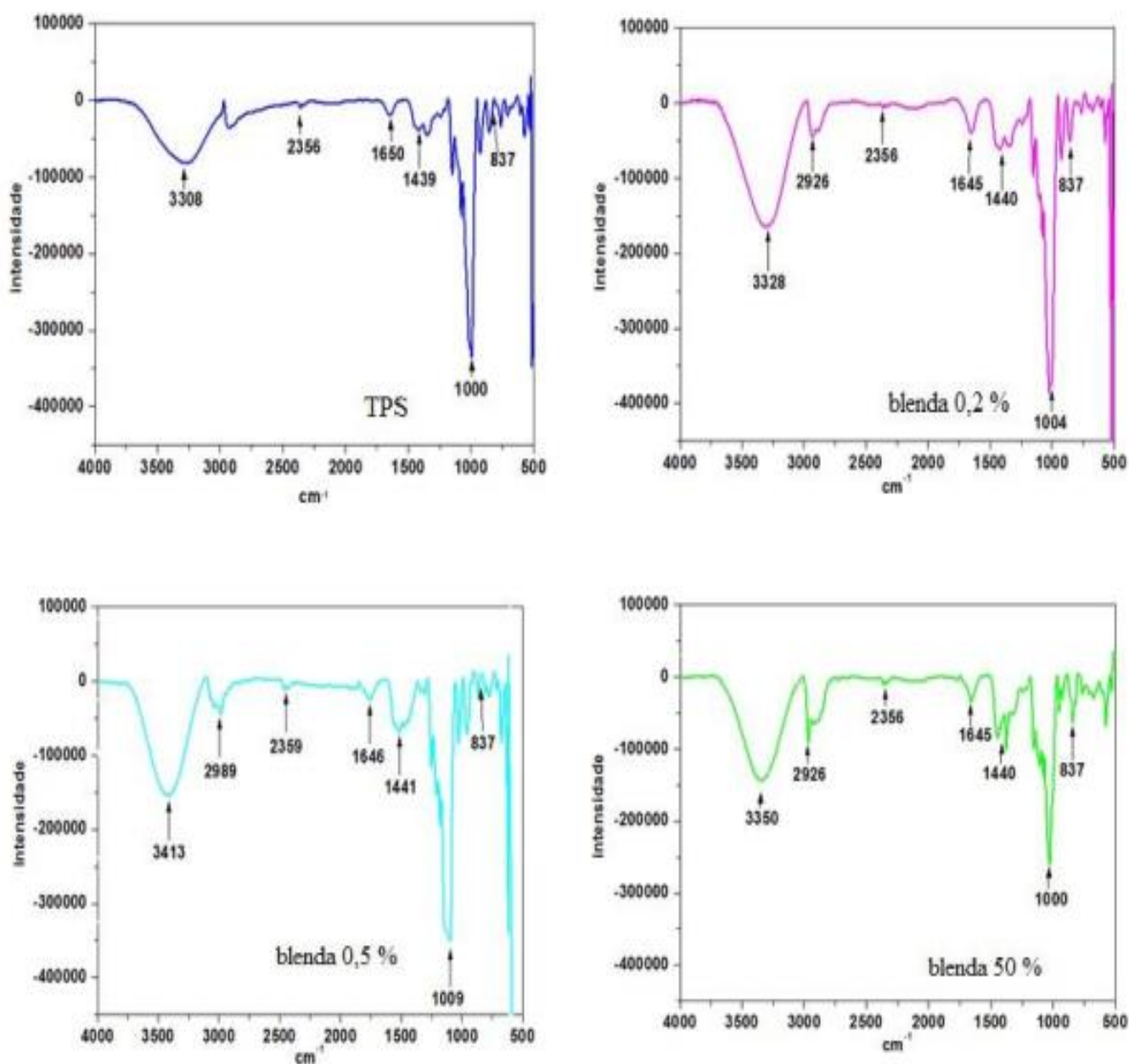


Figura 11- Espectros de FTIR da amostra de TPS e blendas TPS/látex nas composições de 0,2, 0,5 e 50 % entre 500 a 4000 cm^{-1}

Na região de absorção do espectro próximo a 1000 cm^{-1} , a absorção é característica de ligações do tipo C-O, sendo muito mais intensa no amido puro. Isso já era esperado, uma vez que essas ligações estão presentes em toda a estrutura do amido, mas não são observadas no látex in natura.

A análise do TPS e suas blendas estão apresentadas na Figura 9.

Nas análises espectroscópicas das blendas, foram identificadas as seguintes bandas de absorção em diferentes números de onda (cm^{-1}): 3328, 2928, 1645, 1440, 1000 e 837 para as blendas com 0,2%; 3335, 2924, 1644, 1442, 1000 e 837 para as blendas com 0,5%; e 3350, 2926, 1645, 1440, 1000 e 837 para as blendas com 50% de composição. A presença de absorções na faixa de 3.500 cm^{-1} é atribuída às interações de pontes de hidrogênio entre as hidroxilas (-OH), as quais são observadas em todas as amostras, embora com intensidades diferentes. Assim, devido à grande quantidade de água utilizada, pode-se inferir que esses picos são decorrentes da água residual nos filmes. A banda em 2359 cm^{-1} é atribuída ao estiramento da ligação C-H. As absorções próximas a 1645 cm^{-1} e 837 cm^{-1} são associadas, respectivamente, ao estiramento da ligação insaturada C=C e ao balanço da ligação =C-H, apresentam maior intensidade nas blendas com 0,2%. Na região de 837 cm^{-1} , observa-se diferença de intensidades, sendo praticamente ausente no amido puro, enquanto no látex in natura apresenta absorção significativa. A intensidade desse pico foi atribuído ao aumento da concentração de látex nas amostras, devido à presença de insaturações decorrentes do poliisopreno.

Na região de 1450 cm^{-1} , associada às bandas de C-H₂, as absorções são mais intensas no látex do que no amido puro, e a intensidade desses picos é proporcional à concentração de amido nas amostras. Na região de 1000 cm^{-1} , correspondente às bandas relacionadas às ligações C-O, C-C e C-N, observa-se a presença de absorções devido às ligações C-O do amido, que possui diversos pontos de ligação desse tipo. À medida que a proporção de látex nas amostras aumenta, a intensidade dessas absorções diminui.

As absorções próximas a 835 cm^{-1} , relacionadas às insaturações, apresentam maior intensidade nas amostras de látex, e essa região do espectro tende a absorver com maior intensidade à medida que aumenta a concentração de látex nas blendas.

Analisando a Figura 10, é possível observar os picos nos quais ocorreram alterações

mais significativas.

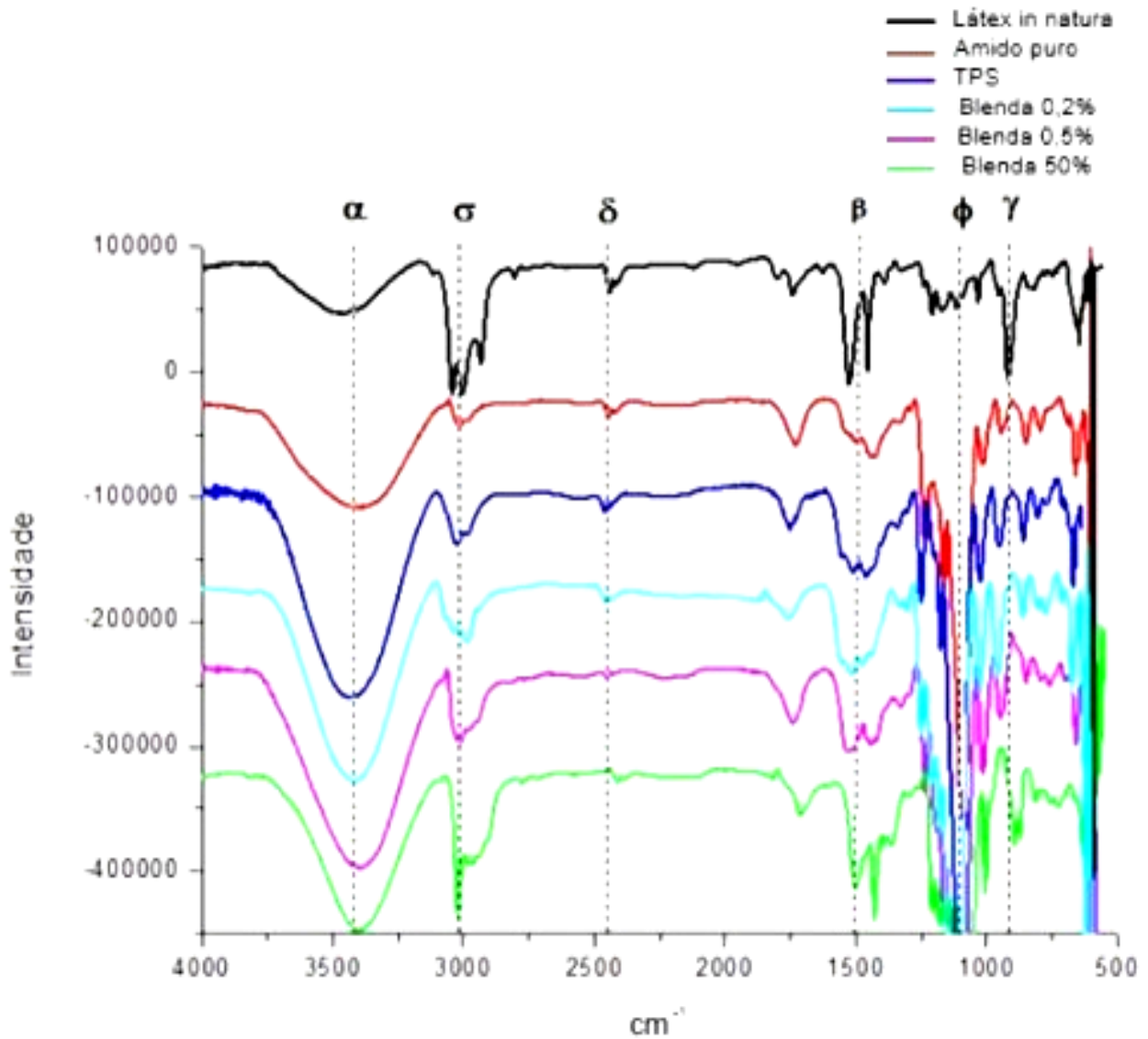


Figura 12- Comparação dos espectros de FTIR (em cm^{-1}) em função da composição das amostras de amido, TPS, látex e suas blendas.

Inicialmente pode-se destacar os picos na região de 3500 cm^{-1} , denominado pico (α), correspondente à ponte de hidrogênio entre as ligações O-H. Esses picos apresentam grande intensidade em todas as amostras. No amido, há uma grande quantidade de espécies oxigenadas que formam ligações de hidrogênio. Além disso, há uma

absorção significativa de umidade, o que concentra ainda mais a absorção nessa região. Essa absorção intensifica-se e mantém-se em todas as blendas devido à síntese em meio aquoso. No látex, essa banda mostra-se de menor intensidade em comparação com todas as amostras, o que pode ser atribuído à perda de umidade devido ao seu caráter hidrofóbico.

De acordo com as bandas de absorção apresentadas em (σ), nas proximidades de 3000 cm^{-1} e em (β), na região próxima a 1500 cm^{-1} , pode-se observar as maiores intensidades nas amostras de látex. Isso pode ser atribuído à absorção predominante da ligação C-H. Analisando pela mesma linha, as curvas de absorção mostram que quanto maior a quantidade de látex na amostra, maior é a absorção nessa região espectral. A absorção em (δ), na faixa de 2360 cm^{-1} , como mencionado anteriormente, é atribuída ao estiramento C-H. Os resultados dos espectros observados em (ϕ), na faixa de 1000 cm^{-1} , correspondem à ligação do tipo C-O, que não é observada no látex in natura devido à ausência de grupos oxigenados em sua estrutura, portanto, não ocorre absorção nessa região. Por outro lado, as bandas (ϕ), observadas com grande intensidade no amido puro, são atribuídas à grande quantidade de oxigênio presente nas moléculas de amilose e amilopectina (AGREBI et al., 2019).

No TPS, pode-se observar similaridades em relação ao espectro do amido puro. Nas blendas, pode-se concluir que quanto maior a quantidade de látex, menor é a absorção nessa região. A formação das blendas foi caracterizada pela ausência de novas ligações entre o TPS e o látex, as quais não foram observadas nos espectros de FTIR.

4.3- ANÁLISE MORFOLÓGICA POR MEIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Análises empregando-se Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram realizadas em amostras de amido puro, utilizando ampliações de 150 e 500x. Na Figura 11, é possível observar os diferentes formatos dos grãos de amido. A principal diferença entre os diferentes tipos de amidos naturais reside em suas geometrias espaciais e tamanhos. No presente estudo, o amido de milho analisado apresentou

partículas com formas bastante irregulares, incluindo algumas arredondadas, outras quadradas, algumas retangulares e outras ovais, assemelhando-se aqueles resultados previamente descritos na literatura (WEBER; COLLARES-QUEIROZ; CHANG, 2009; (CORRIGIDA; CESAR; PIRASSUNUNGA, 2015). Os diâmetros dos grãos observados foram de aproximadamente 100 μm .

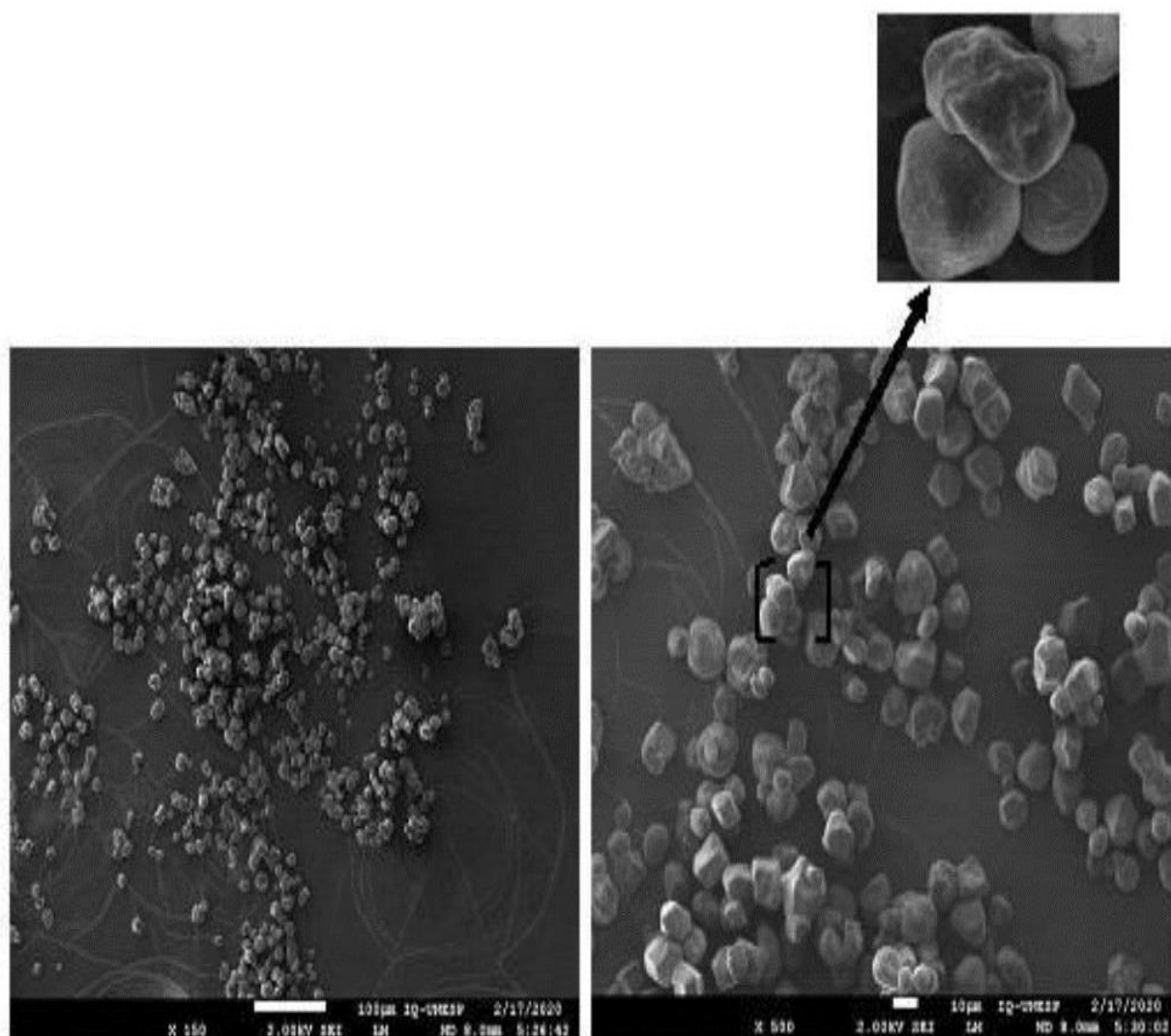


Figura 13-Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para o amido puro, com ampliações de 150 e 500x.

A morfologia das amostras de látex in natura também foram analisadas por meio de MEV, e as imagens obtidas com ampliações de 150x e 500x podem ser observadas na Figura 12. As micrografias apresentam uma uniformidade nas amostras, sem

ocorrência de fissuras, microbolhas ou rachaduras. Isso pode ser atribuído à rápida coagulação do látex durante o processo de evaporação de seus componentes, resultando em maior quantidade de fosfolipídios e proteínas no látex e, conseqüentemente, maior homogeneidade (LINCON; AGOSTINI; JOB, 2009). Foi constatado que a homogeneidade aumenta com o aumento da temperatura de evaporação dos constituintes do látex. Esse experimento apresenta semelhanças com o processo utilizado na dissertação em questão, em que a amônia foi utilizada como solvente do látex. Devido à volatilização da amônia abaixo da temperatura ambiente, os filmes formados mostraram-se homogêneos.

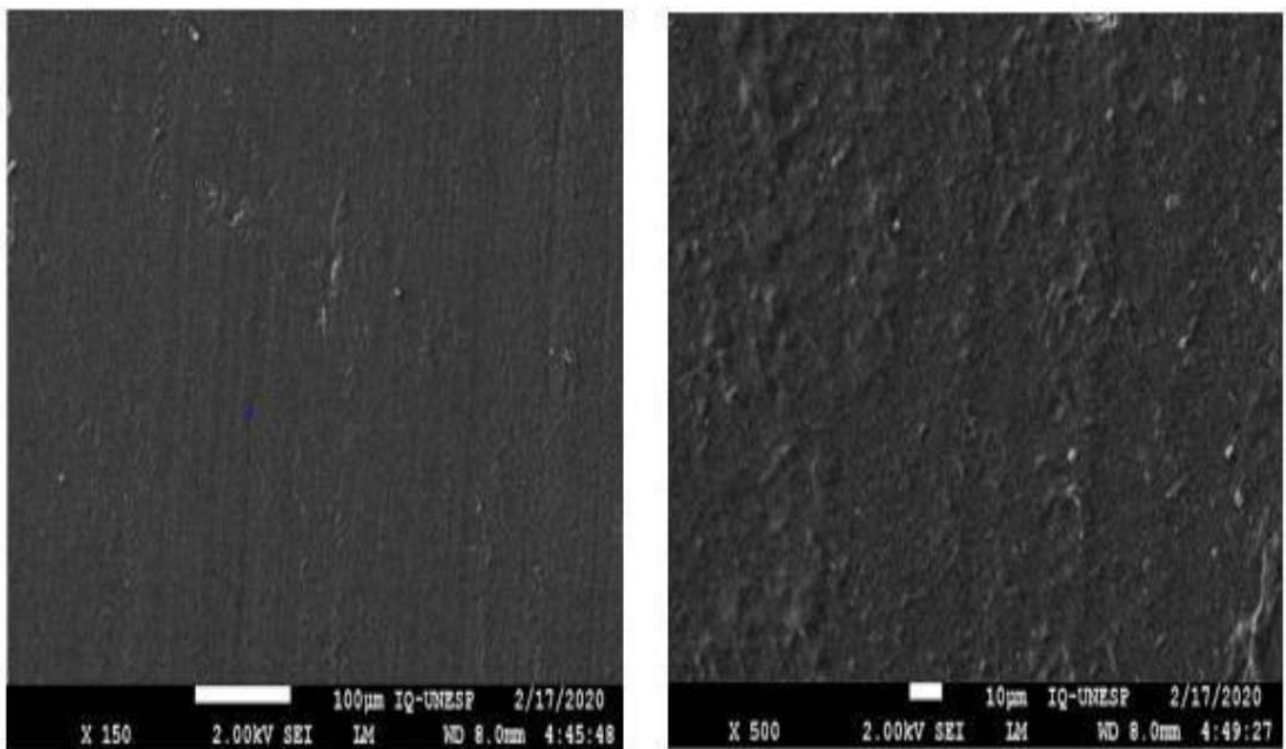


Figura 14-Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para filmes de látex com ampliações de 150 e 500x.

A figura 13 apresenta análises feitas com ampliações de 2000 x, onde observa-se uma superfície lisa, possivelmente devido à placa de prete onde a amostra foi depositada para secagem. Também é possível notar as camadas e subcamadas que compõem o filme de látex sem a presença de fissuras ou sulcos.

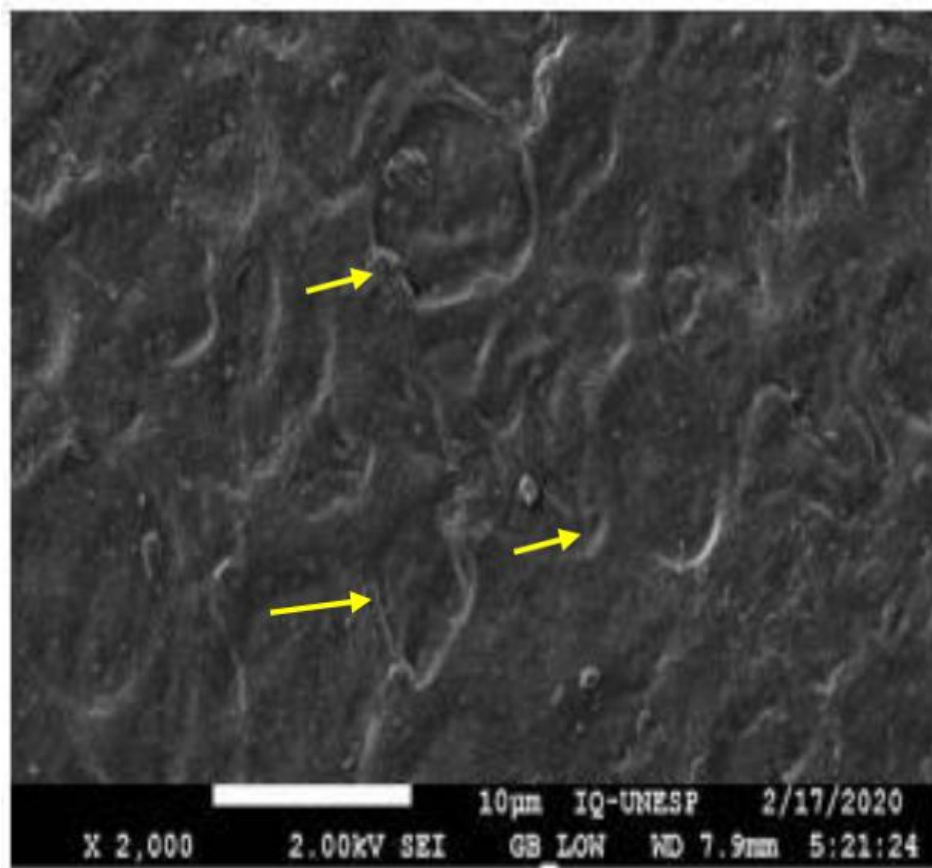


Figura 15-Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para filmes de látex com ampliação de 2000 x.

OLIVEIRA; CORREIA; VALERA, 2016 realizaram a caracterização da borracha natural por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e descreveram o material como tendo uma matriz contínua, enquanto os compósitos apresentam fases dispersas.

A morfologia dos filmes de TPS também foi investigada utilizando MEV, revelando a presença de superfícies com microbolhas e fissuras, frequentemente referidas como "sulcos" por diversos pesquisadores. Essas deformidades tornam o material frágil em relação à deformação e à tração. As microscopias dos filmes de TPS podem ser observadas na figura 14 correspondente.

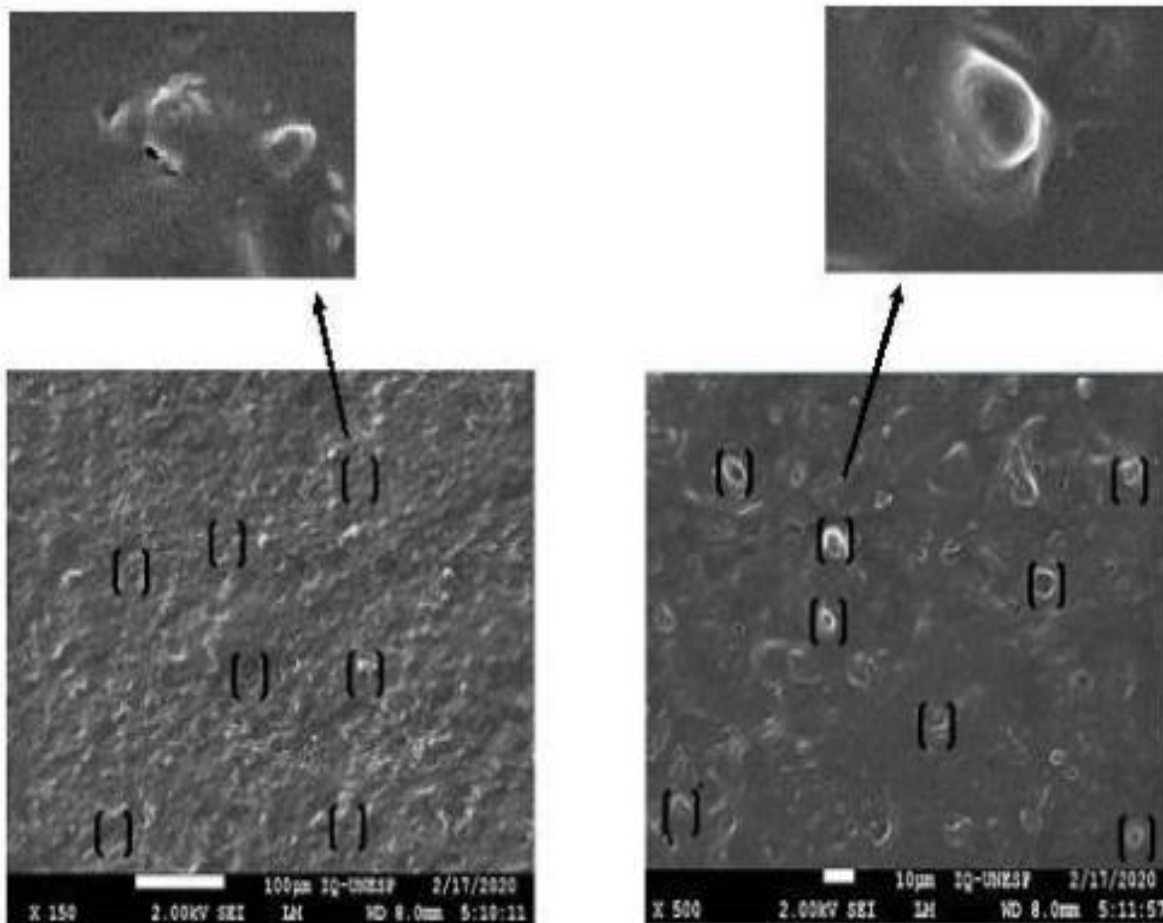


Figura 16 -Microscopia eletrônica de varredura para amostras de filmes de TPS a 150 e 500 x

Um aspecto positivo a ser destacado nas imagens do TPS é a completa gelatinização do amido, evidenciando a eficiência da técnica de "casting" com agitador próprio em comparação ao uso do agitador misturador magnético convencional. Nesse sentido, todo o amido foi gelatinizado, não deixando fragmentos de amido puro no filme.

Na literatura filmes biodegradáveis de amido foram preparados utilizando pó de bambu como compósito. Os autores observaram por meio de microscopia eletrônica de varredura que os grãos de amido não foram completamente solubilizados na solução (SANTOS, 2014). Deste modo, a presença de grânulos de amido nos filmes que não foram gelatinizados acabaram influenciando negativamente as propriedades mecânicas do TPS.

Os sulcos foram previamente descritos na literatura (BLAZEK, 2012), durante o estudo de blendas, onde se observou a presença de "espaços vazios" semelhantes aos encontrados nas micrografias do presente trabalho, o que pode ser atribuído a uma separação de fases entre as matrizes poliméricas.

Outros autores também identificaram sulcos em suas amostras de filmes, descrevendo relevos e sulcos como microbolhas provenientes do processo de gelatinização (WU et al., 2009; GOMIDE; CARLOS, 2017).

As microbolhas foram atribuídas à presença de vapor de água na estrutura do material inicial.

As micrografias das blendas apresentam uma diferença significativa em relação às amostras de látex e TPS. Nas blendas contendo 0,2% de látex (Figura 15), é possível observar vestígios de microbolhas, semelhantes às encontradas no TPS, porém em menor intensidade e com diâmetros maiores.

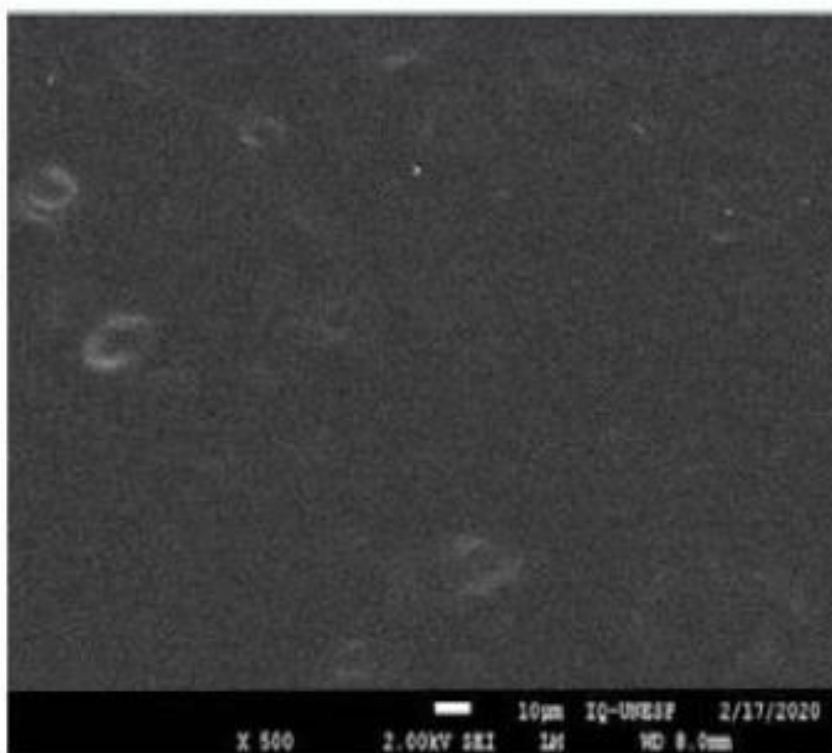


Figura 17-Microscopia eletrônica de varredura para amostras de blendas com 0,2 % de látex com aumento de 500 x

Isso pode ser interpretado como resultado da menor quantidade de látex utilizado. Essas microbolhas são descritas como "falhas" entre as cadeias poliméricas que

compõem o material, e com a menor quantidade de látex, essas falhas tendem a se reforçar mais no lado onde o látex está presente e se distanciar mais do lado oposto, resultando em microbolhas maiores.

À medida que aumentamos o percentual de látex na formulação, observamos uma diminuição nas microbolhas presentes. Essas microbolhas podem ser resultado da quantidade limitada de látex utilizado, o que sugere que as cadeias poliméricas que compõem as amostras não estão completamente aderidas ao látex devido à pequena quantidade empregada durante a síntese. Esse fenômeno, caracterizado por espaços vazios entre as "teias" das cadeias poliméricas, já foi descrito na literatura. Além disso, a evaporação do solvente presente também pode contribuir para a formação dessas microbolhas remanescentes, enfraquecendo o material.

Dentre todas as amostras, aquela contendo 0,5% de látex mostrou-se a mais promissora, apresentando uma resistência significativamente maior. Isso pode ser atribuído à maior homogeneização do latex no TPS, conferindo-lhe maior resistência e evitando sua fragilidade. A Figura 16 exibe a micrografia da blenda TPS/látex contendo 0,5% de látex.

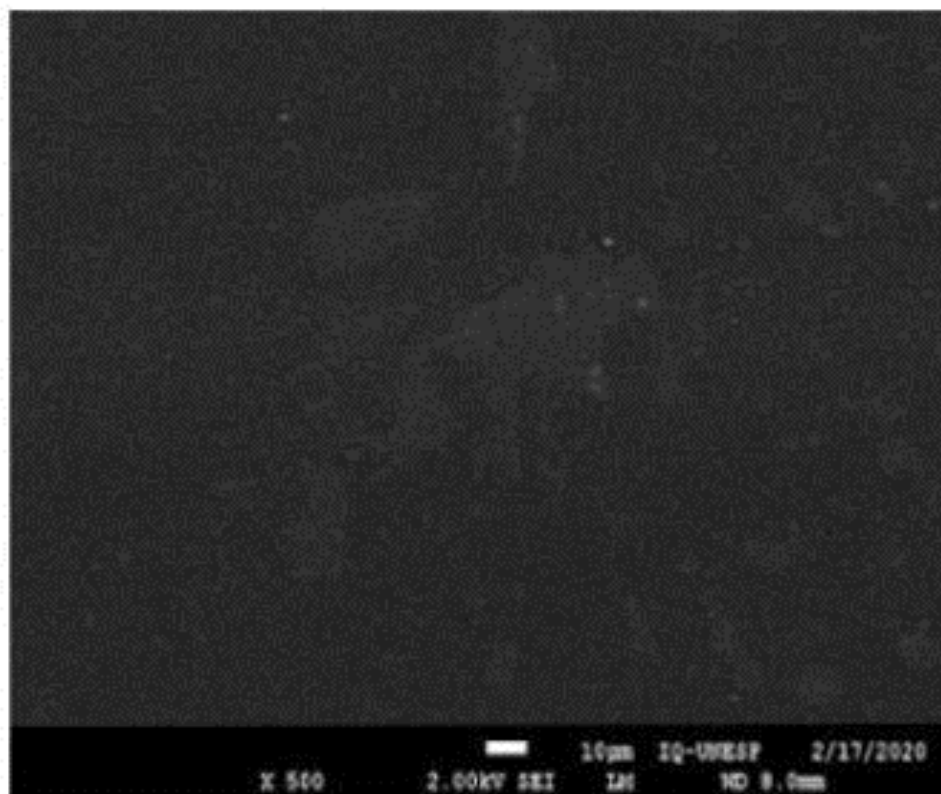


Figura 18- Microscopia eletrônica de varredura para amostras de blendas com 0,5 % de látex com aumento de 500 x

Não são observadas fissuras do tipo "sulcos" nesta amostra. Isso sugere que a quantidade de látex utilizada teve uma influência direta nessa situação, de alguma forma fechando os sulcos e conferindo ao material uma superfície mais lisa. Na amostra contendo 50% de látex (Figura 17), é novamente observado o aparecimento de várias microbolhas. Essas microbolhas têm sido identificadas em concentrações acima de 50% de látex, e à medida que a concentração de látex nas amostras aumenta, proporcionalmente aumenta a quantidade de microbolhas e látex aglutinado, resultando em uma considerável redução na resistência à tração.

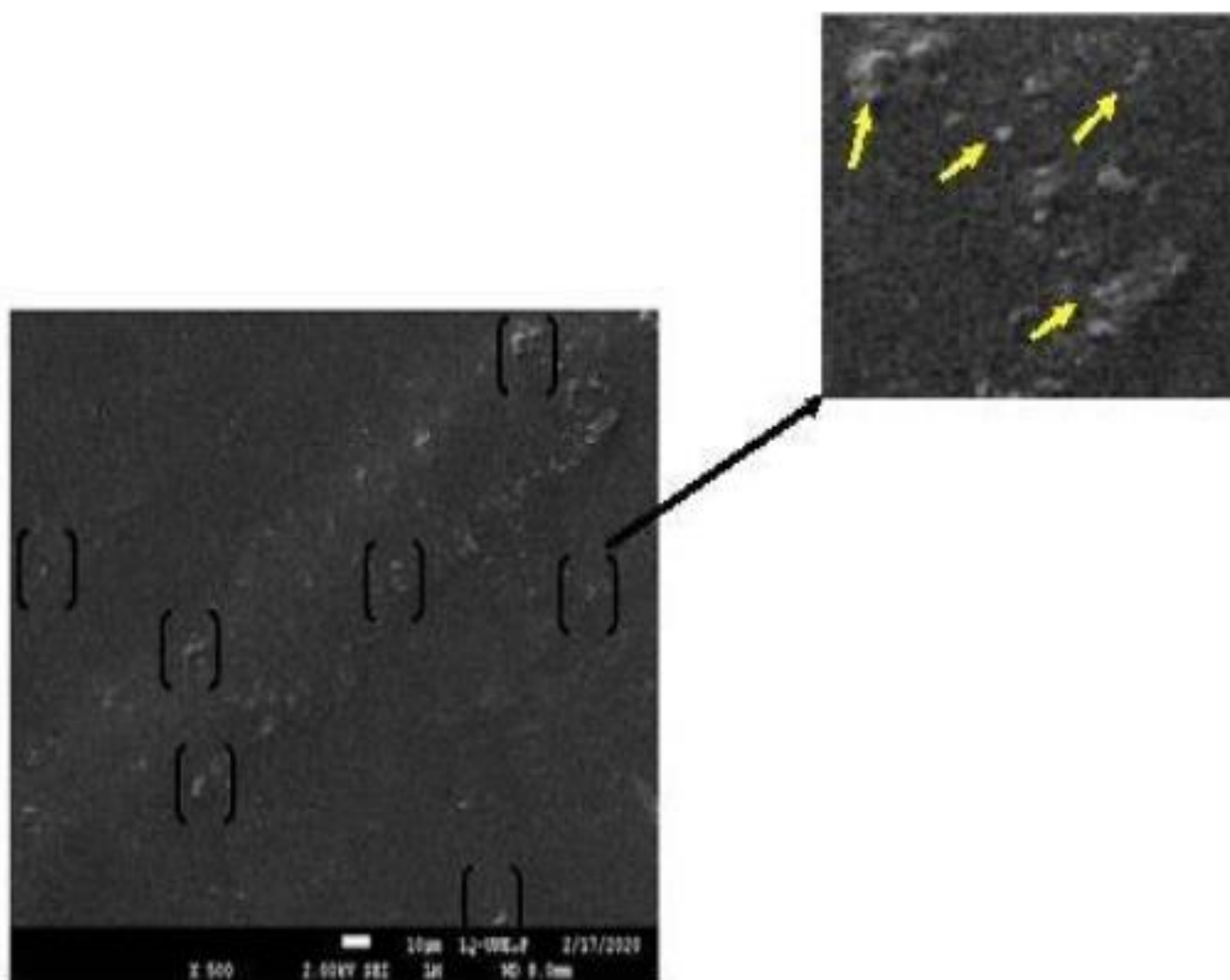


Figura 19- Microscopia eletrônica de varredura para amostras de blendas com 50 % de látex com aumento de 500 x

É importante salientar que o aumento do volume da solução contendo látex também eleva a quantidade de amônia, que pelo fato de ser volátil pode ter contribuído para o aumento do número de bolhas no filme.

Também pode-se deduzir que a adição de látex durante o processo de formação do TPS resultou em uma maior aglomeração das cadeias, o que levou à retenção de um maior número de microbolhas e enfraquecimento do material final. Além disso, observam-se pontos brancos nas amostras com essa concentração de látex, indicados pelas setas amarelas, podem ser resultantes de partículas de borracha que coagularam mais rapidamente e não se homogeneizaram na solução, o que pode ser atribuído à alta concentração de látex empregada nessa amostra.

CAPÍTULO 5

APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

5-APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS E BIODEGRADABILIDADE

Um ramo com grande potencial para a aplicação dos biopolímeros desenvolvidos nesta dissertação é a agricultura, especialmente como sacos para germinação de sementes de plantas destinadas ao replantio. Esses sacos são biodegradáveis e podem ser diretamente colocados no solo junto com a planta. A rápida degradação do filme não causa danos ao meio ambiente e ainda serve como material de reserva adicional para as plantas devido à presença de amido. O material desenvolvido é decomposto por húmus e bactérias naturais presentes no solo. Quando em contato com a água, o filme não se dissolve, permitindo a rega por longos períodos de tempo, até que a planta esteja pronta para ser replantada em um solo definitivo ou em um vaso. A figura 18 ilustra imagens de sacos plásticos convencionais e biodegradáveis, enquanto a figura 19 apresenta imagens de sacos plásticos já contendo plantas (sacos plásticos convencionais e biodegradáveis). Após 30 dias, pode-se observar que as raízes das plantas colocadas diretamente no solo contido no vaso com o saco biodegradável estão fortes e ultrapassaram o plástico biodegradável (figura 20). As figuras 21, 22 e 23 demonstram a evolução das plantas ao longo do tempo e a degradabilidade do amido termoplástico utilizado como vaso germinativo. Além da aplicação na agricultura, o material obtido nesta dissertação também possui outras aplicações interessantes, como embalagens descartáveis, toalhas descartáveis, filmes para proteção de alimentos, entre outras.



Figura 20- Imagem mine sacos convencionais (preto) e biodegradável (amarelo)



Figura 21- Imagem mini sacos convencionais (preto) e biodegradável (amarelo) contendo plantas.



Figura 22- Imagem das plantas no dia 1º e após 30º dia



Figura 23- Imagem das raízes de plantas colocadas em vaso: diretamente com bioplásticos



Figura 24- Imagens das raízes de plantas colocadas em vaso com bioplásticos e sua degradabilidade após 30 dias



Figura 25- Imagens das raízes de plantas e suas evoluções com e sem bioplásticos

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

6.0- CONCLUSÃO

A síntese do TPS normalmente envolve a adição de ácido seguida de neutralização com uma base. No entanto, neste estudo, o TPS foi produzido sem a adição de ácidos, mas na presença de glicerol. Os resultados experimentais demonstraram que o uso de ácido não é necessário quando se empregam temperaturas mais elevadas e um agitador tipo hélice de maior potência. Devido à alta viscosidade do TPS, mesmo em temperaturas elevadas, não foi possível obter uma mistura adequada utilizando um agitador magnético convencional. Isso afeta diretamente o resultado final da síntese, tornando o material mais frágil em termos de resistência à tração e alongação.

Nos testes de tração, foi observada uma menor resistência mecânica e elasticidade no TPS em comparação com as blendas contendo 0,2% e 0,5% de látex. Por outro lado, a blenda com 50% de látex mostrou melhor elasticidade, mas teve sua força de tração comprometida. É evidente que a incorporação de látex nas blendas modificou significativamente as propriedades mecânicas das amostras. Em geral, as blendas com até 0,5% de látex apresentaram valores muito maiores de resistência à tração em comparação com o TPS, demais blendas e o látex puro. Por meio de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), pôde-se observar por que a blenda com 0,5% de látex se destacou nos testes de tração em comparação com as outras amostras devido a menor quantidade de microbolhas formadas na estrutura. Deste modo, atribuiu-se as microbolhas (ou microfissuras) aos pontos de ruptura das amostras.

CAPÍTULO 7
REFERÊNCIAS

7.0-REFERÊNCIAS

1 milhão de garrafas plásticas são vendidas a cada minuto | Exame.

Disponível em: <<https://exame.com/economia/1-milhao-de-garrafas-plasticas-sao-vendidas-a-cada-minuto-no-mudo/>>. Acesso em: 8 maio. 2023.

AGREBI, F. et al. Study of nanocomposites based on cellulose nanoparticles and natural rubber latex by ATR/FTIR spectroscopy: The impact of reinforcement. **Polymer Composites**, v. 40, n. 5, p. 2076–2087, 1 maio 2019.

ALTAYAN, M. M.; AL DAROUICH, T. Toward reducing the food packaging waste impact: a study on the effect of Starch type and PE type in thermoplastic starch-polyethylene blends. **Chemical Papers**, v. 76, n. 4, p. 2447–2457, 1 abr. 2022.

ALTAYAN, M. M.; AL DAROUICH, T.; KARABET, F. Thermoplastic starch from corn and wheat: a comparative study based on amylose content. **Polymer Bulletin**, v. 78, n. 6, p. 3131–3147, 1 jun. 2021.

ARAÚJO, B. A. et al. The application of biodegradable polymers as a sustainable alternative. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e49010918248–e49010918248, 31 jul. 2021.

BENGOECHEA, C. et al. Mechanical Behavior of Thermoplastic Starch: Rationale for the Temperature-Relative Humidity Equivalence. **mdpi.com**, 2022.

BLAZEK, G. R. **Estudo da blenda poli(3-hidroxibutirato) / poli(etileno glicol)**. São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 16 dez. 2012.

Brasil assume o compromisso de recuperar 50% de todas as embalagens

plásticas produzidas. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/12/brasil-assume-o-compromisso-de-recuperar-50-de-todas-as-embalagens-plasticas-produzidas>>. Acesso em: 8 maio. 2023.

BRISTON, J. H. (JOHN H.); KATAN, L. L. *Plastics films*. 1986.

CHA, D. S.; CHINNAN, M. S. Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 223–237, 2004.

CHAMAS, A. et al. Degradation Rates of Plastics in the Environment. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 8, n. 9, p. 3494–3511, 9 mar. 2020.

CHEN, X. et al. Effect of different compatibilizers on the mechanical and thermal properties of starch/polypropylene blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 17, 5 maio 2016.

CORRIGIDA, V.; CESAR, G.; PIRASSUNUNGA, D. Estudo das alterações na microestrutura de partículas de amido de milho em processos de granulação. 2015.

CURVELO, A. A. S.; DE CARVALHO, A. J. F.; AGNELLI, J. A. M. Thermoplastic starch–cellulosic fibers composites: preliminary results. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 2, p. 183–188, 1 jun. 2001.

CHA, D. S.; CHINNAN, M. S. Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 223–237, 2004.

D412 Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension.

D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

DENARDIN, C.; CIÊNCIA RURAL. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **SciELO Brasil**, v.39; n.3; p.945-954.

DIYANA, Z. N. et al. Green nanocomposites based on thermoplastic starch: A review. **mdpi.com**, 2021a.

DIYANA, Z. N. et al. Physical properties of thermoplastic starch derived from natural resources and its blends: A review. **mdpi.com**, 2021b.

FASIHI, M.; RASOULI, S. Microstructural and Physical Properties of Thermoplastic Corn Starch/Polystyrene Blend Foams Affected by Different Contents and Combinations of Plasticizers. **Journal**

FORUM, I. A.-W. E.. The new plastics economy rethinking the future of plastics. **greenpeace.org**, 2016.

GOMES' JOSÉ, J. I.; ALBUQUERQUE', M. **Capítulo 1 Características Botânicas do Gênero Hevea.**
https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/395217/1/Caracteristica_sbotanicas.pdf (acesso em 10/04/2022)

GOMIDE, C.; CARLOS, O. S. **Preparação, caracterização e otimização de biocompósitos poliméricos comestíveis reforçados com fibras vegetais.** São Carlos: Tese Universidade Federal de São Carlos, 19 maio 2017.

JONES, O. G.; MCCLEMENTS, D. J. Functional biopolymer particles: Design, fabrication, and applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 4, p. 374–397, ago. 2010.

KHAN, B. et al. Thermoplastic starch: A possible biodegradable food packaging material—A review. **Wiley Online Library**, v. 40, n. 3, 1 jun. 2016.

KIART-MILLER, B. et al. Thermoplastic Starch: A Possible Biodegradable Food

Packaging Material—A Review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, p. e12447, 1 jun. 2017.

KIZIL, R.; IRUDAYARAJ, J.; SEETHARAMAN, K. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 14, p. 3912–3918, 3 jul. 2002.

LA MANTIA, F. P.; MORREALE, M. Green composites: A brief review. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 42, n. 6, p. 579–588, 1 jun. 2011.

LINCON, D.; AGOSTINI, S.; JOB, A. E. “CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DO LÁTEX E DA BORRACHA NATURAL QUE ESTIMULAM A ANGIOGÊNESE”. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências de Bauru, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/94503>>.

MAHIEU, A. et al. Thermoplastic starch and poly(ϵ -caprolactone) blends: Morphology and mechanical properties as a function of relative humidity. **Journal of Polymer Research**, v. 20, n. 9, 1 set. 2013.

MAIZ DA SILVA, J. et al. Sustentabilidade econômica e ambiental na agricultura familiar: um estudo de caso sobre a rentabilidade do cultivo da seringa em Denise-MT/ Economic and environmental sustainability in family agriculture: a case study on the profitability of syringe cult. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 16340–16355, fev. 2021.

MELIGI, G. A. et al. Degradation of polypropylene and polyprop/starch blends of talk from sustainability. **Polymers and Polymer Composites**, v. 17, n. 4, p. 265–272, 2009.

MILES, M. et al. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Elsevier**, v. 135, p. 271–281, 1985.

MITRUS, M.; WOJTOWICZ, A.; MOSCICKI, L. Biodegradable Polymers and Their Practical Utility. In: **Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries**. 2009. p. 1–33.

MOAD, G. Chemical modification of starch by reactive extrusion. **Progress in Polymer Science**, v. 36, n. 2, p. 218–237, 1 fev. 2011.

MOCHANE, M. J. et al. The effect of filler localization on the properties of biopolymer blends, recent advances: A review. **Wiley Online Library**, v. 41, n. 7, p. 2958–2979, 1 jul. 2020.

MONTILLA-BUITRAGO, C. E. et al. Effect of Plasticizers on Properties, Retrogradation, and Processing of Extrusion-Obtained Thermoplastic Starch: A Review. **Starch - Stärke**, v. 73, n. 9–10, p. 2100060, 1 set. 2021.

MAIZ DA SILVA, J. et al. Sustentabilidade econômica e ambiental na agricultura familiar: um estudo de caso sobre a rentabilidade do cultivo da seringa em Denise-MT/ Economic and environmental sustainability in family agriculture: a case study on the profitability of syringe cult. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 16340–16355, fev. 2021.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Composites of thermoplastic starch and nanoclays produced by extrusion and thermopressing. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 2, p. 504–510, 20 jun. 2012.

NAGARAJA, S.; COMPOSITES, P. B. A. Effect of aging on the biopolymer composites: Mechanisms, modes and characterization. **Wiley Online Library**, v. 43, n. 7, p. 4115–4125, 1 jul. 2022.

MUOUNG, D. E; . et al. Effect of Plasticizers on Properties, Retrogradation,

and Processing of Extrusion-Obtained Thermoplastic

Starch: A Review. **Starch - Stärke**, v. 73, n. 9–10, p. 2100060, 1 set. 2021.

OLIVEIRA, L. M.; CORREIA, C. A. ;; VALERA, T. S. **Caracterização do nanocompósito de borracha natural e nanocelulose**. Associação Brasileira de Cerâmica, Anais. **Anais...2016**. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/002799107>>. Acesso em: 12 jul. 2023

OTÁVIO DONIZETTE MALAFATTI, J. et al. Propriedades mecânicas de filmes de amido termoplástico na presença de ureia. **uezo.rj.gov.br**, 2021.

PEDRO, J.; NUNES DA COSTA, F. Bioplásticos compostáveis na Economia Circular. 2018.

RIPPEL, M. M. **Caracterização microestrutural de filmes e partículas de latex de borracha natural**. Campinas: Tese, Unicamp, jun. 2005.

RIPPEL, M. M.; GALEMBECK, F. Nanostructures and adhesion in natural rubber: new era for a classic. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, 2009.

RIVADENEIRA-VELASCO, K. E. et al. Green nanocomposites based on thermoplastic starch: A review. **mdpi.com**, 2021.

ROUF, T.; SCIENCE, J. K.-J. OF M.; Biodegradable biopolymer–graphene nanocomposites. **Springer**, v. 51, n. 22, p. 9915–9945, 1 nov. 2016.

SADASIVUNI, K. K. et al. Recent advances in mechanical properties of biopolymer composites: a review. **Polymer Composites**, v. 41, n., 1 jan. 2020.

SANTOS, L. C. G. D. S. **DESENVOLVIMENTO DE BIOCAMPÓSITOS À BASE DE AMIDO DE MANDIOCA E BAMBU EM PÓ COM POTENCIAL**

PARA A INDÚSTRIA DE EMBALAGENS. Dissertação: BH: CEFET, 2014.

SCHIFFMAN, J. D.; SCHAUER, C. L. A review: Electrospinning of biopolymer nanofibers and their applications. **Polymer Reviews**, v. 48, n. 2, p. 31, abr. 2008.

SHAIKH, S.; YAQOOB, M.; AGGARWAL, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **Current Research in Food Science**, v. 4, jan. 2021.

SHAXSON, L. Structuring policy problems for plastics, the environment and human health: reflections from the UK. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2141–2151, 2009.

SHUBHRA, Q.; MATERIALS, A. A.-... COMPOSITE. Mechanical properties of polypropylene composites: A review. **journals.sagepub.com**, v. 26, n. 3, 2013.

ST-PIERRE, N. et al. Processing and characterization of thermoplastic starch/polyethylene blends. **Elsevier**, v. 38, n. 3, p. 647–655, 1997.

STAGNER, J. et al. Thermoplasticization of High Amylose Starch by Chemical Modification Using Reactive Extrusion. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 19, n. 3, p. 589–597, 2011.

TANG, X. Z. et al. Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 52, n. 5, p. 426–442, maio 2012.

THIOUNN, T.; SMITH, R. C. Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. **Journal of Polymer Science**, v. 58, n. 10, p. 1347–1364, 2020.

VIEIRA, M. G. A. et al. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. **European Polymer Journal**, v. 47, n. 3, p. 254–263, mar. 2011.

WANG, L.; CHEM, P. W.-C.; 1994,. Structure and properties of amylose, amylopectin. **cerealsgrains.org**,

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Food Science and Technology**, dez. 2009.

WU, H. et al. Structure and properties of starch/ α -zirconium phosphate nanocomposite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, n. 2, p. 358–364, 2009.

XIE, F. et al. Thermoplastic starch. **wrap.warwick.ac.uk**, v. 2, n. 2, 2014.

ZABIHI, A. et al. Microstructural and physical properties of thermoplastic corn starch/polystyrene blend foams affected by starch different contents and combinations of plasticizers, and composition. **Springer**, pag. 187 a 196, 2021.

ZABIHI, A.; FASIHI, M.; RASOULI, S. Microstructural and Physical Properties of Thermoplastic Corn Starch/Polystyrene Blend Foams Affected by Different Contents and Combinations of Plasticizers. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, n. 4, p. 1491–1501, 1 abr. 2022..

ZHANG, Y.; REMPEL, C.; LIU, Q. Thermoplastic Starch Processing and Characteristics-A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 10, p. 1353–1370, 2014.

ZHOU, X. Y. et al. Effect of a complex plasticizer on the structure and

properties of the thermoplastic PVA/starch blends. **Polymer - Plastics Technology and Engineering**, v. 48, n. 5, p. 489–495, 2009.

Zoneamento pedoclimático para a seringueira Estado do Acre. - Portal Embrapa.