

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
ENGENHARIA DE MATERIAIS

MILENA PENAFORTE FERNANDES

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE KEFIR PARA PRODUÇÃO DE UM
FILME POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL

BELO HORIZONTE

2022

MILENA PENAFORTE FERNANDES

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE KEFIR PARA PRODUÇÃO DE UM FILME
POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo dos Santos.
Coorientadora: Prof. Dra. Rosiane Resende Leite.

BELO HORIZONTE

2022

MILENA PENAFORTE FERNANDES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE KEFIR PARA PRODUÇÃO FILME
POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em: 22/06/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Paulo dos Santos, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof.(a) Dra. Rosiane Resende Leite, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Sidney Nicodemos da Silva, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dra. Mayra Aparecida Nascimento, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Dedico esse trabalho à minha mãe que me inspirou em cada dia para chegar até aqui e me desviou de cada pensamento que pudesse me fazer desistir. Da mesma forma, ao meu marido que me apoiou e incentivou a todo momento. Dedico ainda, aos meus irmãos que sempre compartilharam desse sonho comigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a minha mãe Mariza, que sempre cuidou para que eu pudesse estar onde estou agora, que foi minha fonte de inspiração, que me conduziu até os dias de hoje e não deixará de fazê-lo por toda vida. Obrigada pelas conversas, pela sinceridade, pela amizade por todo amor e carinho de sempre. Obrigada por ser aquela que está sempre presente e faz questão de nos oferecer o melhor de si, tudo o que tem e ainda tentar ofertar o que não tem!

Agradeço a toda minha família, meus irmãos: Marcela, Marlon e Müller, que compartilham dessa caminhada, que viveram esse sonho por mim também. Ao meu padrasto Silvestre que foi grande exemplo pra nós e incentivo.

Agradeço muito ao meu marido Rodolpho que mediou meu caminho até aqui e se manteve ao meu lado me ajudando me apoiando, sendo meu grande amigo e companheiro.

Agradeço ainda, aos meus professores que estiveram comigo me ajudando nessa reta final, professor João Paulo dos Santos, sempre muito acessível e com muita positividade para me impulsionar a seguir em frente com esse projeto, a professora Rosiane Resende Leite, que também esteve sempre disposta a ajudar e desenvolvemos um trabalho muito bom juntas.

Agradeço o tempo que passei no CEFET, esse tempo me ajudou a crescer e aprimorar meus conhecimentos bem como trouxe para a minha vida pessoas que vou levar pra sempre, meus grandes e queridos amigos: Renato, Mariana e Daniela. E quantos colegas que me ajudaram e tornaram meus dias de sufoco dias mais leves!

Por fim, quero deixar meu agradecimento ao CEFET-MG, por dar o suporte que precisamos, por oferecer qualidade no ensino e colaborar com a formação de cada estudante.

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente tem ganhado cada dia mais espaço no cotidiano de todas as pessoas englobando empresas e grandes corporações. Dentre as preocupações, destacam-se os plásticos que são em sua maioria provenientes de petróleo e de lenta degradação. Este trabalho se propõe a criar uma nova forma de fabricação de filme utilizando fonte natural de modo que ele seja biodegradável. Para isso, a proposta foi avaliar um filme feito a partir do kefir, que é um alimento probiótico e tem sido estudado por possuir vários benefícios, por exemplo, por apresentar poderes antimicrobianos, antifungos e antitumorais, além de acarretar benefícios ao sistema digestivo e imunológico. Além disso, o kefir é formado por uma matriz de polissacarídeo solúvel e ele pode ser obtido por meio de atividades metabólicas desenvolvidas por bactérias e fungos. A avaliação consistiu em verificar suas propriedades de biodegradação e capacidade de formação de um filme que seja adequado ao uso e que tenha boas propriedades. Para isso, realizou-se formulações de filme com kefir e sem kefir, para fins de comparação, submetendo as amostras a secagem em estufa, ensaio de biodegradação em solo, verificação do teor de umidade e ainda uma análise em Calorimetria Diferencial de Varredura – DSC, para que fossem comparadas algumas propriedades do filme comercial com os filmes que foram produzidos. Objetivou-se que o filme feito a partir da formulação contendo apenas kefir apresentasse as melhores propriedades. Os resultados obtidos mostram que as principais características requisitadas ao longo desse trabalho que foram capacidade de formação de filme, propriedade de biodegradação, fácil processabilidade e aproximação das propriedades do filme comercial em termos de temperatura de transição vítrea – T_g , e temperatura de cristalização – T_c , foram alcançadas pela formulação mais visada, que foi a formulação contendo apenas kefir, uma vez que as outras formulações apresentaram um filme rígido de difícil manuseio, impossibilitando sua utilização para este fim.

Palavras chave: Filme polimérico biodegradável, kefir, biodegradação.

ABSTRACT

The concern about the environment have been reaching more spaces in daily life, involving people, companies and big corporations. Between them we can highlight the plastics that are made mostly with petroleum and it has a long degradation time. This job proposes to create a new way to produce films using natural source trying to get a biodegradable film. So, the purpose was to evaluate a film made from kefir, that is a probiotic food and has been studied because it has benefits such as antimicrobials, antifungal and antitumor powers. Besides this, kefir is formed by a soluble polysaccharide matrix and it can be obtained by metabolic activities developed by bacteria and fungi. The evaluation consisted in verify the properties of biodegradation and the capacity of film formation that can be suitable to be used and that has great properties. To do that, formulations were made using kefir and not using it to be compared. The samples was submitted to kiln drying, soil biodegradation test, verification of the moisture content and an analysis in Differential Scanning Calorimetry – DSC, so all samples could be compared in terms of some properties of the commercial film with the produced ones. The goal was that the produced film containing only kefir was the one to have the best properties. The results shown that the main properties required in this job that were: capacity of film formation, biodegradation property, easy processability and properties close to the commercial film in terms of glass transition temperature – T_g , and crystallization temperature – T_c , were reached by the most important formulation, the one that contains only kefir, once the others has presented a film rigid and hard to manipulate, making them impossible to be used as a film.

Key words: Biodegradable polymeric film, kefir, biodegradation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo geral.....	10
2.2	Objetivos específicos.....	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	Biopolímeros	11
3.2	Filmes poliméricos	12
3.3	Biodegradação.....	13
3.4	Kefir	15
3.5	Plastificante	15
3.6	Métodos de processamento dos biofilmes.....	16
3.7	Caracterização dos biofilmes.....	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1	Materiais.....	20
4.2	Métodos	20
4.3	Etapa 1: Cultivo do Kefir.....	21
4.4	Etapa 2: Elaboração do biopolímero	23
4.5	Etapa 3: caracterização do material polimérico	25
4.5.1.	Ensaio de biodegradação.....	25
4.5.2.	Teor de umidade	25
4.5.3.	DSC	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Resultado do ensaio de biodegradação	27
5.2	Resultado do ensaio do Teor de umidade.....	28
5.3	Resultados do ensaio de DSC.....	30
6	CONCLUSÃO	33

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem crescido ao longo dos anos e dentre elas encontra-se a preocupação com o uso e descarte de materiais que requerem anos para se degradar, como é o caso daqueles derivados do petróleo e dentre eles encontram-se alguns tipos de polímeros (ALCÂNTARA e MENDES, 2018). Os produtos fabricados com uso de polímeros, em específico os plásticos, tornaram-se parte do cotidiano da população e aproximadamente 40% desse consumo são materiais de uso único e seu descarte inadequado é praticamente imediato. Dentre esses produtos pode-se notar a presença de canudos, sacolas e copinhos de café e água (D'AGOSTIN *et al.*, 2021). Esses produtos descartados na natureza se acumulam pelos aterros sanitários gerando problemas ambientais consideráveis (BRITO *et al.*, 2011). A utilização de plásticos se torna muito versátil por fatores como: ser um material de baixo custo, fácil processamento, alta aplicabilidade e durabilidade. O principal agravante está associado a sua durabilidade (PATZER, 2013), uma vez que polímeros derivados de petróleo são muito resistentes a degradação natural quando descartados no meio ambiente (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006). Por isso, emerge na sociedade a necessidade de se obter materiais que sejam igualmente versáteis de modo que eles possam continuar no cotidiano sendo menos agressivos (ALCÂNTARA e MENDES, 2018). Nesse contexto surgem os biopolímeros.

Nesse sentido, esse Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, visa produzir um material polimérico biodegradável a partir do kefir. Os grãos do kefir são apontados como uma associação simbiótica de leveduras, bactérias ácido-láticas e bactérias ácido-acéticas, envolvidas por uma matriz de polissacarídeos chamados de Kefiran, apresentando diâmetro entre 0,5 a 3,5 cm, forma irregular (WESCHENFELDER, 2011 *apud* Santos et al, 2012). Ele é um alimento fermentado resultante da dupla fermentação do leite pelos grãos de kefir, que resulta na produção de um alimento rico em ácidos láctico, acético e glicônico; álcool etílico, gás carbônico, vitamina B12 e polissacarídeos (WESCHENFELDER et al, 2011). Com isso, objetiva-se obter um material polimérico biodegradável de modo que ele possa ser menos agressivo ao meio ambiente e produzido de modo que apresente baixo custo, tenha as mesmas propriedades do polímero já comercializado e inclusive que seja biodegradável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade do uso de kefir na produção de um material polimérico biodegradável.

2.2 Objetivos específicos

Desenvolver formulações de biopolímeros utilizando diferentes proporções do kefir;

Preparar diferentes amostras dos biopolímeros a fim de compará-los de acordo com os resultados obtidos em cada ensaio proposto;

Realizar ensaios de biodegradação, teor de umidade e Calorimetria Diferencial de Varredura – DSC, para verificar as características do biopolímero obtido em cada amostra;

Avaliar qual a melhor formulação para a produção de um material polimérico biodegradável que apresente consistência plástica a partir do kefir.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O cotidiano da população em geral, fez emergir uma necessidade de materiais muito duráveis e economicamente viáveis. Nesse sentido, o mercado para os polímeros ganha destaque por ter uma variedade grande de aplicações, versatilidade no uso e preço. A consequência dessa praticidade é refletida na natureza, uma vez que a maioria desses materiais após o uso, são descartados gerando acúmulos no meio ambiente (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

Ao longo dos anos é notável o aumento da preocupação com o meio ambiente. Dentre elas, estão as preocupações com o uso e descarte de materiais que levam anos para degradarem na natureza e dentre esses, encontram-se os produtos que são derivados do petróleo, como é o caso de alguns polímeros (ALCÂNTARA e MENDES, 2018). Polímeros derivados de petróleo são muito resistentes a degradação natural quando descartados no meio ambiente (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006). Dada a importância e preocupação ambiental, estudos com alternativas menos agressivas ao meio ambiente tem ganhado destaque, dentre elas os biopolímeros (ALCÂNTARA e MENDES, 2018). Nesse sentido, diversos estudos tem sido desenvolvidos para promoção desses materiais no nosso cotidiano.

A biodegradação é uma modificação física ou química, que é causada pela ação de microrganismos quando submetidos a condições específicas – calor, umidade, luz, oxigênio e nutrientes orgânicos e minerais adequados (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006). O uso de polímeros biodegradáveis podem ser promissores para a redução de resíduos plásticos persistentes no meio ambiente (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006). Por isso, nesse TCC o estudo visa elaborar um filme polimérico que seja biodegradável a partir do kefir.

O kefir é um polissacarídeo que tem atividades metabólicas desenvolvidas pela ação de um conglomerado simbiótico formado por bactérias e fungos dada pela fermentação do leite (STIVAL, 2009).

Foi realizado o processamento desse filme polimérico bem como estudos para avaliar a eficácia no desenvolvimento da sua função através da caracterização do filme polimérico produzido. O referencial teórico a seguir tem objetivo de auxiliar na compreensão dos principais termos envolvidos para desenvolvimento do filme polimérico proposto.

3.1 Biopolímeros

Biopolímeros podem assumir dois significados: o primeiro seria polímeros biologicamente ativos, como as proteínas, e o segundo, seria polímeros sintéticos utilizados em aplicações biológicas ou biomédicas, como o silicone e o teflon (CARNEVALORO, 2006).

Os biopolímeros podem ser classificados em termos da sua biodegradabilidade – biodegradável ou não; pela sua origem, podendo ser classificados como materiais produzidos a partir de fontes naturais e de combustíveis fósseis; classificados pela sua composição – misturas, laminados e compósitos; e ainda, podem ser classificados com base na sua condição térmica: elastômeros, termoplásticos e termorígidos. O critério predominante de sua classificação é pela fonte da matéria-prima, sendo biopolímeros naturais, sintéticos ou microbianos (UDAYAKUMAR *et al.*, 2021).

Os biopolímeros possuem propriedades exclusivas como impermeabilidade ao oxigênio, biodegradabilidade, capacidade de retenção de água, propriedades antimicrobianas e capacidade de formação de filme. São usados por exemplo, como espessantes, temperadores e enchimentos nas indústrias alimentícias (UDAYAKUMAR *et al.*, 2021).

Os biopolímeros que são conhecidos como polímeros naturais biodegradáveis, recebem a nomenclatura devido ao fato de serem adquiridos diretamente do ambiente natural. Os biopolímeros naturais são produzidos por organismos vivos que são constituídos por unidades monoméricas, como ácidos nucleicos, sacarídeos e aminoácidos com estrutura molecular linear ou ramificada. Podem ser derivados de fontes naturais, como plantas: milho, arroz, trigo, banana, algodão, mandioca, inhame e outros; animais; micróbios; de biomassa, como resíduos: agrícolas, de papel, de madeira; das fontes marinhas que incluem: corais, esponjas e peixes, por fim, como fontes microbianas primárias, tem-se algas, fungos e leveduras (UDAYAKUMAR *et al.*, 2021).

Há uma grande diversidade de biopolímeros disponíveis no mercado. O uso, pode ser observado em: embalagem de alimentos ativos e inteligentes, ingredientes alimentares, produtos agrícolas, biomédicos, dispositivos, implantes dentários e diversos produtos de higiene (UDAYAKUMAR *et al.*, 2021).

3.2 Filmes poliméricos

O filme é um material fino pré-formado que pode ser colocado sobre o alimento ou entre seus componentes. O filme é usado para reduzir ou inibir a umidade, dióxido de carbono, oxigênio, aromas, lipídios entre outros, através de uma barreira semipermeável (SCHAEFFER, 2020).

As embalagens podem atuar preservando mais os alimentos e otimizando espaço, facilitando manuseio e transporte. Os plásticos tem sido cada vez mais usados e ganham destaque sobre outros materiais pelo baixo custo, variedade de resinas e composições disponíveis. Devido a questões ambientais, pelo fato dos polímeros causarem grande acúmulo e degradarem com lentidão, prejudicando o meio ambiente, fontes alternativas como biofilmes se tornam uma opção viável (MARIA DE LÉIS *et al.*, 2016).

Para que possam ser usados em embalagens alimentícias eles devem apresentar características importantes como: boa qualidade sensorial, propriedades mecânicas eficientes, estabilidade microbiológica, físico-química e bioquímica, boas propriedades de barreira, ausência de componentes que prejudiquem a saúde e apresentem toxicidade, que sejam de baixo custo, não poluentes e que sejam de tecnologia simples (SCHAEFFER, 2020).

Na maioria dos artigos que estudaram sobre biofilmes, o foco é caracterizar suas propriedades mecânicas ou a verificar atributos específicos, como: hidrofilicidade, estabilidade estrutural e propriedades de barreira. Esses atributos tornam o desempenho do filme equivalente aos de origem fóssil quando se trata de preservação de alimentos (MARIA DE LÉIS *et al.*, 2016).

Estudos realizados em alguns artigos, relatam dados observados na Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, em comparação do polipropileno – PP, de origem fóssil com alguns biomateriais. Esse estudo é relevante para entender se de fato é mais benéfico o uso de biomateriais no lugar de polímeros de origem fóssil. Foram analisados filmes à base de proteína de soja e filmes a base de quitosana. A conclusão desses estudos aponta que a produção a base de PP, causou danos ambientais mais graves, com piores efeitos cancerígenos e resultados piores em termos de esgotamento fóssil (MARIA DE LÉIS *et al.*, 2016).

3.3 Biodegradação

O termo biodegradável define os materiais capazes de sofrerem decomposição em: dióxido de carbono, água, metano, compostos inorgânicos ou biomassa, sendo a ação enzimática de microrganismos (bactérias, fungos e algas), o mecanismo predominante de decomposição (BRITO *et al.*, 2011).

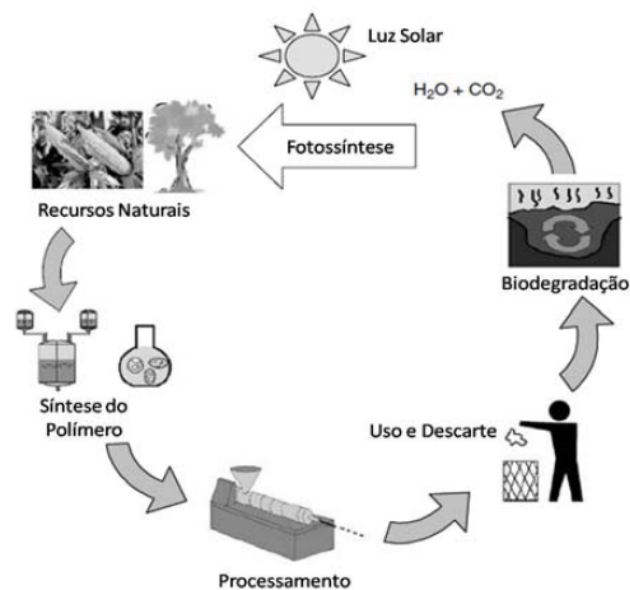
A biodegradação é o processo de degradação de um material orgânico causada por atividade biológica. A biodegradação ocorre quando o material é usado como nutriente por um determinado conjunto de microrganismos, que devem possuir enzimas adequadas para romper algumas das ligações químicas da cadeia principal do polímero e para isso, requer condições

favoráveis de temperatura, umidade, pH e disponibilidade de oxigênio para a atuação dos microrganismos (BRITO *et al.*, 2011).

Há vários métodos de avaliar a biodegradação de polímeros e os mesmos têm sido descritos na literatura e estão baseados em monitorar o crescimento de microrganismos, o consumo do substrato, a liberação de CO₂ e mudanças nas propriedades do polímero. Dentre eles, cabe avaliar a velocidade de crescimento da colônia de microrganismos em contato direto com o polímero, medir a velocidade da liberação de CO₂ e o método de compostagem, onde há simulação do solo ou ambiente no qual o polímero teve contato (BRITO *et al.*, 2011).

A geração de menos CO₂ é um fator importante no impacto ambiental, por isso é importante após a degradação, o balanço positivo de CO₂ e a possibilidade de que o ciclo de vida seja fechado. Na Figura 3.1 a seguir, pode-se observar o ciclo de vida ideal para polímeros biodegradáveis que são provenientes de fontes renováveis (BRITO *et al.*, 2011).

Figura 3.1: Ciclo de vida ideal para polímeros de fontes renováveis.



Fonte: (BRITO *et al.*, 2011).

De acordo com as normas da ASTM e ISO, em até 90 dias 60% do carbono do polímero precisa transformar em CO₂ para que seja considerado biodegradável (SCHAEFFER, 2020).

Os principais interesses em biopolímeros são aqueles que podem ser obtidos por fontes como amido, celulose e polissacarídeos de diversas fontes biodegradáveis, que possuem baixo custo e são de fácil obtenção (SCHAEFFER, 2020). Esses levantamentos, indicam que o polissacarídeo escolhido para estudo nesse TCC tem potencial para ser fabricado e utilizado.

3.4 Kefir

O kefir é considerado um alimento probiótico e apresenta mais de 40 tipos de microrganismos. Ele ajuda na regulação do funcionamento do intestino e na melhora do sistema imunológico. Ele tem sido muito estudado pelos seus poderes: antimicrobianos, antifungos e antitumorais, além de apresentar benefícios ao sistema digestivo, imunológico e por atuar na redução do colesterol (STIVAL, 2009).

O kefir é uma bebida tradicional popular do Oriente Médio e sua etimologia é da palavra turca “*Keyif*” que significa “bem estar” conferidos aos sentimentos de saúde e bem estar relativos ao seu consumo (STIVAL, 2009).

Seu substrato pode ser obtido por meio das atividades metabólicas desenvolvidas por um conglomerado simbiótico formado de bactérias e fungos. A composição pode diferir a depender da origem e método de cultivo. Os grãos de kefir multiplicam-se conforme vão sendo cultivados (STIVAL, 2009). Primeiro há aumento de tamanho e então dada a sua divisão novos grãos são formados mantendo o mesmo equilíbrio microbiológico presentes nos grãos de origem (WESCHENFELDER, 2009).

O kefir é formado por uma matriz de polissacarídeo solúvel que pode corresponder a 45% de cada grão, identificada como kefiran (STIVAL, 2009), que é responsável por unir os microrganismos à matriz proteica nos grãos de kefir (SAAVEDRA, 2021). O polissacarídeo é composto por dois monossacarídeos em proporções aproximadamente iguais de D-Glicose e D-Galactose (glucogalactano). O kefiran é produzido pelo *Lactobacillus kefiranofaciens* que confere maior viscosidade à bebida (SAAVEDRA, 2021).

De acordo com os cuidados e método de cultivo do kefir, a preparação da bebida, como agitação no preparo, tempo e temperatura de incubação e proporção de grãos de kefir, vão determinar as características organolépticas e bioquímicas do produto final (STIVAL, 2009).

Os grãos de kefir podem ser fermentados em qualquer tipo de leite, incluindo as variações desnatado e integral (STIVAL, 2009).

3.5 Plastificante

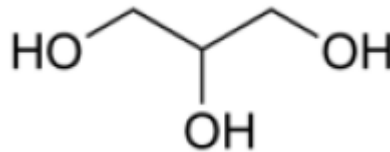
Plastificantes normalmente são líquidos que são usados a fim de aumentar a flexibilidade e distensibilidade do composto na temperatura de utilização da peça pronta (CARNEVALORO, 2006). Os plastificantes são aditivos para melhorar as características físico-químicas do polímero e tem função também de reduzir a dureza, rigidez, temperatura de transição vítrea –

Tg, aumentar a tenacidade e o alongamento na ruptura. Para que seja usado, requer que ele seja compatível com o polímero em questão (SCHAEFFER, 2020).

Para produção de filmes o plastificante é necessário. Seu uso justifica para que o filme não seja pouco flexível e com aspecto quebradiço de modo a limitar seu uso. A concentração de plastificante usada influencia no resultado final, de modo que o processo pode ofertar um resultado contrário ao esperado, isso ocorre quando a quantidade de plastificante é pequena fazendo com que ele interaja com o polímero mas não o suficiente para aumentar a mobilidade molecular, apenas o grau de interações e rigidez da matriz polimérica (SCHAEFFER, 2020).

O plastificante mais utilizado é o glicerol que é uma molécula orgânica da classe dos polióis. Ele é higroscópico e inodoro podendo ser encontrado em todos os óleos e gorduras ligados a ácidos graxos. Quando colocado em temperatura ambiente, ele se encontra no estado líquido e com elevada viscosidade. A Figura 3.2 a seguir, mostra a molécula de glicerol (1,2,3-propanotriol) (SCHAEFFER, 2020).

Figura 3.2: Molécula de glicerol (1,2,3-propanotriol).



Fonte: (SCHAEFFER, 2020).

3.6 Métodos de processamento dos biofilmes

O método comumente usado no processamento de biofilmes é a extrusão (SCHAEFFER, 2020). Uma outra técnica estudada é a de *casting*, pois é um método prático, com vantagem no tempo de preparo do filme e facilidade no processo, porém essa técnica ainda é limitada para um patamar industrial e apresenta dificuldades de incorporar matrizes de naturezas diferentes (SCHAEFFER, 2020).

O processo de extrusão consiste na obtenção de produtos conformados por meio da passagem do material fundido por uma matriz onde após solidificação, forma-se um produto de seção transversal constante (BRETAS e D'ÁVILA, 2005). Extrudar significa empurrar ou forçar para fora. A matriz da extrusora é uma parte que contém abertura para que o material passe e seja forçado de modo a ganhar forma (RAUWENDAAL *et al.*, 2014). Nesse processo emprega-se fusão e homogeneização do material por meio de vazão, temperatura e pressão. O material na forma de grãos ou pó é inserido na extrusora e o mesmo é fundido e bombeado para dentro da

matriz por meio de um parafuso ou rosca sem fim. O equipamento, é responsável pela mistura e homogeneização do material fundido (BRETAS e D'ÁVILA, 2005).

Vários tipos de materiais podem ser extrudados: metais, argilas, cerâmicas, alimentos e outros (RAUWENDAAL *et al.*, 2014).

A técnica de *casting* é definida como a desidratação da solução filmogênica sobre uma placa de petri. Nessa técnica ocorre a secagem por evaporação de solvente (SILVA, E. M., 2011). Essa é uma técnica muito utilizada na fabricação de filmes biodegradáveis. Para que o filme possa ser formado alguns fatores são relevantes: A macromolécula usada deve ter capacidade de formar matriz contínua e coesa; A umidade deve ser investigada pois maiores umidades relativas constituem estruturas com maior grau de cristalinidade e maior teor de umidade residual, o que acarreta em filmes mais passíveis a alterações no seu armazenamento e utilização (SILVA *et al.*, 2019). O solvente utilizado na técnica deve ter sua temperatura de ebulição inferior a dos demais componentes – precipitantes. Ocorre a precipitação preferencial das moléculas com maior massa molar (CARNEVALORO, 2006). As desvantagens que essa técnica pode apresentar são: dificuldade de incorporação de matérias de natureza diferentes, problemas de retirada do filme do suporte usado para a secagem, longos períodos de secagem e dificuldade em produção de larga escala (SILVA *et al.*, 2019).

3.7 Caracterização dos biofilmes

Os biofilmes geralmente são caracterizados quanto a sua solubilidade, espessura, propriedades térmicas e mecânicas, e permeabilidade ao vapor d'água e gases (SILVA, E. M., 2011).

A solubilidade é influenciada pelo tipo e concentração do plastificante (SILVA, E. M., 2011). Em água, a solubilidade direciona a aplicação do biofilme para embalagens de produtos alimentícios. Para produtos semiprontos, destinados ao cozimento, a total solubilização do filme pode ser benéfica. Sendo o alimento aquoso os biofilmes que possuem alta solubilidade não são indicados (SILVA, E. M., 2011).

A espessura é definida como a distância entre duas superfícies principais do material, importante para filmes plásticos mono ou multicamadas. Por meio da espessura é possível obter informações a respeito da resistência mecânica e de propriedades de barreira a gases e ao vapor de água do material, e é possível estimar a vida útil de alimentos que possam ser acondicionados nesses materiais. Determinada a espessura é possível avaliar a homogeneidade de um filme quanto a sua vida útil. Variações na espessura acarretam problemas no desempenho mecânico e flutuações nas propriedades de barreira (SILVA, E. M., 2011).

São realizadas análises térmicas para avaliar a estabilidade térmica ou parâmetros relacionados ao comportamento térmico dos materiais na sua aplicação ou comportamento ao longo do tempo. Ao alterar a temperatura da amostra, ocorre variação de alguma propriedade física que é analisada e registrada de acordo com o método empregado. Os métodos utilizados medem variações que ocorrem em um parâmetro como uma função da temperatura ou como função do tempo numa temperatura constante (SCHAEFFER, 2020).

As propriedades mecânicas dependem da espessura, de características inerentes ao material e ao processo de fabricação do biofilme. O processo de fabricação determina as propriedades associadas a orientação das moléculas, homogeneidade da distribuição da espessura do filme, grau de cristalinidade e ocorrência de defeitos superficiais (SCHAEFFER, 2020). As propriedades mecânicas de filmes flexíveis estão associadas com o seu desempenho mecânico nos equipamentos de conversão, nas máquinas de acondicionamento e frente às solicitações dos ambientes de estocagem e distribuição (SILVA, E. M., 2011). Em filmes flexíveis de monocamadas, essas propriedades dependem da espessura, das características inerentes ao material plástico e do processo de fabricação do plástico. As propriedades dos polímeros são funções da estrutura química do material, da composição de blendas, da aditivação, da estrutura molecular, da densidade, do peso molecular, do grau de cristalinidade em polímeros cristalinos, das temperaturas de transição vítrea e do tipo do copolímero (SILVA, E. M., 2011).

O processo de fabricação do filme determina as propriedades associadas à orientação das moléculas – que influenciam em propriedades como tração e resistência ao rasgamento; ao grau de cristalinidade; à homogeneidade da distribuição de espessura do filme e a ocorrência ou não de defeitos superficiais. Características que são muito influenciadas por esses fatores são: Resistência à tração, rigidez, propagação do rasgo, resistência ao impacto e à perfuração. O estiramento no qual o filme foi submetido na fabricação influencia na capacidade de alongamento do filme (SILVA, E. M., 2011).

As propriedades mecânicas dos filmes dependem da natureza do material utilizado e de sua coesão estrutural – capacidade do polímero de formar ligações fortes e/ou numerosas em nível molecular dificultando separação quando submetido a forças mecânicas, fatores esses que são dependentes da cadeia polimérica, da geometria, dispersão, peso molecular, natureza e posição de agrupamentos laterais (SILVA, E. M., 2011).

A permeabilidade do filme depende de fatores como a integridade do filme, a relação entre as zonas cristalina e amorfa, a quantidade de material hidrofílico-hidrofóbico, a mobilidade das cadeias poliméricas, da interação entre o polímero formador do filme, do plastificante ou aditivos. A permeabilidade depende também, da interação entre a matriz polimérica e o gás

permeante e das condições ambientais – temperatura e umidade. Os resultados de permeabilidade podem ser usados para entender o possível mecanismo de transferência de massa e soluto, e a interação polimérica de filmes comestíveis. O processo de permeação de gases e vapores acontece em três etapas: sorção e solubilização do permeante na superfície do material, difusão do permeante através do material devido à ação de um gradiente de concentração e dessorção e/ou evaporação do permeante na outra face do material (SILVA, E. M., 2011).

Muitos alimentos podem perder sua validade e qualidade e tornar-se suscetíveis ao crescimento de microorganismos devido a umidade que pode ser absorvida do ambiente através das embalagens. Tendo em vista esses fatos, a propriedade de barreira a passagem de vapor d'água é importante. Para que essa propriedade seja avaliada, utiliza-se a taxa de permeabilidade ao vapor de água que é a quantidade de água que passa através de uma unidade de área por unidade de tempo no estado estacionário nas condições do ensaio. A permeabilidade do material ao vapor d'água refere-se ao produto do fluxo pela espessura do material de embalagem, dividido pelo gradiente de pressão de vapor entre as superfícies do material (SILVA, E. M., 2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido juntamente ao laboratório do Departamento de Ciências Biológicas – DCB, no Campus I e aos laboratórios do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – DEMAT, nos anos de 2021/22. Ele foi dividido em três etapas, sendo elas:

Etapa 1: Cultivo do kefir,

Etapa 2: Elaboração do biopolímero,

Etapa 3: Caracterização do biopolímero.

4.1 Materiais

Para realizar o trabalho foram necessários os seguintes materiais:

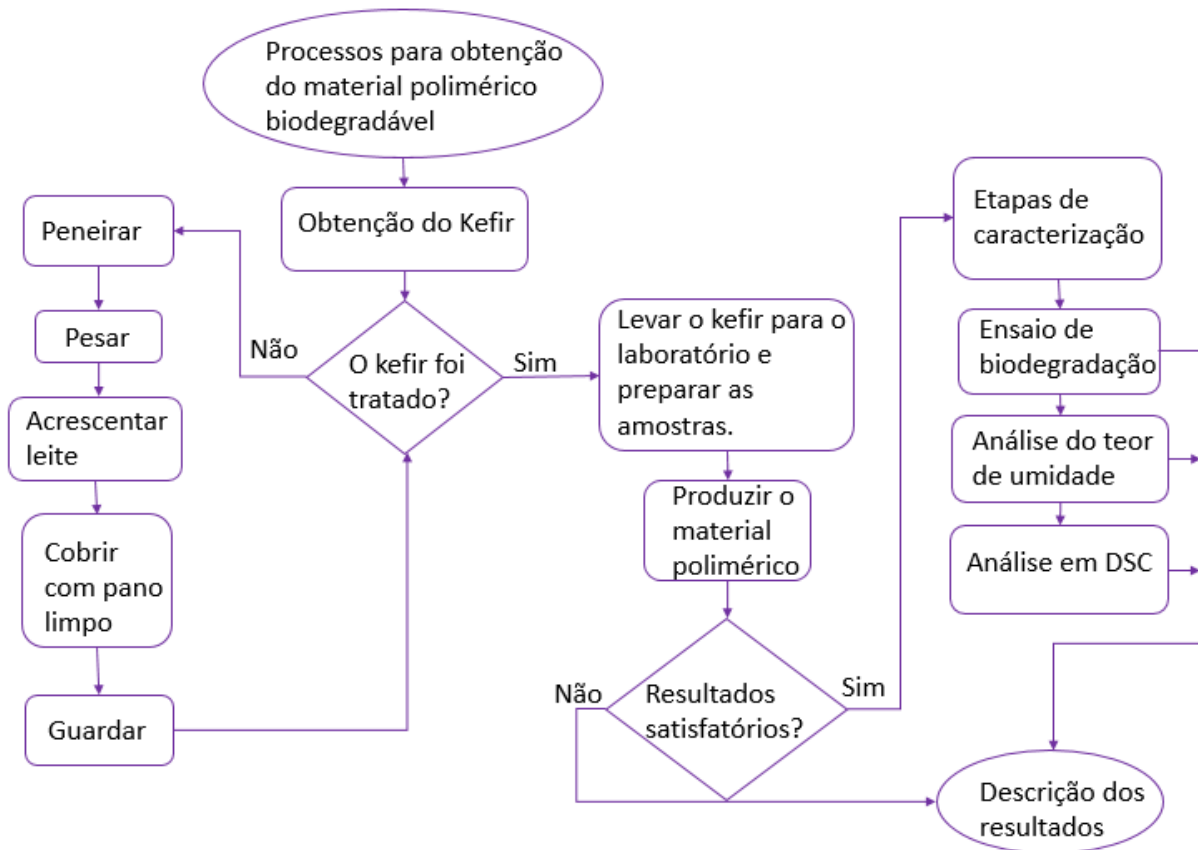
Kefir, leite (qualquer tipo e variação), água destilada, amido de milho, glicerina, ácido acético, glicerol, corante alimentício.

Além desses materiais descritos, como materiais complementares foram utilizados: pano limpo, peneira, balança (simples para pesagem dos materiais), aquecedor, mixer, placas de petri, bastão de vidro, proveta de 25 mL e béquer de 150 mL.

4.2 Métodos

Um resumo dos métodos seguidos estão apresentados na Figura 4.1, conforme a seguir:

Figura 4.1: Processos para obtenção do material polimérico biodegradável.



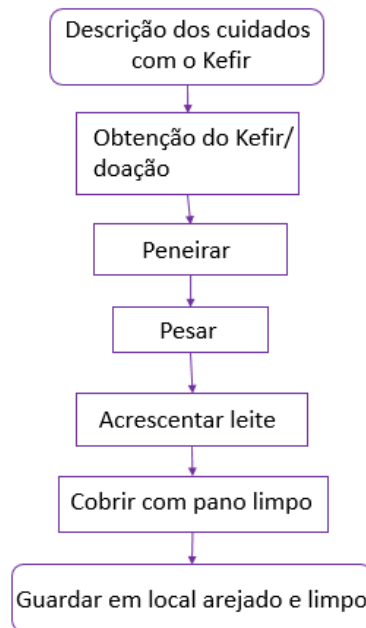
Fonte: Autoria própria.

O kefir foi recebido por aproximadamente 5 doadores diferentes e o mesmo foi cultivado por aproximadamente 6 meses antes de ser utilizado para produção dos filmes. Foram preparadas 3 fórmulas distintas e para cada formulação proposta preparou-se 4 amostras. Objetivou-se, explicar todos os resultados esperados, sendo os mesmos satisfatórios conforme esperado para o estudo ou não. Após todos os ensaios propostos, fez-se análise de cada formulação.

4.3 Etapa 1: Cultivo do Kefir

O Kefir foi adquirido por meio de doações, podendo ser encontrado no seguinte link: <https://probioticosbrasil.com.br/> ou em redes sociais.

Uma breve descrição dos cuidados com o kefir, pode ser vista Figura 4.2, a seguir:

Figura 4.2: Cuidados com o kefir.

Fonte: Autoria própria.

Para a obtenção da matéria-prima, o kefir deve ser cultivado para fins de crescimento de massa para que o experimento possa ser realizado.

O cultivo do kefir consiste em separar um recipiente de vidro adequadamente esterilizado, adicionar o kefir dentro dele e colocar 200 mL de leite. O recipiente deve ser fechado com um pano limpo e armazenado em local fresco. A cada 2 dias deve-se realizar a troca do leite, que consiste em peneirar o conteúdo do recipiente, ficando apenas com os grãos do kefir – Kefiram, e realizar a pesagem desses grãos para fins de controle de crescimento. Realizada a pesagem, deve-se voltar os grãos de kefir ao recipiente e acrescentar 200 mL de leite e tampar com o pano de prato adequadamente para que ele possa se desenvolver mais.

Todo processo de armazenamento e crescimento pode ser observado na Figura 4.3 de a-d, a seguir:

Figura 4.3: Etapas dos cuidados com o kefir.

Fonte: Autoria própria.

a) Vidro esterilizado sendo pesado. b) Kefir sendo peneirado para pesagem dos grãos. c) Pesagem dos grãos de kefir. d) Kefir pesado com um copo de leite (200 mL).

Para que o kefir pudesse ser utilizado, esterilizou-se o vidro com água fervente, bem como a peneira e o copo utilizado para reposição do leite. Foi necessária etapa de pesagem dos grãos de kefir a fim de que se observasse o crescimento desses grãos com o passar do tempo. Após esse processo, o leite foi inserido para que o kefir continuasse seu processo de crescimento e se mantivesse vivo.

4.4 Etapa 2: Elaboração do biopolímero

A produção do biopolímero consiste na solubilização do componente do kefir em um solvente e do aquecimento para evaporação desse solvente, para que ocorra a formação de uma matriz contínua ou biofilme.

Para elaboração do biopolímero, foram testadas 3 fórmulas, conforme a seguir, baseado nos estudos de MORAIS *et al.* (2020):

Fórmula geral:

Quantidades necessárias de cada ingrediente para produção do biofilme:

150 mL de água destilada

8 mL de glicerina comercial

8 mL de ácido acético – 60,5g/L

2 gotas de corante alimentício

A diferença de cada formulação consistiu na matéria principal utilizada e na cor do corante para distinguir as amostras.

Para a formula 1, utilizou-se 30 g de amido de milho e corante alimentício azul;

Para a formula 2, utilizou-se 30g de kefir e corante alimentício laranja;

Para a formula 3, utilizou-se 15 g de amido de milho mais 15g de kefir e corante alimentício amarelo.

A amostra contendo apenas amido de milho foi inserida para fins de comparação dado que a mesma é amplamente utilizada em estudos que envolvem formação de filmes.

Preparo:

Inicialmente, mediu-se com auxílio da proveta o ácido acético e a glicerina, então os mesmos foram colocados no béquer junto com as gotas de corante. Pesou-se a matéria principal e

adicionou-se a mesma a mistura. Nas formulações contendo kefir, o mesmo foi homogeneizado com o mixer primeiro e depois adicionado à mistura. Por fim, acrescentou-se água destilada e a mistura foi homogeneizada com auxílio do bastão de vidro e colocada no aquecedor a temperatura entre 80°C e 110°C, misturando ainda manualmente com o bastão de vidro até o momento em que a mistura ganhou consistência.

Ao adquirir consistência, a mistura foi transferida para a placa de petri devidamente identificada.

Foram utilizadas 4 placas de petri para cada formulação, uma destinada à estufa, 2 para secarem a temperatura ambiente e 1 para eventual necessidade.

Na Figura 4.4 de a-e a seguir, seguem as fotos com a ilustração de todo processo:

Figura 4.4: Processo de fabricação do filme.



Fonte: Autoria própria.

a) Mixer triturando o kefir. b) Mistura no aquecedor. c) Mistura sendo despejada na placa de petri. d) Placas de petri com a identificação de cada mistura. e) Misturas após saírem da estufa.

As amostras se mantiveram sobre temperatura entre 80°C e 110°C no aquecedor para adquirir consistência. Uma amostra de cada formulação permaneceu na estufa por 24h na temperatura de 35°C. Após saírem da estufa conforme pode-se observar na Figura 4.4 – E, é possível notar que a amostra contendo apenas amido fragmentou-se em pedaços pequenos, a amostra contendo amido mais kefir também fragmentou-se, porém em tamanho maior comparado a amostra de amido e a amostra contendo apenas kefir se manteve em filme único sem fragmentos.

4.5 Etapa 3: caracterização do material polimérico

Nessa etapa foi realizada a caracterização química do produto final produzido e também sua caracterização física.

Para caracterização do biopolímero, foram efetuados os seguintes ensaios:

- 1 – Ensaio de biodegradação
- 2 – Teor de umidade
- 3 – Calorimetria Diferencial de Varredura – DSC.

Cada etapa de caracterização objetivou os seguintes resultados/análises:

4.5.1. Ensaio de biodegradação

Nesse ensaio, objetivou-se verificar o tempo em que o material seria biodegradado. Para isso, o biofilme foi colocado sobre uma placa de petri e coberto por terra, por um período de 30 dias. Ao término desse período foi realizada inspeção visual para comparar o antes e o depois a fim de observar as alterações sofridas e fazer a devida descrição. O ideal para esse ensaio seria uma análise de 3 meses mas nesse trabalho o tempo não pode ser cumprido, porém, os efeitos da biodegradação puderam ser observados e relatados (LUCHESE, 2018).

4.5.2. Teor de umidade

O teor de umidade objetivou entender qual quantidade de água cada amostra absorve e qual é seu comportamento ante o ensaio. Ele pode ser determinado da seguinte forma: devem ser retiradas e pesadas amostras do material polimérico. Em seguida as amostras devem ser colocadas em um Becker com 50 mL de água permanecendo por 2 horas a temperatura ambiente, porém nesse trabalho o tempo de realização do ensaio foi dividido em duas etapas, a primeira 40 minutos de permanência na água e a segunda com 24h de permanência na água. A porcentagem de massa úmida – U, das amostras deve ser calculada em relação aos pesos das amostras secas, pela seguinte expressão (Naime *et al.*, 2007):

$$U = [(PU - PS) / PS] 100 \quad (1)$$

Sendo PU o peso em gramas da amostra úmida e PS o peso em gramas da amostra seca.

4.5.3. DSC

Com esse ensaio objetivou-se entender as especificações técnicas das amostras a fim de poder compará-las e analisá-las. A técnica DSC mede diferenças de fluxo de calor em uma amostra e em um material de referência, enquanto ambos são submetidos a um aquecimento ou resfriamento controlado. Nele o fluxo de calor é registrado dada a diferença entre a amostra e o material de referência. A temperatura da amostra pode aumentar ou reduzir linearmente durante o experimento e a energia dirigida aos aquecedores é ajustada continuamente em resposta aos efeitos térmicos da amostra, mantendo assim amostra e referência à mesma temperatura. Dessa forma obtém-se a medida exata de energia elétrica necessária para manter a temperatura igual independente das constantes térmicas do instrumento ou mudanças no comportamento térmico da amostra. Por meio do DSC pode-se: medir as temperaturas de transição vítrea – T_g , temperatura de fusão cristalina – T_m , temperatura de cristalização – T_c , e outros. Pode ser realizada análise de modificações do material durante o processamento (degradação termomecânica, reações químicas, cura, etc) ou durante o uso na forma de produto acabado (degradação térmica, UV, envelhecimento, etc.) (CARNEVALORO, 2006). Nesse trabalho apenas foram avaliadas T_g e T_c .

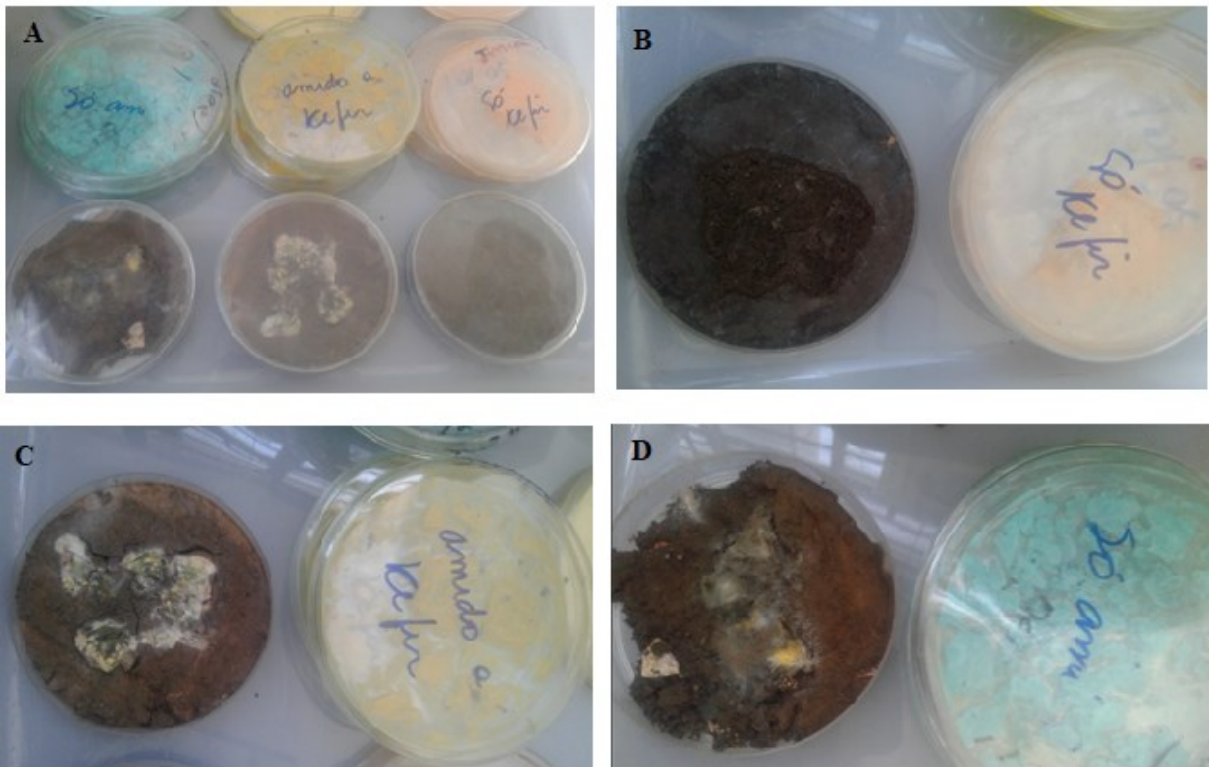
No DSC, a taxa estabelecida foi de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, sendo a temperatura de início -20°C , a temperatura do aquecimento foi de 200°C e de resfriamento foi de 25°C , (SILVA, E. M., 2011) sendo esses valores usados nos 2 aquecimentos e resfriamentos realizados com todas as amostras. Os resultados do ensaio de DSC foram manipulados e deles elaborou-se gráficos para que sua análise seja viável. As curvas de DSC para o primeiro aquecimento servem para limpar a memória térmica do material, de modo que se tenha no próximo ciclo os dados reais das amostras. Todas as amostras foram submetidas a atmosfera de nitrogênio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultado do ensaio de biodegradação

O ensaio de biodegradação no solo, foi realizado dentro de uma placa de petri e teve duração de 1 mês, sendo que a mesma quantidade de cada amostra foi colocada sob o mesmo tipo de solo (terra vegetal) do mesmo pacote, para realizar o ensaio. As imagens com o resultado podem ser vistas na Figura 5.1 de a-d, a seguir:

Figura 5.1: Resultados do ensaio em solo.



Fonte: Autoria própria.

a) Imagem das amostras no solo. b) Imagem da amostra de kefir no solo. c) Imagem da amostra do kefir mais amido no solo. d) Imagem da amostra de amido no solo.

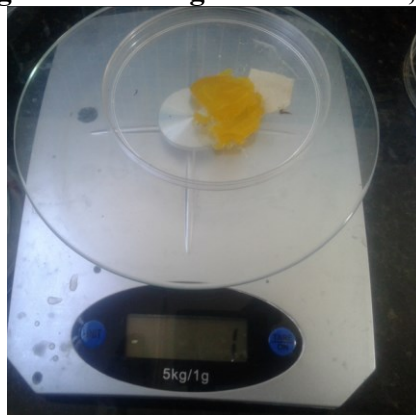
As imagens foram analisadas de modo visual, sendo assim, por observação pode-se dizer que a amostra que contém apenas kefir degradou mais rápido, de modo tal que não se observa mais fungos e a decomposição do mesmo. Seguindo o mesmo método, o que degradou mais em segundo lugar foi amido puro, devido ao fato de não encontrar mais nenhum vestígio azul na decomposição. Em terceiro lugar foi o amido mais kefir, uma vez que pode-se observar ainda vestígios amarelados no solo além da quantidade de fungos.

Pode-se ainda dizer sobre o ensaio, que cada amostra é degradada por diferentes tipos de fungo, mas os mesmos não foram estudados nesse trabalho.

5.2 Resultado do ensaio do Teor de umidade

Neste ensaio, as amostras foram pesadas, primeiramente secas, de modo que a quantidade de cada uma fosse a mesma – 1g. Um exemplo da pesagem pode ser visto na Figura 5.2 a seguir:

Figura 5.2: Pesagem da amostra, 1g.



Fonte: Autoria própria.

Após a pesagem, as amostras foram imersas separadamente em 50 mL água destilada por 40 minutos cada uma e colocadas em placas de petri. A imagem das amostras em água pode ser observada na Figura 5.3 a seguir:

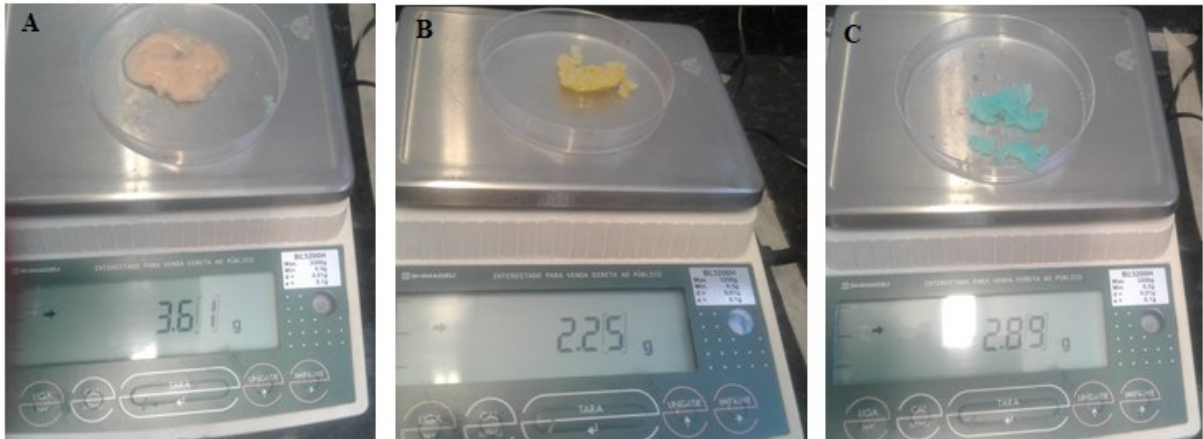
Figura 5.3: Todas amostras em água destilada.



Fonte: Autoria própria.

Após o tempo em imersão, as amostras foram pesadas. Inicialmente, a água destilada foi removida, usou-se uma placa de petri seca para colocar as amostras na balança. As imagens das amostras na balança podem ser observadas na Figura 5.4 de a-c:

Figura 5.4: Pesagem das amostras úmidas.



Fonte: Autoria própria.

Amostra de: a) kefir sendo pesada. b) kefir mais amido sendo pesada. c) amido sendo pesada.

As amostras foram ainda, submetidas a novo tempo de absorção de água. Após a primeira pesagem, as amostras foram imersas novamente na água destilada e pesadas por 24h, mas não foram observadas alterações, indicando que o tempo deixado de 40 minutos foi o suficiente para absorção máxima de umidade que cada amostra poderia apresentar.

Para cálculo do teor de umidade, foi usada a fórmula (1) citada no item 4.5. O resultado é mostrado na Tabela 5.1 seguir:

Tabela 5.1: Teor de umidade dos biopolímeros.

Kefir	Kefir + amido	Amido
Peso seco das amostras - PS (g)		
1,0000	1,0000	1,0000
Peso úmido das amostras - PU (g)		
3,6100	2,2500	2,8900
$U = [(PU - PS) / PS] 100 (\%)$		
0,0261	0,0125	0,0189

Fonte: Autoria própria.

Conforme se observa na Tabela todas as amostras absorveram água sendo que a que mais absorveu foi a amostra de kefir. A amostra de kefir mesmo após absorção de água se manteve como um filme contínuo, maleável e de aspecto consistente, mantendo sua estrutura similar a anterior ao ensaio, não sendo esse um fator que limita o uso desse filme. As amostras de amido

mais kefir e a amostra de amido, apesar de absorverem água se mantiveram rígidas, sem apresentar bom aspecto de filme da mesma forma que estavam antes do ensaio. Dessa forma, observa-se que a amostra contendo apenas kefir foi a que apresentou melhor desempenho visando o objetivo de formação de filme proposto nesse trabalho.

5.3 Resultados do ensaio de DSC

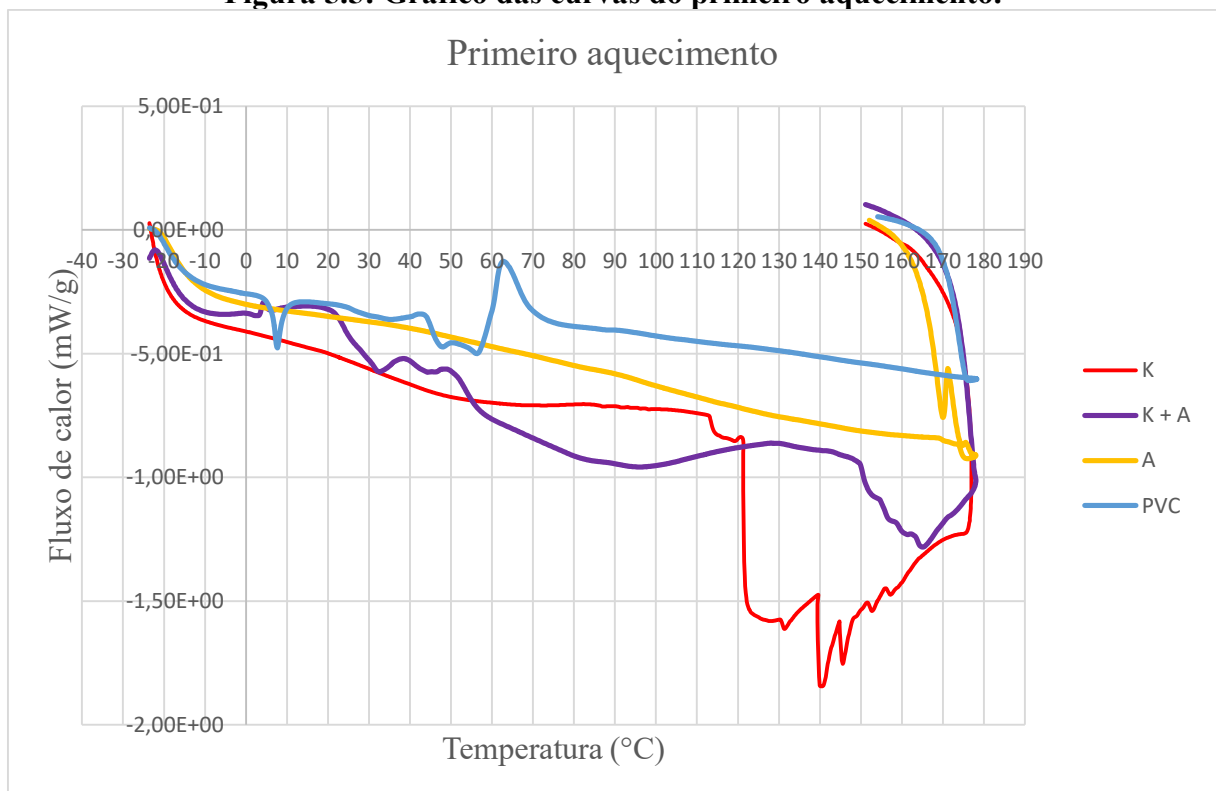
No DSC, foram ensaiadas 4 amostras: kefir, kefir mais amido, amido e Policloreto de Vinila – PVC. Os gráficos obtidos por meio do ensaio podem ser observados nas Figuras de 5.5 a 5.7 a seguir, sendo a legenda, conforme a Tabela 5.2 a seguir:

Tabela 5.2: Legenda para os gráficos.

K = Kefir
K + A = Kefir + amido
A = Amido
PVC = Policloreto de Vinila

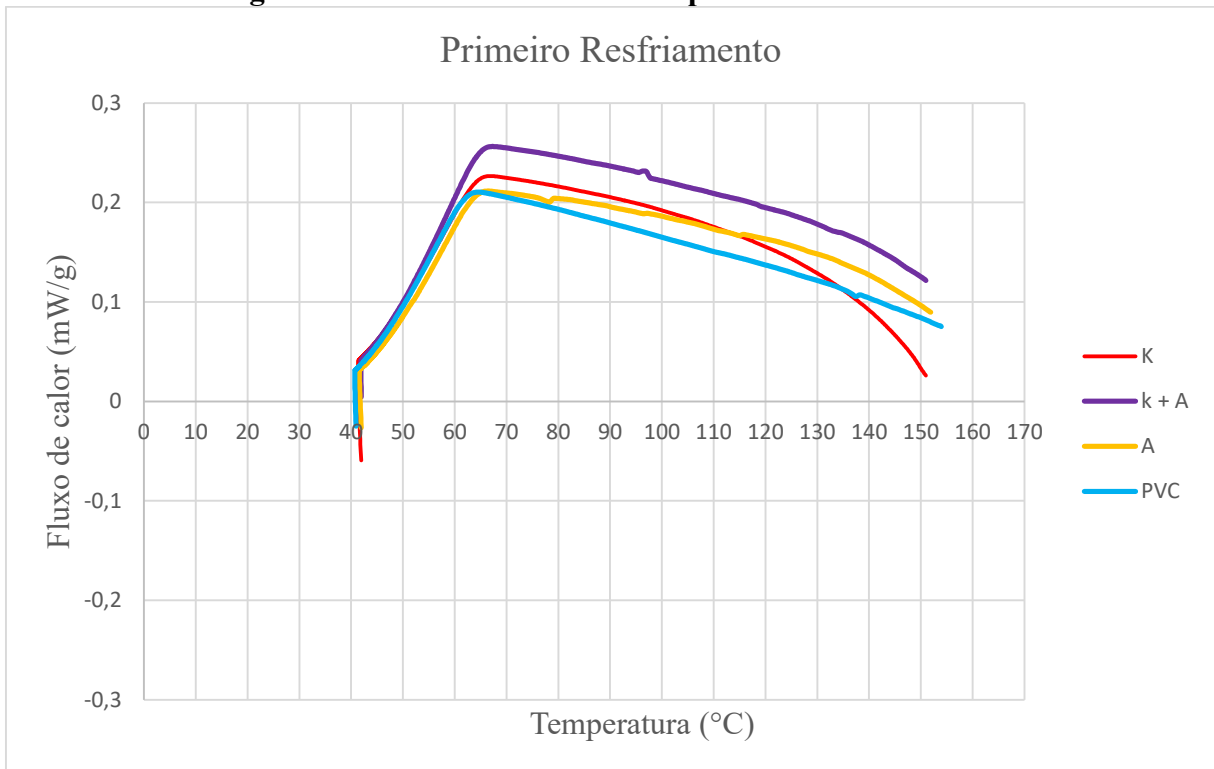
Fonte: Autoria própria.

Figura 5.5: Gráfico das curvas do primeiro aquecimento.



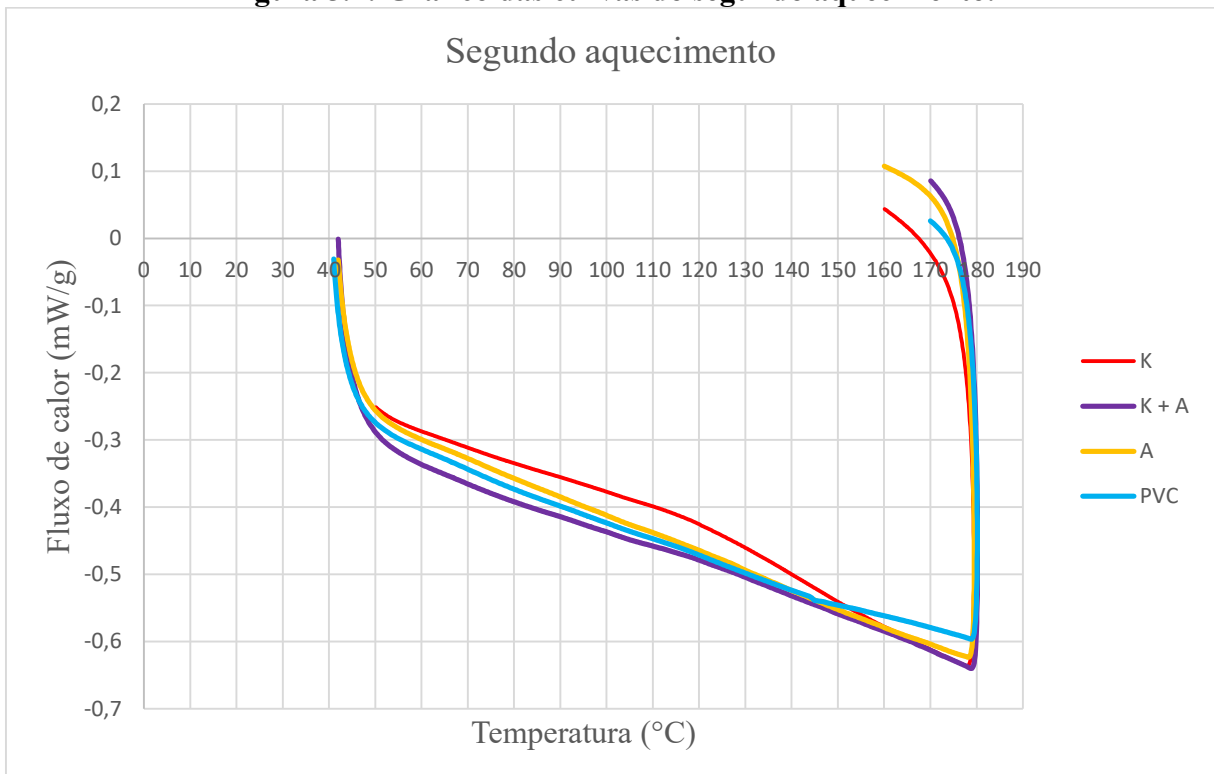
Fonte: Autoria própria.

Figura 5.6: Gráfico das curvas do primeiro resfriamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.7: Gráfico das curvas do segundo aquecimento.



Fonte: Autoria própria.

O ensaio de DSC propiciou determinar os valores da Tg, e a Tc, das amostras. Esses valores são apresentados na Tabela 5.3 a seguir:

Tabela 5.3: Valores extraídos dos gráficos.

Valores da análise dos gráficos				
	Kefir	Kefir + amido	Amido	PVC
Tg (°C)	85	127	129	86
Tc (°C)	66	67	65	65

Fonte: Autoria própria.

As curvas apresentadas pelos gráficos propiciou extrair os valores Tabelaados.

No primeiro aquecimento objetiva-se limpar a memória térmica do material de modo que se possa obter na próxima curva o resultado que corresponde a realidade do que acontece com o polímero. No primeiro resfriamento pode-se encontrar os valores de Tc, e no segundo aquecimento pode-se encontrar os valores de Tg.

A Tc é observada a temperatura acima da temperatura de fusão, onde o polímero atinge uma temperatura suficientemente baixa para que um grande número de cadeias poliméricas possam se organizar espacialmente de forma regular, que permite a formação de uma estrutura cristalina naquele ponto. Acontece durante o resfriamento entre a Tg e a temperatura de fusão (CARNEVALORO, 2006). A Tg é a temperatura que permite que as cadeias na fase amorfa possam se movimentar. Para temperaturas inferiores a Tg, o polímero não tem energia para permitir o deslocamento das cadeias para mudar a conformação. Acima dessa temperatura, as cadeias sofrem movimentos de difusão. As propriedades mecânicas e de barreira estão relacionadas a Tg do polímero (PATZER, 2013).

Como exposto na Tabela 5.3, nota-se que o valor de Tg para amostra de kefir ficou muito próxima a amostra de PVC que foi utilizada para fins de comparação. Já as outras duas amostras apresentaram valores mais elevados, podendo ser uma característica intrínseca do amido. Para os valores de Tc todas as amostras ficaram com resultados muito similares ao do PVC comercial.

6 CONCLUSÃO

Conforme resultados de caracterização, pode-se notar que é viável a elaboração de um material polimérico biodegradável a partir do kefir. Para essa avaliação foram criadas 2 amostras contendo kefir e uma amostra que não continha kefir para fins de comparação da qualidade do material produzido. Das 3 amostras produzidas, observou-se que aquela contendo apenas kefir foi a que apresentou melhores resultados. Ela formou um filme maleável, contínuo, fino e apresentou resultados mais interessantes em comparação com as outras amostras, sendo que todas as amostras foram comparadas entre si sob as mesmas condições, quantidades e materiais usados.

O ensaio de biodegradação mostrou que a amostra de kefir puro é a que degradou completamente dentro do tempo de estudo em comparação com as demais que ainda estavam se degradando. Isso mostra que ele tem grande potencial de uso visando descarte incorreto gerando danos em menor escala a natureza.

O ensaio de teor de umidade, mostrou que o kefir puro absorveu mais água que os demais e ainda, ele foi o que se apresentou menos rígido e mais adepto a água. Enquanto as outras amostras estavam mais rígidas e com aspecto mais seco, a amostra com kefir puro apresentou maior maleabilidade e um filme único, diferente das outras amostras que se dividiram em partes menores e ficaram rígidas. Com isso entende-se que esta amostra é a melhor entre as outras para produção desse filme.

O ensaio de DSC propiciou determinar os valores de Tg e Tc das amostras. Com os resultados encontrados pode-se dizer que a amostra de kefir se aproximou muito da amostra de PVC. As outras amostras apresentaram Tg elevadas com relação ao PVC. Tendo o comparativo de uma amostra comercial com as amostras produzidas, entende-se que a amostra de kefir puro tem propriedades próximas as do PVC comercializado, mostrando que ele é um material que apresenta potencial para uso comercial.

Dentre as 3 formulações preparadas, de acordo com os testes que foram realizados, aquela que apresentou melhores resultados foi a preparada com kefir puro, por isso entende-se que a amostra tem potencial para ser utilizada para o fim de filme. Ela apresentou boa maleabilidade, boa degradabilidade, apresentou propriedades que se mantiveram mesmo sobre condições de umidade e ainda apresentou parâmetros que se aproximam do PVC comercializado comparada com as demais amostras. Todos os resultados encontrados, mostraram que o kefir puro apresenta potencial para ser fabricado e comercializado comparando os dados apresentados com o PVC comercial escolhido para fazer o ensaio. Esse material produzido, apresenta os requisitos

visados neste estudo, de ser biodegradável, de apresentar facilidade de processamento e capacidade de formação de filme.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para dar seguimento a pesquisa, tem-se realizar os ensaios para o kefir a base de água, caracterizá-lo afim de observar seu comportamento e se há possibilidade de formação de filme a partir dele. Também como continuidade ao trabalho aqui já realizado, fazer uma caracterização química desse filme, tanto para a formulação de leite quanto para a formulação a base de água. Como não houve tempo, realizar também ensaios com degradação em frutas e outros alimentos.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E. M. D.; MENDES, J. U. L. **Desenvolvimento de um bio polímero de fécula de mandioca para isolamento térmico**. Universidade Federal do Rio Grande de Norte – UFRN. 2018.
- BILLMEYER, JR., Fred W. **Textbook of polymer science**. 3 ed. 1984.
- BRETAS, R. E S; D’ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 2 ed. São Carlos: Edufscar. 2005.
- BRITO, G. V. *et al.* **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba. 2011.
- CARNEVALORO, Sebastião Vicente Júnior. **Ciência dos polímeros**, um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2 ed. São Carlos – SP. Artliber editora. 2006.
- D'AGOSTIN, Andressa, de MEDEIROS, Janine Fleith, GIACOMINI, Ana Cristina Vendrametto Varrone. **Analisando emoções através de ação de comunicação sobre o descarte e o uso de copos plásticos**. Universidade de Passo Fundo (UPF). Passo Fundo, RS. Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS. Brasil. 2021.
- FIRME, Isabel Cistina Tomaz; OLIVEIRA, Manildo Marcião de. **Microplástico e impactos no meio ambiente: Análise de ocorrência no ambiente marinho**. Boletim do Observatório Ambiental: Alberto Robeiro Lamego. Campos dos Goitacases/RJ. V. 14, n.1, p. 14-17, jan/jun. 2020.
- FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis** – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. Departamento de Bioquímica e Microbiologia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2006.
- GOMES, Gecimar Oliveira. **A abordagem no ensino de química sobre a combustão dos polímeros e a questão ambiental**. Universidade de Brasília Instituto de Química. Brasília – DF 2.º/2013.
- LUCHESE, Cláudia Leites. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Escola De Engenharia. Departamento De Engenharia Química. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Química. Porto Alegre. 2018.
- MARIA DE LÉIS, Cristiane; NOGUEIRA, Alex Rodrigues; KULAY, Luiz; TADINI, Carmen Cecília. **Environmental and energy analysis of biopolymer film based on cassava starch in Brazil**. Journal of Cleaner Production. Dez. 2016.
- MORAIS, Laura Oliveira de; BARROS, Leticia Medeiros Xavier de; SILVA, Samara Fernandes da; OLIVEIRA, Ana Karla Costa de. **Produção de bioplástico a partir da casca de banana-prata (*musa acuminata*): desenvolvimento de exemplar interdisciplinar**. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. 5º CONAPESC. 2020.

NAIME, Natália; GRANADO, Luciane M.; CARR, Laura G.; LUGÃO, Ademar B.; PONCE, Patrícia. **Espumas de fécula de mandioca com plastificantes**. 9º Congresso Brasileiro de Polímeros. Campina Grande, 2007. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2007/cbpol/12201.pdf>. Acesso em: 10 mar 2021.

PATZER, Vanessa Laís. **Produção e caracterização de biofilmes de amido nativo e modificado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Jan. 2013.

RAUWENDAAL, Chris; GRAMANN, Paul J.; DAVIS, Bruce A.; OSSWALD, Tim A. **Polymer Extrusion**. Hanser Publishers. Munich Hanser Publications. Cincinnati. 5 ed. Carl Hanser Verlag. Munich 2014.

SAAVEDRA, Juan Carlos Roberto. **Kefir: características microbiológicas e métodos de fabricação**. Out. 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/saude/metodos-de-fabricacao?>. Acesso em: out. 2021.

SANTOS, F.L; SILVA, E.O; BARBOSA, A.O e SILVA, J.O. **KEFIR: UMA NOVA FONTE ALIMENTAR FUNCIONAL?**. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/Kefirdoreconcavo/images/22_03_12_artigo01.pdf. Acesso em: 31 out. 2021.

SCHAEFFER, Daiane. **Obtenção e caracterização de biopolímeros a partir de fécula de mandioca e amido de milho**. Universidade do Vale do Taquari. Lajeado. Jun. de 2020.

SILVA, E. M. **Produção e Caracterização de Filmes Biodegradáveis de Amido de Pinhão**. DEQUI/UFRGS, Porto Alegre – RS. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química. 2011.

SILVA, Gabriel Lourenço da; SANTOS, Jhennifer Gabriele Rocha dos; ALVES, Juliana Hoffmann; MARIA, Mariana Camilo; PITZ, Rafaela De Azevedo. **Produção E Caracterização De Filmes Biodegradáveis De Amido De Mandioca Adicionado De Ácido Cítrico**. Instituto Federal Catarinense - Campus Araquari. 2019.

STIVAL, Nádha Di Êmylle da Costa Ferreira. **Análise da viabilidade do processo de Conversão de glicerol em produtos de valor Agregado pela ação microbiológica**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental. Universidade De Ribeirão Preto. Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias. Ribeirão Preto – SP, 2009.

UDAYAKUMAR, Gowthama Prabu; MUTHUSAMY, Subbulakshmi; SELVAGANESH Bharathi; SIVARAJASEKAR, N.; RAMBABU, Krishnamoorthy; BANAT, Fawzi; SIVAMANI, Selvaraju; SIVAKUMAR, Nallusamy; HOSSEINI-BANDEGHARAEI, Ahmad; SHOW, Pau Loke. **Biopolymers and composites: Properties, characterization and their applications in food, medical and pharmaceutical industries**. Journal of Environmental Chemical Engineering 9. 2021.

VERT, M.; DOI, Y.; HELLWICH, K. -H.; HESS, M.; HODGE, P.; KUBISA, P.; RINAUDO, M. & SCHUÉ, F. “**Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012)**”. *Pure Appl. Chem., 84 (2): 377, 2012.

WESCHENFELDER, S.; PEREIRA, G. M.; CARVALHO, H. H. C.; WIEST, J. M. **Caracterização físico-química e sensorial de Kefir tradicional e derivados.** *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.63, n.2, p.473-480, 2011.

WESCHENFELDER, Simone. **Caracterização de kefir tradicional quanto à Composição físico-química, sensorialidade e atividade anti-*Escherichia Coli*.** Programa de Pós graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre, Brasil. Fev. 2009.