



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA**  
**Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa**  
**Engenharia Mecânica**

**LINDANIR DE JESUS SILVA**

***Electrospinning* na produção de nanofibras  
poliméricas aplicadas na saúde: revisão  
sistemática**

**BOM JESUS DA LAPA**  
**2021**

**LINDANIR DE JESUS SILVA**

***Electrospinning* na produção de nanofibras  
poliméricas aplicadas na saúde: revisão  
sistemática**

Monografia apresentado ao Centro  
Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da  
Universidade Federal do Oeste da Bahia  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha  
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Luís de Oliveira Santos

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO  
FINAL DO TCC DEFENDIDO PELA ALUNA  
LINDANIR DE JESUS SILVA E ORIENTADA PELO  
PROF.ME. LUCAS ANINGER DE BARROS ROCHA

  
.....  
LUCAS ANINGER DE BARROS ROCHA

**BOM JESUS DA LAPA**


**LINDANIR DE JESUS SILVA**

***ELECTROSPINNING* NA PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS  
APLICADAS NA SAÚDE: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, para aprovação na Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso.

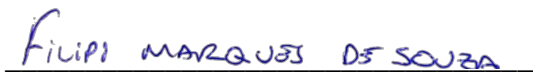
Bom Jesus da Lapa, 21 de Maio de 2021.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Trabalho:



**Prof. Me. Lucas Aninger de Barroa Rocha**

**Universidade Federal do Oeste da Bahia**



**Prof. Me. Filipi Marques de Souza**

**Universidade Federal do Oeste da Bahia**



**Eng.<sup>a</sup> Me. Virginia Bezerra Oliveira Campos**

**Universidade Federal do Cariri**

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela fé, coragem e perseverança que me permitiram lutar, acreditar e realizar os meus sonhos, por estar sempre comigo.

À minha família, em especial a minha Mãe Elita e o meu Pai Antônio por sempre ter acreditado em mim, pela força, amor, estrutura e formação pessoal, pois sem eles nada disso teria acontecido e saiba que essa vitória é pra vocês. À minha madrinha, irmã e segunda Mãe Maria Amélia por ser esse exemplo a ser seguido, por sempre me guiar e apoiar nos melhores e piores momentos, pelo amor, dedicação, pelos melhores conselhos e companheirismo. Às minhas irmãs que sempre me apoiaram, aconselharam e acreditaram, especialmente a Elijânia e Maisa pelo companheirismo e dedicação. Aos meus irmãos por todo cuidado e amor. Enfim, minha eterna gratidão a cada um de vocês pois são o amor e o cuidado de vocês que me faz seguir em frente.

À Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) pela infraestrutura cedida para minha formação, aprendizado, pesquisa e poder fazer parte dessa história, minha primeira casa acadêmica.

Ao meu Orientador Prof. Me. Lucas Aninger por cada ensinamento, pela dedicação e preocupação, pelo carinho, cuidado e paciência, por ter acreditado na realização desse trabalho comigo, pelos conselhos na hora certa, apoio e pela minha formação acadêmica.

A professora Paula Rayane pelo apoio e mentoria que nos prestaram.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Jorge Luís por todo aprendizado adquirido contigo, pela disposição e dedicação ao meu trabalho.

Ao colegiado de Engenharia Mecânica em nome do Profº Breno, Profª Camila e Profº Filipi por cada ensinamento transmitido, por todo esforço e empenho dedicado para minha formação e a todos profssores do meu curso.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes, Iuri, Anderson, Rafael e Layse.

A Power Jr., por me proporcionar os melhores conhecimentos e preparação para a vida profissional.

À todos que de alguma forma (direta ou indiretamente) fizeram parte dessa história mesmo que não mencionado, mas lembro e guardo todos vocês em meu coração.

*“Alguns veem as coisas como são e dizem ‘por quê’? Eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘por que não?’” (George Bernard Shaw, 1856)*

SILVA, Lindanir de Jesus. *Electrospinning* na produção de nanofibras poliméricas aplicadas na saúde: revisão sistemática. Bahia: Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia; 2021.

## RESUMO

O desenvolvimento na área de materiais poliméricos tem evoluído grandemente desde a criação do primeiro polímero sintético em 1907, a qual despertou o surgimento de diversas técnicas de produção, culminando no desenvolvimento desses materiais em escala nanométricas. Entre as técnicas de produção de nanomateriais poliméricos, destaca-se a técnica de eletrofiação (*electrospinning*) que possibilita a fabricação de nanofibras com propriedades físico-químicas e mecânicas de interesse em diversas aplicações tecnológica, como na biotecnologia. Embora, a eletrofiação seja uma técnica com mais de meio século de existência, a produção de nanofibras por essa técnica tem um pouco mais de duas décadas de existência e a literatura científica em língua portuguesa sobre o tema ainda é incipiente. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral verificar, por meio de uma revisão sistemática, a aplicabilidade da técnica *electrospinning* na área da saúde para obtenção de matrizes de nanofibras para cicatrização de tecidos vivos. Foram selecionados trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses publicadas na base de dados Google Acadêmico, no período de 2016 à 2020, que atendessem aos critérios de inclusão: no idioma português e que fossem *open access*. Para a pesquisa foi utilizada a seguinte combinação das palavras: matrizes + nanofibra + cicatrização + *electrospinning*. Para compor a revisão sistemática foram estudados 14 trabalhos, o estudo foi realizado por meio de um quadro de revisão sistemática. Ao analisar os trabalhos científicos desta revisão é possível verificar que os autores conseguiram produzir nanofibras de diferentes diâmetros, a partir dos mais diversos tipos de soluções poliméricas e de concentração polímero/solvente distinta. Os principais resultados obtidos pelos autores dos trabalhos analisados, demonstraram que as eletrofiações das nanofibras permitem a liberação controlada de fármacos, que podem ser de grande potencial para diferentes sistemas de aplicação e, por conseguinte, diferentes necessidades, como uma nova geração de curativos inteligentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Electrospinning*. Nanotecnologia. Matrizes de Nanofibras. Cicatrização.

SILVA, Lindanir de Jesus. *Electrospinning* in the production of polymeric nanofibers applied in healthcare: systematic review. Bahia: Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia; 2021.

## ABSTRACT

The development in the area of polymeric materials has evolved greatly since the creation of the first synthetic polymer in 1907, which sparked the emergence of several production techniques, culminating in the development of these materials on a nanometric scale. Among the techniques for producing polymeric nanomaterials, the electrospinning technique stands out, which makes it possible to manufacture nanofibers with physical-chemical and mechanical properties of interest in several technological applications, such as in biotechnology. Although electrospinning is a technique with more than half a century of existence, the production of nanofibers by this technique has a little more than two decades of existence and the scientific literature in Portuguese on the subject is still incipient. In this context, the present work had the general objective of verifying, through a systematic review, the applicability of the electrospinning technique in the health area for obtaining nanofiber matrices for healing of live tissues. Course completion papers, dissertations and theses published in the Google Scholar database, from 2016 to 2020, which met the inclusion criteria were selected: in Portuguese and open access. For the research, the following combination of words was used: matrices + nanofiber + healing + electrospinning. To compose the systematic review 14 studies were studied, the study was carried out through a framework of systematic review. When analyzing the scientific works of this review, it is possible to verify that the authors were able to produce nanofibers of different diameters, from the most diverse types of polymeric solutions and different polymer / solvent concentration. The main results obtained by the authors of the analyzed studies, demonstrated that the electrofilation of nanofibers allows the controlled release of drugs, which can be of great potential for different application systems and, therefore, different needs, such as a new generation of intelligent dressings.

**Keywords:** *Electrospinning*. Nanotechnology. Nanofiber matrices. Healing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Técnica de Engenharia de tecido.....	12
Figura 2- Comportamento termoplástico e termorrído.....	14
Figura 3- Equipamento de <i>electrospinning</i> de Formhals.....	15
Figura 4- Fonte de alta tensão.....	16
Figura 5- Coletor cilindro rotativo.....	16
Figura 6- Coletor disco rotativo.....	16
Figura 7- Coletor eletrodo paralelo.....	16
Figura 8- Bomba peristáltica.....	16
Figura 9- Equipamento de <i>electrospinning</i> .....	17
Figura 10- Estiramento linear.....	18
Figura 11- Cone de Taylor.....	18
Figura 12- Concentração do polímero/solvente: a- concentração alta; b – concentração adequada.....	19
Figura 13- Jato da solução transformado em cone.....	20
Figura 14- Posição do coletor: (a) horizontal; (b) vertical.....	21
Figura 15- Etapas da pesquisa de trabalhos para compor a amostra da revisão sistemática.....	25
Figura 16- Ano e quantidade das publicações.....	34
Figura 17- Modalidade.....	35
Figura 18- Material principal.....	36
Figura 19- Área de estudo.....	37

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V_C$	Velocidade do fluido	[m/s]
H	Distância entre eletrodos	[m]
L	Comprimento da seringa	[m]
R	Raio do tubo da seringa	[m]
$\gamma$	Tensão superficial do fluido	[N/m <sup>2</sup> ]
P	Pressão ao longo da linha de corrente	[Pa]
$\rho$	Densidade do fluido	[kg/m <sup>3</sup> ]
G	Aceleração da gravidade	[m/s <sup>2</sup> ]
Z	Diferença de altura de escoamento	[m]

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	9
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	10
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	10
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
3.1	NANOTECNOLOGIA.....	11
3.2	NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO POLÍMEROS.....	12
3.3	<i>ELECTROSPINNING</i> .....	14
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é uma importante área de estudo das ciências dos materiais, porque os materiais produzidos em escala nanométrica possuem propriedades únicas, o que possibilita a aplicação desses materiais na criação de novas técnicas. Apesar dos diferentes contextos históricos que envolvem o desenvolvimento da nanotecnologia, nos últimos anos esta área de estudo tem sido o principal foco de pesquisas e inovações em países desenvolvidos. Os investimentos nessa área têm sido da ordem de um a dois bilhões de dólares por ano, sendo apontado com uma revolução tecnológica entre o período de 2010 a 2015 (VÉLEZ, 2014).

O vocábulo nanotecnologia vem de nanômetro, medida que equivale à bilionésima parte do metro, menor do que a espessura de um fio de cabelo. Também pode ser entendida como a tecnologia capaz de manipular a matéria a nível atômico, construindo materiais inéditos, com propriedades que atendam às necessidades específicas (RESCH e FARINA, 2015).

A nanotecnologia possui aplicações em praticamente todos os setores da economia, como: telecomunicações, eletrônica, medicina, indústria têxtil, agricultura, indústria farmacêutica e cosmética, indústria de transformação química, indústria de petróleo e gás, indústria automotiva e etc. Muitos destes setores sofreram uma revolução após as aplicações da nanotecnologia no desenvolvimento de diversos produtos. Por exemplo, a indústria de cosméticos convencionais, juntamente com a indústria química, têm lançado constantemente no mercado uma diversidade de produtos de higiene pessoal e perfumaria com nanomateriais em sua composição. Como empresas pioneiras no uso de nanomateriais em seus produtos, podemos citar a Lancôme e a L'Oréal que, em 1995 lançou um creme facial constituído de nanocápsulas de vitamina E para prevenção do envelhecimento da pele (ZANETTI-RAMOS; CRECZYNSKI-PASA, 2008).

A nanotecnologia e a nanociência buscam estudar as propriedades de materiais e objetos que possuem dimensões nanométricas, propor meios de produção e funcionalização desses materiais, além de desenvolver seu uso em diversos dispositivos. Na produção de nanomateriais busca-se: a implementação de técnicas de baixo custo, fácil processamento, disponibilidade comercial das matérias primas e boa compatibilidade com outros materiais. Nessa linha, a produção de nanofibras poliméricas reúne todas as qualidades supracitadas (MILLÁS, 2012).

Uma das técnicas utilizadas para produção de nanofios é a eletrospinação (

*electrospinning*, do inglês), técnica que ganhou bastante destaque nas engenharias. De forma resumida, o *electrospinning* é um procedimento que fundamenta-se na aplicação de uma força eletrostática, produzida de um campo elétrico de alta tensão, capaz de carregar uma solução polimérica do bico de um dispositivo ejetor ao anteparo coletor. No processo de *electrospinning*, em razão da tensão superficial da solução polimérica e do campo elétrico aplicado, observa-se a formação de um fenômeno chamado cone de Taylor que, provoca o deslocamento da solução em formato de jato e a formação de uma rede de nanofios.

Geoffrey Taylor (1964), constatou que quando uma solução polimérica era posta em uma voltagem muito alta, a carga que era inserida na solução, produzia uma força contrária a tensão superficial do líquido e quanto maior fosse a diferença de potencial do campo elétrico maior era o alongamento da superfície da solução. A medida que a intensidade do campo elétrico é aumentada, a solução polimérica passa pela ponta do capilar, em seguida pelo coletor e assim formando uma rede de nanofios (apud MILLÁS, 2012, P.31). As diferentes configurações dos nanofios produzidos, bem como, as diferentes morfologias, propriedades físicas e mecânicas, dependem de parâmetros experimentais como: velocidade de rotação do anteparo coletor, umidade da atmosfera, tensão aplicada, viscosidades da solução e etc (ROCHA, 2017, p. 29).

A disposição da injeção da solução polimérica no equipamento de eletrofiação pode ser realizada de forma horizontal ou vertical. A desvantagem de realizar a injeção na vertical é que quando o polímero forma uma gota na ponta do capilar, pode ocorrer gotejamento da solução antes da formação do cone de Taylor. O coletor pode ser de diversas configurações como: placa plana, coletor dinâmico que também é conhecido como cilindro rotativo, eletrodo paralelo e disco coletor. A vantagem de usar o cilindro rotativo é que este permite a formação de fios alinhados e possui grande área de recolhimento do material.(BRAGA, 2015).

Os variados processos de *electrospinning* permitem diferentes aplicações dessa técnica na produção de nanofibras de materiais poliméricos mais usuais até materiais não tão usuais como os materiais cerâmicos ou compósitos. As aplicações dessas nanofibras podem ser encontradas em: dispositivos fotovoltaicos (FREITAS, 2009), sensores (BITTENCOURT, 2017), na área médica como substituto de tecidos ou órgãos do corpo humano (SOUZA, 2016), síntese de nanofibras para uso clínico em terapias (CABRAL et al, 2009), e aplicação em engenharia de tecido (PASCHOALIN, 2017).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A engenharia de tecidos e a nanotecnologia vêm desenvolvendo nanomatrizes poliméricas fibrosas para a regeneração tecidual. Recentemente a *electrospinning* se destacou como a técnica de produzir nanomatrizes devido a sua capacidade e versatilidade na produção eficiente de materiais micro e nanofibrosos a partir de soluções poliméricas. A produção controlada das micro ou nanofibras apresentam grande potencial de aplicação na área biomédica, em especial na regeneração da pele, porque permite a oxigenação adequada da pele e a liberação de substâncias (ou aditivos) antimicrobianas e anti-inflamatórias incorporadas na sua composição. Com o aprimoramento recente dessa técnica, os recursos biocompatíveis para preservar ou restaurar a função de células, tecidos e órgãos danificados e/ou perdidos como consequência de acidentes, queimaduras e doenças graves se tornou mais susceptível aos tratamentos, desta forma a finalidade deste trabalho é buscar teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso que sustenta o objetivo deste trabalho, e assim aumentando o quantitativo de monografias utilizando: Nanofibras eletrofiadas pela técnica de *electrospinning* utilizadas na área da saúde .

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por finalidade conhecer, por meio de uma revisão sistemática, a aplicabilidade da técnica *electrospinning* na área da saúde para obtenção de matrizes de nanofibras para cicatrização de tecidos vivos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar na literatura disponível e em língua portuguesa, a aplicabilidade da técnica *electrospinning* na área da saúde para obtenção de matrizes de nanofibras para cicatrização de tecidos vivos;
- Quantificar os tipos de estudos que abordam a técnica como meio de obtenção de matrizes de nanofibras para cicatrização.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 NANOTECNOLOGIA

Segundo Resch e Farina (2015), a nanotecnologia é considerada um conjunto de técnicas e práticas multidisciplinares que envolve diversas áreas como química, física, mecânica, eletrônica entre outras, podendo ser vista como uma premissa para a próxima revolução industrial. É válido ressaltar que, a nanotecnologia recebe grandes investimentos e produz avanços tecnológicos que se referem a áreas de conhecimentos em geral, porém na área de materiais esses avanços são mais perceptíveis e chegam para a sociedade em forma de produtos de consumo comum, como medicamentos (DIMER et al., 2013), cosméticos (ZANIN; CERIZE; DE OLIVEIRA, 2011) e vestimentas (GOMES; COSTA; MOHALLEN, 2015).

A diversidade de aplicações da nanotecnologia é grande e a principal demanda dos conhecimentos desta área refere-se a manipulação dos materiais (LEINDECKER; ALVES; BERGMANN, 2013). Em 2004, a nanotecnologia aplica à área médica apresentou o maior desenvolvimento em estudos que envolvem a encapsulação de fármacos e produção de cosméticos (ZANETTI-RAMOS; CRECZYNSKI-PASA, 2008).

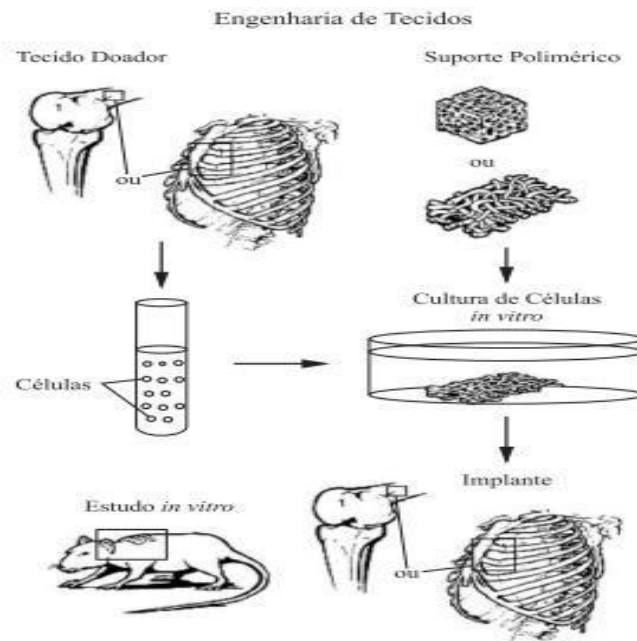
As áreas de aplicações da nanotecnologia abrangem quase todo setor industrial, tendo como exemplo a produção de embalagens de alimentos (GOMES et al., 2015). A maioria das embalagens de alimentos são produzidas por materiais plásticos, visto que apresentam boas propriedades mecânicas, alta flexibilidade, baixo peso, boa resistência mecânica, etc. No desenvolvimento de embalagens, podemos obter nanopartículas incorporadas com agentes antimicrobianas que ajudam na conservação do alimento (MONTES; SANTANA-NETA; CRUZ, 2014); nanosensores que são capazes de detectar produtos químicos e agentes patogênicos (ALMEIDA et al., 2015).

### 3.2 NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO POLÍMEROS

Segundo Farias et al. (2015), a nanotecnologia tem evoluindo desde 1974 devido suas diversas aplicações nas áreas de materiais pela obtenção, por exemplo, de membranas fibrosas a partir de diferentes tipos de polímeros. A manipulação e produção de produtos poliméricos em dimensões nanométricas, conferem a esses materiais propriedades interessantes como grande área superficial, porosidade controlada, elasticidade, resistência mecânica e controle da função química (AGARWAL; WENDORFF; GREINER, 2008).

Atualmente, tem aumentado bastante o interesse nas aplicações de nanomateriais poliméricos em tecnologias que envolvem a engenharia de tecidos, mas especificamente em estudos voltados para a regeneração de tecidos vivos (Figura 1) (BARBANTI; ZAVAGLIA; DUEK, 2005). No que tange a produção de nanomateriais poliméricos, as pesquisas têm dado prioridade a utilização de polímeros biodegradáveis por apresentarem vantagens como a diminuição da poluição do meio ambiente, pois degradam rapidamente (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

Figura 1- Técnica de Engenharia de tecido.



Fonte - Barbanti; Zavaglia; Duek, (2005).

Segundo Vulcani et al. (2015), os polímeros biodegradáveis podem ser de origem natural ou sintética.. Um dos polímeros naturais mais utilizados, em substituição aos polímeros sintéticos, é a quitosana, pois é bem acessível e possui propriedades físico-químicas e mecânicas adequadas para diversas aplicações. Goy (2012) afirma em seu trabalho que, os polímeros de quitosana são versáteis e podem ser preparados de diversas formas como filmes, partículas, membranas, nanofibras, entre outros. Além disso, possui aplicações nas indústrias cosmética e alimentícia, com capacidade de interação com vários tipos de substâncias e ainda é agente antimicrobiano (CAMPANA, 2007).

Os polímeros sintéticos biocompatíveis e biodegradáveis são os mais vastamente usados,. Dos polímeros sintéticos biocompatíveis, os mais estudados são os da classe dos poliésteres alifáticos derivados do poli ( $\alpha$ -hidróxi ácidos). A principal vantagem desses polímeros está no seu modo de degradação, que ocorre por hidrólise de suas ligações ésteres e os produtos gerados são completamente absorvidos pelo organismo. Desta classe de polímeros, destacam-se o poli (ácido láctico) (PLA) e poli ( $\epsilon$ -caprolactona) (PCL) (BARBANTI; ZAVAGLIA; DUEK, 2005). Dos polímeros sintético biodegradável, o poli (ácido vinílico) (PVA) talvez seja um dos mais estudados. No caso do PVA, a degradação não ocorre por hidrólise, mas por processos oxidativos.

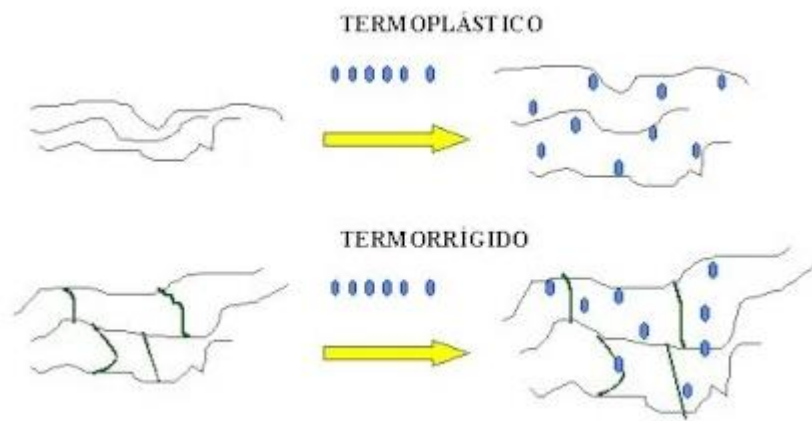
O PLA é um polímero poliéster termoplástico com grande potencial para uso em aplicações industriais, como uso da preparação de filmes finos de embalagens plásticas, é de rápido processamento e totalmente biodegradável levando 24 meses para degradação, possui propriedades mecânicas limitas e por este motivo necessitam de modificações pra melhorar o seu desempenho (PACHEKOSKI, 2014).

O PCL é um polímero bioreabsorvível sintético obtido a partir da polimerização por abertura de anel do  $\epsilon$ -caprolactona, suas propriedades térmicas e mecânicas dependem do seu peso molecular e da cristalinidade, é solúvel em clorofórmio, diclorometano, tetracloreto de carbono, benzeno, ciclohexanona e 2-nitropropano, porém é insolúvel em álcoois, éter de petróleo, etílico e água. O PCL é utilizado para produção de embalagens alimentícias, liberação de fármacos, é de fácil processamento e possui biocompatibilidade com vários tipos de polímeros (ROCHA, 2017).

O PVA é um polímero poliéster que pode possuir tanto comportamento termoplástico ou termorrígido visto na Figura 2, com boas propriedades mecânicas como resistência mecânica, grande área superficial, boa elasticidade, baixa dureza. Possui forma viscosa em

formato de gel, podendo ser usado como curativo cutâneo na cicatrização e regeneração do tecido humano quando misturado com a gelatina, quitosana e com nanopartículas de prata (NPAg), este mantém a pele hidratada, úmida e protege contra os raios solares, pois possui moléculas de hidroxilas e por serem polímeros sintéticos e naturais (DE REZENDE DUEK, 2017).

Figura 2- Comportamento termoplástico e termorrígido



Fonte: De Rezende Duek, (2017).

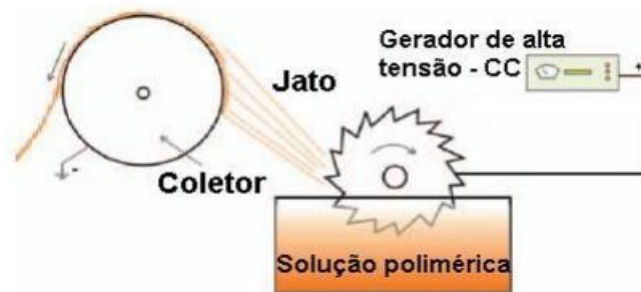
Existem alguns métodos que possibilitam a obtenção de nanofibras a partir desses polímeros, uma dessas técnicas para esse processamento é a eletrospiação ou *electrospinning*. Esta técnica utiliza forças eletrostáticas que atuam em uma solução de polímero e quando submetidas a um campo elétrico resultam em fibras de diâmetros nanométricos (VULCANI et al., 2015) e por isso apresentam uma vasta gama de aplicações em diversas áreas como fabricação de materiais compósitos reforçados (CHEN et al., 2015), materiais filtrantes (LANGNER; GREINER, 2016).

### 3.3 ELECTROSPINNING

No final do século XVI, William Gilbert relatou o comportamento dos fenômenos magnéticos e eletrostaáticos em fluídos, mostrando que uma gota de água em contato com uma peça âmbar carregada eletricamente era pulverizada em microgotículas dispersas na forma de um cone. Essa observação foi o primeiro passo para o desenvolvimento da *electrospinning* (GUERRINI et al., 2006). A técnica de *Electrospinning* foi criada por Cooley e Morton, porém ficou conhecida apenas em 1930 e em 1934 foi patenteada por Anton

Formhals, o qual realizou um experimento para preparação de filamentos artificiais de fibras utilizando um equipamento a partir das forças eletrostáticas através de uma solução polimérica imersas em um cilindro, como mostrado na Figura 3 (COSTA et al., 2011). Anos depois essa mesma técnica foi patenteada por Simons e, diferente de Formhals, ele realizou um experimento para produção de tecidos-não-tecidos também conhecido como TNT (ROCHA, 2017).

Figura 3- Equipamento de *electrospinning* de Formhals.



Fonte – Guerrini et al., (2006).

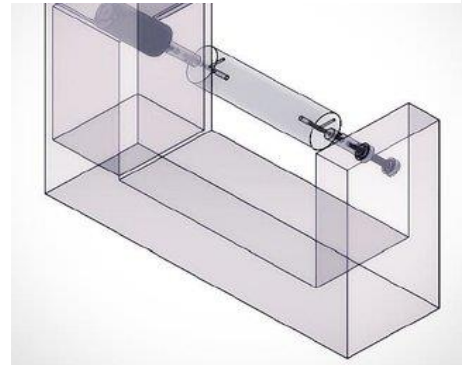
O *electrospinning* ou eletrofiação por solução polimérica consiste em um procedimento simples, de fácil execução e de baixo custo de processamento, na produção de fibras ultrafinas de diâmetros muito pequenos. O processo de eletrofiação começa quando um campo elétrico é aplicado na solução situada entre a agulha da seringa que sustenta a solução de polímero e a base do coletor no qual recebe as fibras formadas (DE OLIVEIRA; MOURA; DE OLIVEIRA, 2013).

Os três componentes básicos de um sistema de *electrospinning* são uma fonte de alta tensão corrente contínua (CC) representado na Figura 4, que é ligada a uma solução líquida (podendo ser materiais poliméricos diluídos ou fundidos, ou até mesmo materiais cerâmicos ou compósitos), um coletor (cilíndrico rotativo (Figura 5), disco rotativo (Figura 6), eletrodo paralelo (Figura 7) etc., onde são adicionados substratos e recebem as fibras formadas) e um dispositivo de infusão (bomba peristáltica (Figura 8) utilizada para realizar a injeção do fluido armazenando-o em uma seringa dotada de uma agulha metálica). Na Figura 9, é apresentado um esquema de montagem de um equipamento de *electrospinning* (PORTELA; ROCHA; MÉNDEZ, 2010).

Figura 4- Fonte de alta tensão



Figura 5- Coletor cilindro rotativo



Fon

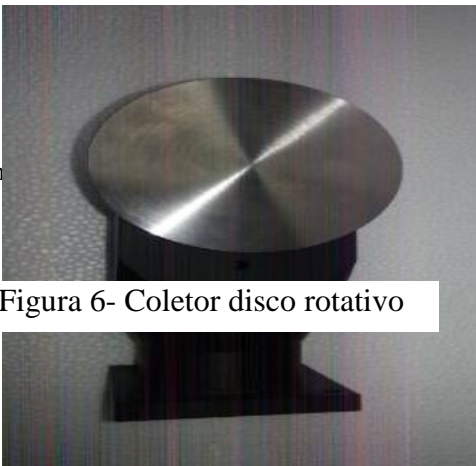
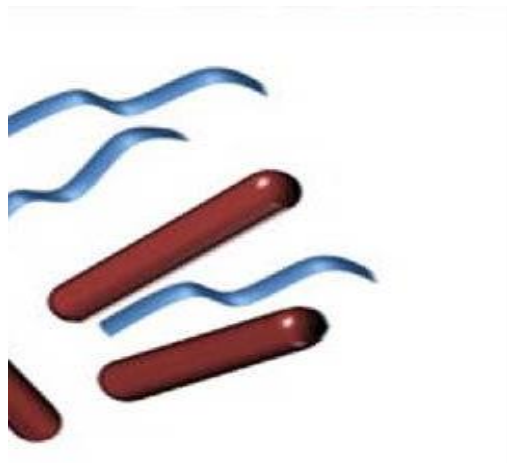


Figura 6- Coletor disco rotativo

Figura 7- Coletor eletrodo paralelo



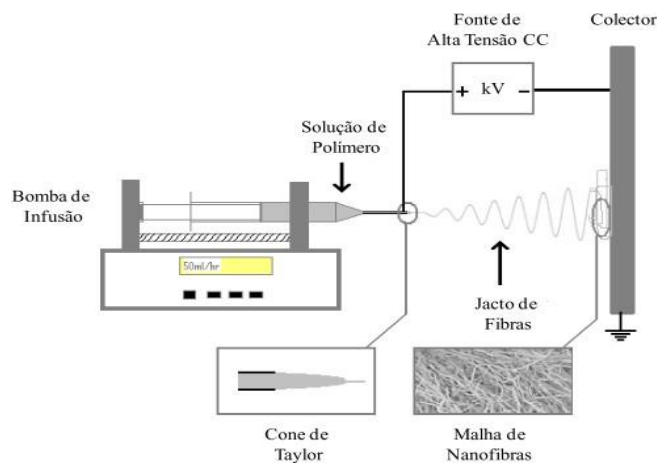
Fonte – Google imagens.

Fonte – Google imagens.

Figura 8- Bomba peristáltica



Fonte – Autora, (2021).

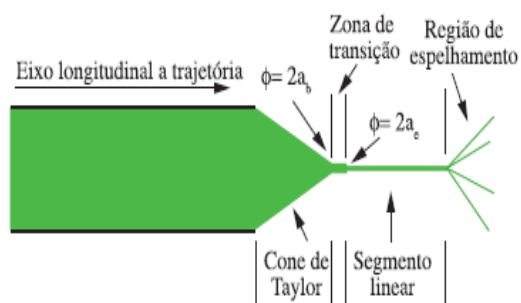
Figura 9- Equipamento de *electrospinning*.

Fonte – Portela; Rocha; Méndez, (2010).

No *electrospinning*, o campo elétrico aplicado é diretamente proporcional às forças eletrostáticas e de arraste da solução para a formação das nanofibras. Desse modo, o equipamento é montado de forma que um eletrodo seja conectado a uma fonte de alta tensão positiva ou negativa, a solução que é inserida na seringa precisa fazer ligação com a fonte e o coletor. (ROCHA, 2017). À medida que a intensidade do campo elétrico aumenta, a tensão superficial inicial que mantém a solução polimérica também é aumentada, provocando um estiramento linear msotrado na Figura 10 da solução que resulta na formação do cone de Taylor. Quando as forças eletrostáticas superam a tensão superficial da solução, um jato é formado na extremidade do cone em direção ao coletor como pode ser visto na Figura 11. Ao

longo da trajetória do jato, devido a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, o solvente que está contido na solução evapora, e apenas o soluto (material polimérico) solidifica no coletor (ROCHA, 2017).

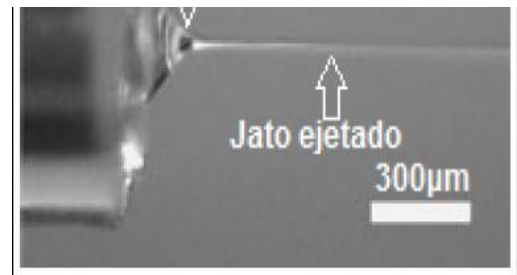
Figura 10- Estiramento linear



Fonte- Portela; Rocha; Méndez, ( 2010).



Figura 11- Cone de Taylor



Fonte- Rocha, (2017).

A relação existente entre as condições iniciais da eletrofição e da formação do cone de Taylor é dada pela Equação 1, na qual todas as variáveis são expressas no sistema de unidades internacional (SI).

$$V_C^2 = 4 \times \frac{H^2}{L^2} \times \left( \ln \left( 2 \times \frac{L}{R} - \frac{3}{2} \right) \right) \times (0,117 \times \pi \times \gamma \times R) \text{ Equação 1}$$

Onde:

V: velocidade do fluido;

H: distância entre os eletrodos;

L: comprimento da seringa;

R: raio do tubo da seringa;

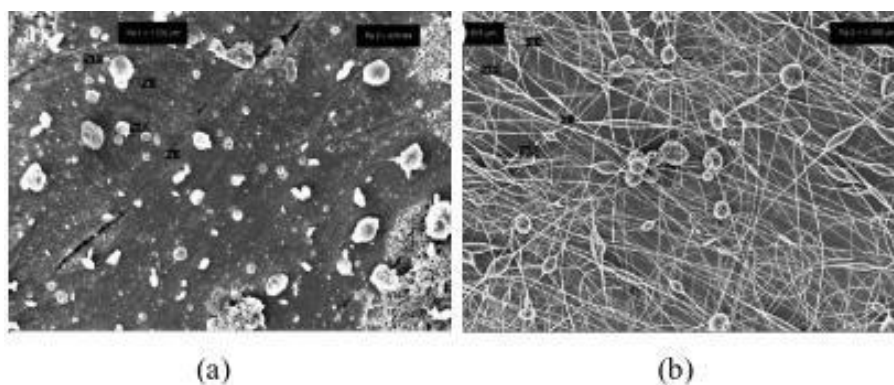
$\gamma$ : tensão superficial do fluido.

Existem alguns parâmetros que são avaliados durante a preparação e a produção dos nanofios, os principais são: parâmetros da solução, parâmetros de processamento e parâmetros

do ambiente que podem influenciar na formação das membranas nanofibrilicas. Os exemplos de parâmetros da solução são: a concentração polímero/solvente, tensão superficial aplicada na solução, adição de sais na solução e viscosidade. Os parâmetros de processamento são: tensão elétrica, vazão volumétrica de alimentação, temperatura da solução, posição do coletor e distância de trabalho. Os Parâmetros ambientais são dados pela temperatura ambiente, umidade relativa do ar e tipos de atmosfera utilizada na síntese (PORTELA; ROCHA; MÉNDEZ, 2010).

A tensão superficial, a concentração do polímero/solvente e a viscosidade da solução interferem muito na morfologia das fibras, uma vez que, se a tensão superficial aplicada na solução for muito pequena não será possível obter fibras com diâmetros de escala nanométrica através da eletrofiação. A concentração do polímero/solvente determina a formação ou ausência das fibras resultantes, conforme mostra a Figura 12, e é um dos parâmetros que influencia diretamente na viscosidade da solução e na tensão superficial. Caso a concentração do polímero seja muito alta, a viscosidade da solução também é alta, resultando em um mal estiramento da solução e conseqüentemente não haverá formação de fibras. Se a concentração for muito pequena, a viscosidade diminui e há quebradiços no processo de estiramento, resultando em uma fibra mal processada (PORTELA; ROCHA; MÉNDEZ, 2010).

Figura 12- Concentração do polímero/solvente. a- concentração alta; b – concentração adequada.



Fonte – Adaptado por Portela; Rocha; Méndez, (2010).

A viscosidade é a propriedade do fluido que mede a resistência da solução e, geralmente, está relacionada com o grau de emaranhamento das cadeias da solução polimérica. Quando a solução apresenta uma viscosidade muito baixa, há formação de gotículas de fibras, evitando que processo de *electrospinning* ocorra. A adição de sais na aumenta a condutividade

elétrica da solução, provocando uma maior mobilidade das moléculas que resulta em um estiramento maior da solução e uma redução do diâmetro das nanofibras. Dessa maneira, quanto menor for a condutividade elétrica, melhor será o acabamento e a concentração das fibras resultantes (MILLÁS, 2012).

A tensão elétrica que é aplicada na solução não deve ultrapassar a 60 kV, pois em valores superiores não há formação de nanofios. Em valores de tensões entre 5 e 30 kV, o fluxo da solução que foi injetada consegue formar uma cone (Figura 13) na ponta do capilar. Ao passo que a tensão é aumentada, o cone se transforma em um jato dado pela Equação 2 (Equação de Bernoulli), logo em seguida quando a tensão superficial do campo elétrico atinge seu valor crítico, há um estiramento da solução de forma linear e conseqüentemente a formação dos nanofios (DE OLIVEIRA; MOURA; DE OLIVEIRA, 2013).

$$\frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} \times V^2 + G \times Z = CTE \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

P: pressão ao longo da linha de corrente;

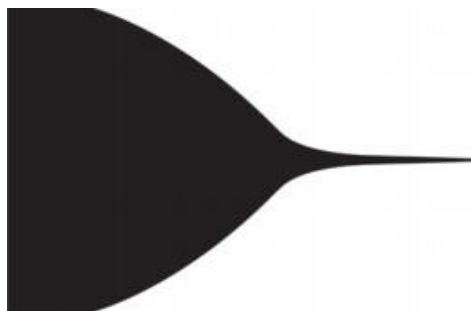
$\rho$  : densidade do fluido;

V: velocidade do fluido;

G: aceleração da gravidade;

Z: diferença de altura de escoamento.

Figura 13- Jato da solução transformado em cone.

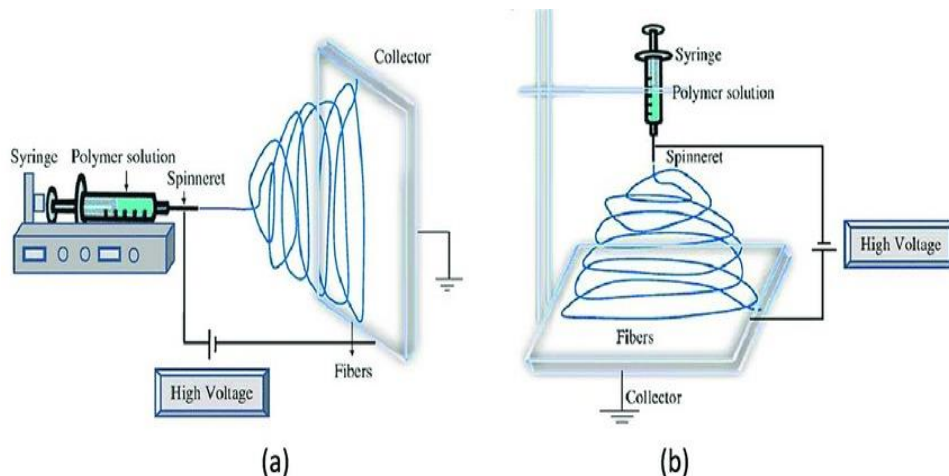


Fonte –Guerrini (2006).

O fluxo da solução ou vazão da solução de alimentação depende da tensão elétrica que é aplicada na solução. Quando a tensão aplicada é relativamente alta, entre 30 e 60 kV, o volume da solução é diminuído até chegar ao tubo capilar ou seringa, porém quando a tensão está em torno de 20 kV o volume é aumentado, interferindo na morfologia das fibras. A temperatura em que a solução se encontra, depende da temperatura ambiente que geralmente está entre 30 °C e 60 °C, porém esse valor depende da concentração do polímero e possivelmente na evaporação do solvente processada (PORTELA; ROCHA; MÉNDEZ, 2010).

A distância do capilar ou ponta da seringa até o coletor vai depender da temperatura ambiente e umidade do ar em que esteja realizando o processo. A interferência dessa distância na produção das nanofibras se dá pela evaporação do solvente e do campo elétrico, de modo que quanto maior for a distância mais rápido o solvente irá evaporar, resultando na formação de poros sobre as nanofibras formadas. Quando essa distância é muito pequena não há formação de nanofibras. O posicionamento do coletor é relativo à necessidade do operador, geralmente se aconselha a instalar na horizontal do capilar visto na Figura 14 (a), uma vez que na vertical (Figura 14 (b)) pode acontecer o gotejamento sobre o coletor, produzindo poros nas fibras. A principal vantagem de posicionar na vertical é que o processo de eletrofiação é mais rápido, devido a força da gravidade. (PORTELA; ROCHA; MÉNDEZ, 2010).

Figura 14- Posição do coletor: (a) horizontal; (b) vertical



Fonte- Portela; Rocha; Méndez, (2010).

A temperatura ambiente depende da umidade do ar e ambas interferem na evaporação do solvente, na viscosidade do fluido, provocando modificações na morfologia das nanofibras e redução ou aumento do diâmetro das nanofibras. Geralmente, a umidade não pode ser abaixo

de 60% , pois a evaporação do solvente é muito rápida e não consegue realizar o processo de eletrofiação até o final, uma vez que a solução fica pobre de água havendo quebradiços nas partículas. Em outros casos, quando a solução polimérica é rica em água a umidade do ar deve ser baixa, como é o caso da eletrofiação do Poliacrilato (PORTELA; ROCHA; MÉNDEZ, 2010).

O processo de eletrofiação permite que diferentes aplicações sejam derivadas dos diferentes tipos de soluções poliméricas e essas aplicações dependem das morfologias das fibras resultantes. A morfologia das nanofibras eletrofiadas consiste na geometria ou formato das fibras e sua caracterização depende dos diâmetros, da distribuição, orientação e alinhamento dos nanofios. Para caracterizar as morfologias é necessário realizar algumas análises comomicroscopia eletrônica de varredura (MEV), análise termogravimétrica ou Termogravimetria (TGA-TG), Calorimetria Exploratória diferencial (DSC), espectrometria de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) entre outras (COSTA et al., 2012).

MEV é a técnica mais utilizada para verificar a morfologia e determinar a distribuição de diâmetros das fibras, por fornecer uma visão mais geral da amostra entre 200 a 1000 nm; A TG ou TGA é uma técnica em que a variação da massa da amostra é determinada em função da temperatura e/ou tempo; A DSC é uma técnica utilizada para análise da cristalinidade do nanofios resultantes, esta análise é feita pela diferença de energia gasta por cada amostra da solução, também em função do tempo e/ou temperatura (COSTA et al., 2012).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma pesquisa bibliográfica tem como objetivo encontrar artigos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso na mesma linha de pesquisa que está trabalhando, ou teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso que sustentem o trabalho, e ainda realizar um fichamento de uma seleção de documentos relacionados a pesquisa, identificando conceitos, técnicas e ferramentas que servem de base para o desenvolvimento do trabalho. Ela pode ser subsidiada por plano de planejamento, ou adotar um critério de seleção para facilitar a inclusão e exclusão dos trabalhos analisados (TRAINA; JR, 2009).

A revisão sistemática é um recurso importante da prática baseada em evidências, que constitui um método moderno para a avaliação de um conjunto de dados simultaneamente ou uma síntese de forma objetiva e reproduzível, por meio de método científico. A revisão sistemática apresenta como princípios gerais a exaustão na busca dos estudos analisando, a seleção justificada dos estudos por critérios de inclusão e exclusão explícitos e a avaliação da qualidade metodológica sobre os resultados de pesquisas relacionados com um problema específico. A pesquisa pode ser sobre causa, diagnóstico, prognóstico de um problema, entre outros, mas, frequentemente, envolve a eficácia de uma intervenção para buscar uma solução para este problema, envolvendo estratégias de busca, com a finalidade de limitar o resultado da pesquisa (GALVÃO; SAWADA; TRVIZAN, 2004).

O presente estudo foi realizado por meio de uma revisão sistemática através da consulta da base de dados Google Acadêmico. Para a pesquisa foi utilizada a seguinte combinação das palavras: matrizes + nanofibra + cicatrização + *electrospinning*. Esta pesquisa teve como critérios de inclusão, a utilização de trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses digitais disponíveis na literatura dos últimos cinco anos, isto é, publicados no período de 2016 a 2020, disponibilizados em língua portuguesa, sendo inclusos todos os tipos de estudos, contanto que fossem trabalhos disponibilizados gratuitamente (*open access*).

Além disso, se constituiu como critério de exclusão da seleção para a revisão sistemática, trabalhos que não foram publicados no período determinado; publicados somente em língua estrangeira; cujo foco principal distanciou-se do objetivo geral para o qual foi feita esta pesquisa, ou seja, aqueles os quais a abordagem não contribuiu para responder à pergunta norteadora deste estudo sobre , a aplicabilidade da técnica *electrospinning* na área da Saúde para obtenção de

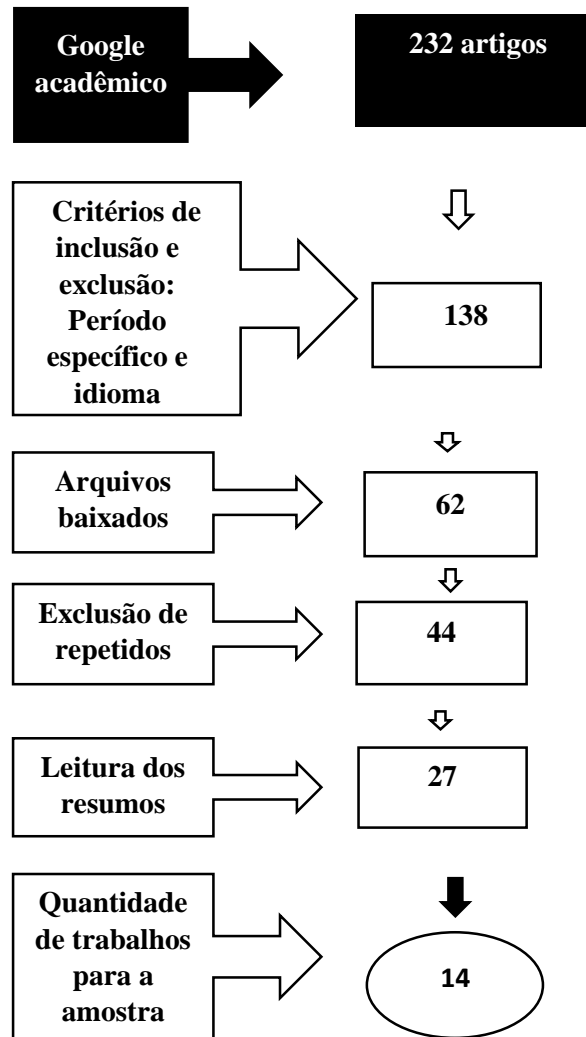
matrizes de nanofibras para cicatrização. A amostra dessa revisão sistemática foi composta por 14 trabalhos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A base de dados utilizada para a busca dos trabalhos científicos, e conseqüentemente compor a revisão sistemática foi o Google Acadêmico. Foi possível realizar a busca utilizando a estratégia da combinação dos seguintes termos: “matrizes + nanofibras + cicatrização + electrospinning”. Dessa forma, foram encontrados inicialmente 232 trabalhos, entre artigos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso (TCC). Em seguida, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão; o primeiro critério aplicado foi o recorte temporal e o idioma, respectivamente, entre o período de 2016 a 2020 e apenas na língua portuguesa. Desse modo foram selecionados 138 trabalhos.

O segundo critério foi verificar pela leitura do título quais utilizaram o *electrospinning* para realização do trabalho, sendo baixados então 62 arquivos. No terceiro passo, foram excluídos os arquivos repetidos, restando 44 trabalhos para análise dos resumos. Posteriormente foi feita uma leitura dinâmica, verificando os materiais utilizados, tipo de equipamento e parâmetros analisados (configuração, tensão aplicada, distância entre a seringa e o coletor), reduzindo o quantitativo para 27. Com esse último grupo, foi feita a leitura completa e mais detalhada dos trabalhos, utilizando como critério de elegibilidade abordar sobre a utilização do *electrospinning* para a obtenção de matrizes de nanofibras para cicatrização, resultando em 14 trabalhos que fizeram parte da amostra final da revisão sistemática. A Figura 15 indica o processo de seleção dos trabalhos encontrados utilizando a base de dados e os critérios utilizados na escolha.

Figura 15- Etapas da pesquisa de trabalhos para compor a amostra da revisão sistemática.



Fonte: Autora (2021).

Conforme era realizada a leitura dos 14 trabalhos selecionados, suas principais informações foram organiza-das em um quadro de revisão sistemática, apresentado pelo Quadro 1, contendo: identificação autor/ano, título, tipo de trabalho, área de estudo, materiais utilizados, parâmetros do equipamento e principais resultados. Esta forma de organizar e identificar esses dados proporcionou uma melhor visualização das informações coletadas.

Quadro 1- Quadro de revisão sistemática

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
PEPE, Ana Carolina Ventura (2016)	Membranas Compósitas para Aplicação em Regeneração Óssea Guiada	Dissertação	Engenharia Biomédica, estomatologia	Policaprolactona (PCL) e cimento de fosfato de cálcio (brushite)	Configuração horizontal; parâmetros: a velocidade de ejeção, a tensão aplicada, a distância entre a ponta da seringa e o tipo de coletor utilizado, temperatura e a humidade.	Verificou-se a conversão de brushite em monetite após os cimentos terem sido imersos em PBS durante 32 dias; E ainda que é possível integrar o material de estabilização na membrana sem comprometer a flexibilidade da mesma e conferindo a rigidez adicional pretendida, necessária aos procedimentos para a sua colocação.
CARVALHO, Bruno Marques (2019)	Produção de nanofibras a base de Ecovio® associadas ao fármaco aceclofenaco e seu estudo de liberação in vitro	Dissertação	Química	Poli (ácido láctico) (PLA) e poli(adipato de butileno)-co-(tereftalato de butileno) (PBAT)	Configuração horizontal; parâmetros: o campo elétrico gerado, a distância da agulha ao coletor, a vazão da solução polimérica o diâmetro da agulha, a umidade relativa do ar (URA), a temperatura, os tipos de solventes, a concentração polimérica da solução, a viscosidade e a condutividade elétrica.	O material produzido liberou em torno de 63% do fármaco em 5 minutos e 100% em, aproximadamente 30 minutos. O perfil de liberação encontrado foi confrontado a diferentes modelos cinéticos de liberação, sendo que o modelo de Weibull foi considerado mais adequado, pelos critérios de $R^2$ ajustado e critério de Akaike (AIC).

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
ALVES, Ana Cristina Moura (2017)	Preparação de membranas com base em fibras coaxiais eletrofiadas	Dissertação	Engenharia química e Engenharia de tecidos	Gelatina (GEL), Policaprolactona (PCL), anidrido metacrílico	Configuração horizontal; Parâmetros ambientais, solução e operação: Solução: viscosidade, soluto, condutividade; Operação: a distância entre a agulha e o coletor; o caudal da solução do núcleo e da solução do revestimento; e a voltagem aplicada.	Conclui-se que as membranas produzidas, principalmente as de PCL/GelMA fotoreticuladas, possuem características com potencial para serem aplicadas como membranas de regeneração óssea guiada; porém liberação de fármaco não foi conclusivo.
MATOS, Cyntia Casagrande (2018)	Síntese e caracterização de nanofibras de Policaprolactona com adição de progesterona utilizando o solvente ácido acético Pelo método de eletrofição	Tese	Ciência e Engenharia dos materiais	Policaprolactona(PCL), ácido acético e progesterona.	Concentração da solução (polímero e hormônio), voltagem e velocidade de injeção na eletrofição: Temperatura ambiente, tempo médio de eletrofição, umidade relativa do ar, coletor horizontal, quantidade de solução em cada seringa, distância do bico ejetor até o coletor, velocidade do coletor.	Avaliou-se a efetiva formação das nanofibras, os diâmetros e variação dos diâmetros delas, a homogeneidade do produto coletado, a capacidade de absorção de água e a taxa de degradação das amostras. As amostras com 16% m/m e 23% m/m de progesterona foram as que apresentaram as melhores características estruturais e morfológicas.

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
LOCILENTO, Danilo André (2018)	Produção e caracterização de mantas de nanofibras poliméricas eletrofiadas contendo proantocianidinas e sua potencial aplicação no tratamento de lesões cutâneas	Tese	Química geral e Engenharia de tecidos	Poli(ácido láctico) (PLA), poli(óxido de etileno) (PEO) e extrato de Aloe Vera (ALOE), extrato de semente de uva (GSE).	Configuração na vertical; parâmetros de processo (tensão aplicada, vazão, distância de trabalho, tipo de agulha, e tipo de coletor); parâmetros da solução (peso molecular e concentração do polímero, viscosidade, tensão superficial, condutividade elétrica, propriedades do solvente) e parâmetros ambientais (temperatura e umidade)	As nanofibras de PLA, PLA/PEO e PLA/ALOE apresentaram alta eficiência de encapsulamento do GSE, próxima à 90%. A ação antioxidante do GSE também foi determinada confirmando sua alta capacidade antioxidante mesmo após o processo de eletrofiação. A viabilidade do crescimento de fibroblastos humano (HFF1) também foi avaliada, confirmando a biocompatibilidade de todas as mantas com destaque para a manta de PLA/PEO com GSE; assim, os resultados obtidos indicam o alto potencial.
VAZ, Rita Isabel Lopes (2016)	Preparação de scaffolds por combinação das técnicas de fotopolimerização e electrospinning para engenharia de tecidos	Dissertação	Química, engenharia de materiais, engenharia de tecidos	Gelatina e a Policaprolactona (PCL)	Parâmetros da solução polimérica (tipo de solvente, viscosidade, densidade, tensão superficial, condutividade elétrica); parâmetros intrínsecos à própria técnica (voltagem aplicada, caudal, distância da agulha da	No estudo preliminar de libertação de fármaco para os <i>scaffolds</i> revestidos, obtiveram-se perfis de libertação interessantes tendo em conta a aplicação. Face aos resultados alcançados, pode-se concluir que os <i>scaffolds</i> das duas abordagens apresentam características promissoras para utilização como <i>stents</i> vasculares,

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
					seringa ao coletor, etc.); parâmetros ambientais em que é executada (temperatura e humidade).	podendo ser importantes ferramentas em Engenharia de Tecidos.
MENEZE S, Felipe castro (2017)	Eletrofiação de nanofibras poliméricas para uso em engenharia tecidual	Dissertação	Engenharia dos materiais, engenharia dos tecidos ósseos	Policaprolactona (PCL), gelatina (GE), com a adição de hidroxiapatita (HA)	Configuração horizontal. Parâmetros da solução: viscosidade, concentração polimérica e condutividade; Parâmetros do processo: voltagem, distância entre ponta da agulha e coletor, taxa de vazão, geometria do coletor utilizado. Parâmetros Ambientais: temperatura e umidade.	Os testes biológicos demonstram que as nanofibras com estruturas alinhadas e aleatórias obtidas permitiram a proliferação celular e a diferenciação osteogênica, apresentando potencial de serem utilizadas na engenharia de tecidos ósseos.
SANTOS, Victória Zagna dos (2018)	Preparação de matrizes de poli(ácido láctico) contendo o peptídeo jaburetox para potencial	Trabalho de conclusão de curso (TCC)	Química e engenharia dos tecidos	Poli(ácido láctico) (PLA), poli(etilenoglicol) (PEG), gelatina.	Configuração vertical; parâmetros: tensão superficial, peso molecular do polímero, concentração, viscosidade, volatilidade,	Os melhores resultados foram obtidos contra o patógeno fúngico <i>Candida albicans</i> para ambas as matrizes. Dessa forma, as matrizes poliméricas funcionalizadas com Jaburetox apresentam um excelente

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
	aplicação como curativos bioativos				condutividade, campo elétrico aplicado, distância de trabalho e velocidade de injeção da solução, temperatura e umidade.	potencial para aplicação como um curativo bioativo.
MARINS, Natália Hadler (2019)	Membranas Nanofibrosas Obtidas por Electrospinning Contendo Nanopartículas de Pentóxido de Nióbio e suas Aplicações em Biomateriais	Tese	Ciências, engenharia dos materiais, engenharia dos tecidos	Poli (ácido láctico) (PLA), nanopartículas de pentóxido de nióbio, Policaprolactona (PC), gelatina (GL), nanopartículas de hidroxiapatita (HA)	Configuração vertical; parâmetros: Concentração Viscosidade Tensão superficial Condutividade Constante dielétrica Volatilidade do solvente Potencial eletrostático Força do campo elétrico Forma do campo eletrostático Distância de trabalho Taxa de alimentação Diâmetro do orifício de alimentação Temperatura Humidade Fluxo da atmosfera local Composição da atmosfera	Esse estudo demonstrou que o Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> é um material com propriedades bioativas e biocompatíveis promissoras para a utilização em biomateriais. As membranas nanofibrosas obtidas por electrospinning contendo nanopartículas de Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> apresentaram resultados potenciais para aplicação em engenharia de tecidos.

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
					Pressão.	
MENDES, Larissa Giorgetti (2020)	Membranas de poli (óxido de etileno) e trombina eletrofiadas para reparo de lesões teciduais	Tese	Engenharia química, química, engenharia de tecidos	Poli (óxido de etileno) PEO, trombina.	Configuração vertical; parâmetros: à solução (viscosidade, condutividade elétrica e tensão superficial), ao polímero (massa molar e interação entre este e o solvente), ao processo (como campo elétrico aplicado, distância entre agulha e coletor, vazão da solução e velocidade do coletor, em caso de coletor rotativo) e ao ambiente (umidade e temperatura).	As membranas contendo 2 e 8 UI/ml apresentaram maior espessura do epitélio no 2º dia após a lesão. Esses resultados mostram que o material é promissor, eficiente e pode acelerar o início da cicatrização.
MUNIZ, Nathália Oderick (2020)	Obtenção de fibras da blenda polimérica cellprene® com aditivos por centrifugal spinning e electrospinning	Tese	Ciência e Tecnologia dos Materiais.	Poli (ácido láctico-co-glicólico, PLGA), poliisopreno (PI), hidroxiapatita (HAp) e polietilenoglicol (PEG)	Configuração horizontal; Parâmetros como velocidade de rotação, concentração, taxa de evaporação (para soluções), temperatura (para aquecimento) e distância do coletor.	As fibras com 10% de HAp em sua composição e processadas por centrifugal spinning (com 5% em massa de soluto) apresentaram os melhores resultados morfológicos. Essas fibras foram também analisadas quanto a sua bioatividade, viabilidade e adesão celular in vitro demonstrando resultados

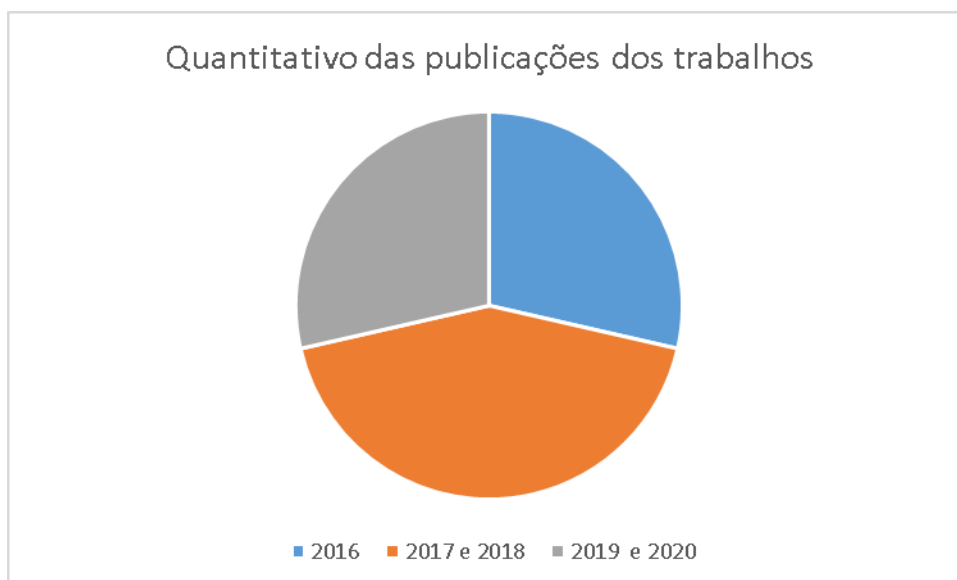
AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
	para aplicação como scaffold					satisfatórios para emprego futuro como scaffold.
VENTUR ELLI, Rafaela Bohackuk (2017)	Produção de não tecidos de pet reciclado com incorporação de óleo essencial: comparação entre eletrofiação coaxial e eletroaspersão	Tese	Engenharia química	Poli(tereftalato de etileno) (PET)	Configuração horizontal; Parâmetros: solução polimérica, potencial elétrico, distância entre agulha e coletor, umidade e temperatura; viscosidade, concentração do polímero, massa molecular do polímero, condutividade, constante dielétrica, elasticidade e tensão superficial.	Conclui-se, portanto, que a produção de não tecidos de PET provenientes de garrafas com óleo essencial incorporado é uma rota promissora na fabricação de têxteis técnicos. As fibras podem proteger o óleo de oxidação rápida e evitar outras reações, proporcionando uma transferência de massa difusiva, lenta e gradual.
SOUZA, Sara Oliveira Lamas de (2016)	Desenvolvimento e Caracterização de Nanofibras Obtidas pela Técnica de Eletrofiação Coaxial Visando a Liberação de	Dissertação	Ciências e Engenharia de Materiais	Policaprolactona, gelatina, poli(álcool vinílico) e Bevacizumabe	Configuração vertical; Parâmetros: massa molar do polímero, viscosidade da solução, tensão superficial e condutividade elétrica, tensão aplicada, vazão da solução, temperatura, diâmetro	Os resultados obtidos comprovaram a viabilidade de produção das nanofibras casca-núcleo com PCL/gelatina como formador da casca, enquanto o núcleo das nanofibras foi formado pelo PVA. As nanofibras não apresentaram citotoxicidade às células, mesmo na presença do Bevacizumabe.

AUTOR /ANO	TÍTULO	TIPO DE TRABALHO	ÁREA DO ESTUDO	MATERIAL UTILIZADO	PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
	Bevacizumabe para o Tratamento de Degeneração Macular Relacionada a Idade				da agulha, coletor e a distância da ponta da agulha, umidade relativa do ar, temperatura ambiente e a composição da atmosfera.	Bevacizumabe manteve a sua atividade antiangiogênica quando incorporado ao sistema.
NISTA, Sílvia Vaz Guerra (2016)	Membranas de nanofibras com alta adesão para liberação bucal de fármacos	Tese	Engenharia química e de tecidos	Alginato, PEO (Polióxido de Etileno), Quitosana, Metronidazol (MTZ).	Configuração horizontal; parâmetros: viscosidade da solução, a condutividade elétrica, a tensão de superfície, a massa molecular do polímero e sua distribuição, a força do campo elétrico, a natureza do contra eletrodo e a atmosfera do processamento, alta voltagem, distância de trabalho, vazão.	As membranas de nanofibras de SA/PEO foram as mais adequadas para aplicação proposta em doenças periodontais. Suas nanofibras se apresentaram homogêneas e livres de defeitos. O perfil de liberação do fármaco, com e sem barreira epitelial, foi adequado ao objetivo proposto. Essas membranas são biocompatíveis, pelos resultados nos testes citotoxicológicos, e apresentaram as melhores performances de Tempo e Força de mucoadesão, superando os resultados das demais membranas.

Fonte- Autora (2021).

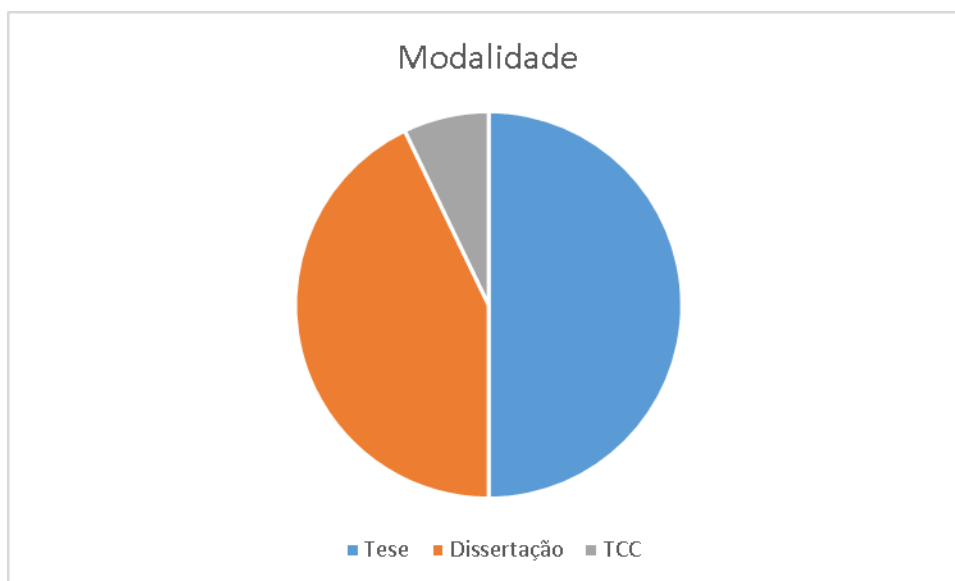
Dos 14 trabalhos da amostra final, 4 foram do ano de 2016; 6 publicados entre os anos de 2017 e 2018, e 4 no período de 2019 e 2020, este quantitativos podem ser visto na Figura 16. Todos os trabalhos foram de natureza experimental, sendo 7 trabalhos na modalidade tese, 6 dissertações e apenas um TCC, representado na Figura 17. Os 14 arquivos foram analisados e estudados no tocante ao tipo de estudo, abordagem e foco no objeto de estudo, e ainda trouxeram algo em comum que é a montagem do equipamento electrospinning e a eletrofiação das nanofibras de diferentes materiais.

Figura 16- Ano e quantidade das publicações



Fonte: Autora (2021).

Figura 17- Modalidade

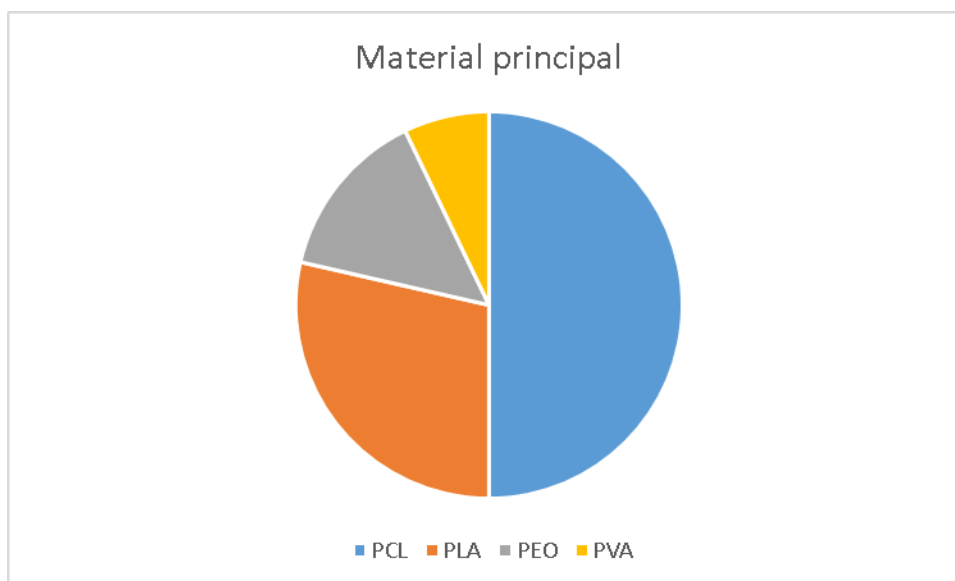


Fonte: Autora (2021).

Seis dos trabalhos em estudo utilizaram a gelatina como material de regeneração de tecido mole, liberação de fármacos e adicional para composição das soluções, já que a gelatina é um polipeptídeo solúvel em água, obtido pela hidrólise parcial e desnaturação do colágeno proveniente de pele suína e ossos bovinos. Este material tem sido vastamente utilizado em aplicações biomédicas e farmacêuticas, devido a sua biodegradabilidade e biocompatibilidade em ambientes fisiológicos, além de ser um composto antigénico (MENEZES, 2017).

Em todos os trabalhos, os materiais utilizados para a composição das soluções foram os polímeros sintéticos, estes polímeros ao contrário dos materiais de base natural, são de fácil processamento, e quando produzidos sob condições controladas possuem boas propriedades mecânicas e uma boa estabilidade. Os polímeros sintéticos mais utilizados na engenharia de tecidos são os poliésteres, sendo que dos 14 estudos, 7 utilizaram o Policaprolactona (PCL) como material principal, 4 empregaram o Poli(ácido láctico) (PLA), 2 trabalhos o poli(óxido de etileno) (PEO) e apenas 1 usou o Poli(vinil álcool) (PVA), visto na Figura 18.

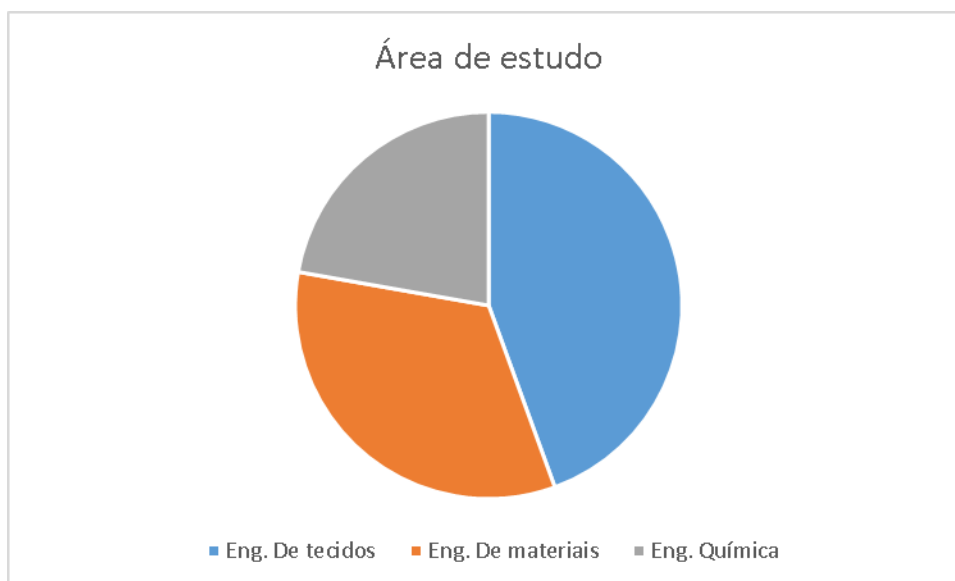
Figura 18- Material principal



Fonte: Autora (2021).

Da amostra estudada, 13 estudos focaram nas áreas de Engenharia química, de tecidos, de materiais, e biomédica. Apenas uma focou unicamente na área da Química. Dessas 13 amostras nas áreas de Engenharias, 4 intercalaram as Engenharias e a Química; outras 4 entre as Engenharias e a Ciência dos materiais; e 5 somente em Engenharias. Desses 13 trabalhos que apresentaram foco nas Engenharias, 8 são na Engenharia de tecidos, 6 Engenharia de materiais, 4 Engenharia química, representado na Figura 19, 1 Engenharia biomédica (nota-se que ultrapasse 14 trabalhos, porém existem trabalhos com mais de uma área de estudo).

Figura 19- Área de estudo



Fonte: Autora (2021).

Das 14 amostras estudadas, 13 mencionaram a configuração do equipamento que estavam utilizando. Desses, 7 apresentaram configuração horizontal e 6 configuração vertical, e apenas um não identificou. Todos os trabalhos analisaram diferentes tipos de parâmetros, os quais possuem uma importante influência no processo de eletrofição e na morfologia das nanofibras obtidas. Essas influências dependem do polímero escolhido e das suas características como o peso molecular, solução polimérica, tipo de solvente, viscosidade, densidade, tensão superficial e condutividade elétrica; assim como os parâmetros intrínsecos à própria técnica: tensão aplicada, distância da agulha da seringa ao coletor e as condições ambientais de temperatura e umidade em que foram realizados os experimentos.

Ao analisar toda a amostra desta revisão sistemática, pode-se notar que os 14 trabalhos obtiveram resultados conforme o esperado. Dentre esses resultados, pode se destacar que a maioria deles obteve melhores características morfológicas e estruturais quando utilizaram apenas um material e com uma solução em maior quantidade volumétrica. As características morfológicas tratam das configurações estruturais existentes na nanofibras, elas são analisadas e caracterizadas por meio de Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

Desses 14 trabalhos, observou-se diferentes soluções poliméricas e foram verificadas distintas concentrações aplicadas, essas variações provocaram alterações nas velocidades de injeção, nas tensões de trabalho e assim influenciaram os diâmetros das nanofibras produzidas. Tais mudanças demonstraram que tanto as nanofibras com estruturas alinhadas quanto as aleatórias, permitem a proliferação celular e a diferenciação osteogênica, apresentando grande potencial a ser utilizado na engenharia de tecidos (LOCILENTO, 2018). O alinhamento das nanofibras, de maneira geral, também é um fenômeno que favorece na melhoria das características morfológicas do material, bem como nas propriedades mecânicas. Dessas propriedades, o incremento na elasticidade e rigidez gera nanofibras mais rígidas e resistentes, superfícies mais hidrofílicas, isto é, mais planas e com maior facilidade de evaporação da solução ou da quantidade de água presente na solução (MENEZES, 2017).

Pôde-se notar também que os estudos pontuaram a influência da velocidade de injeção e da tensão na modificação do diâmetro das nanofibras. Como bem apresentado no trabalho de Pepe (2016), o qual ao alterar a tensão aplicada obteve diâmetros demasiadamente grandes, o que contribui para que os poros fossem também de maiores dimensões e a membrana menos fechada. Porém, com as variações da tensão de trabalho, com o aumento da elasticidade, da quantidade de água presente na solução, e da cristalinidade ocorreu diminuição do diâmetro das nanofibras.

Nesta análise sistemática, foi possível notar também que os trabalhos relataram a diferença no tempo de evaporação de cada solução. De acordo com os estudos realizados sobre os parâmetros de controle para eletrofiação, notou-se que quando a umidade do ambiente é muito alta ou a distância entre a agulha e o coletor é muito pequena não há formação de nanofibras. Vale ressaltar que a variação da distância agulha-coletor influencia diretamente o tempo entre a saída da solução da ponta da agulha e a deposição no coletor, bem como no tempo da evaporação do solvente presente no polímero. Se o tempo de percurso da solução até o coletor for grande, teremos uma secagem melhor da fibra; porém, se este for curto, a fibra poderá não secar no deslocamento e se depositar ainda úmida, gerando a fusão das fibras entre si. A umidade alta causa efeito semelhante, pois dificulta a evaporação do solvente durante este percurso. Assim, para uma mesma distância agulha-coletor podemos ter a fusão das fibras para umidades relativas maiores. O trabalho de Nista (2016) relata que a umidade tem sido associada à criação de defeitos,

bem como a formação de superfícies porosas em fibras, pois os polímeros solúveis em água, reduzem a umidade do ambiente e aumentam a taxa de evaporação deste solvente, fazendo com que o jato eletrofiado solidifique a uma distância mais próxima da fonte. E quando esse fenômeno acontece, o jato que é solidificado não mantém seu comportamento viscoelástico de aumentar e retornar para seu tamanho real, provocando instabilidades no tamanho dos diâmetros das nanofibras, evidenciando que uma umidade menor que 20% tem maior probabilidade de produzir diâmetros muito grossos.

Por fim, os resultados obtidos dos trabalhos estudados por meio da análise sistemática demonstraram que as eletrofiações das matrizes poliméricas ou as próprias nanofibras permitiram liberação de fármacos, que podem ser de grande valor para diferentes sistemas de aplicação e, por conseguinte, diferentes necessidades. Assim, as mantas de nanofibras poliméricas apresentaram grande potencial como alternativa para uma nova geração de curativos inteligentes. Embora a medicina regenerativa tenha sido testada em vários campos com foco na regeneração de tecidos humanos, como visto nos trabalhos estudados, ainda existem muitos estudos que poderão ser realizados futuramente e questões a serem levantadas.

## 6 CONCLUSÃO

Após analisar todos os resultados dos 14 trabalhos conclui-se que a técnica de *electrospinning* se mostrou uma ferramenta adequada para a obtenção de nanofibras poliméricas com diâmetros na ordem dos nanômetros e aspecto homogêneo. Para além disso verificou-se que as membranas nanofibrosas produzidas por *electrospinning* poderão ser aplicadas como sistemas de libertação de fármaco controlada. Os materiais utilizados para co por as soluções poliméricas apresentaram propriedades significativas como boa elasticidade, alta resistência a tração, solúvel em água, atóxica entre outras, que podem ser aplicadas em tratamento com curativos, atuando no processo de cicatrização. De acordo os 14 trabalhos estudados, os perfis de libertação dos fármacos existentes em cada nanofibra produzida, foram obtidos através da realização de testes *in vitro*, dado que o fármaco utilizado é um antibiótico, as membranas deveriam ser submetidas a ensaios com cultura bacteriana de modo a avaliar o comportamento dos materiais quando em contato com este tipo de células.

As análises de imagens realizadas nos 14 trabalhos permitiram constatar que as nanofibras apresentam estabilidades térmicas muito próximas umas as outras, não podendo tirar conclusões sobre qual ou quais nanofibras apresentam mais termicamente estável, pois de modo geral ambas as nanofibras produzidas podem ou não estarem sujeitas a condições de aumento ou diminuição da temperatura, tensão e da distância de trabalho.

As análises morfológicas dos 14 trabalhos mostraram características de superfícies lisas e com diâmetros variáveis das nanofibras produzidas, de acordo com o aditivo utilizado em nas amostras de cada um dos trabalhos estudados, estas diferenças podem ser atribuídas às variações na viscosidade e condutividade relativas à incorporação de cada aditivo individualmente.

## REFERÊNCIAS

AGARWAL, Seema; WENDORFF, Joachim H.; GREINER, Andreas. Use of electrospinning technique for biomedical applications. **Polymer**, v. 49, n. 26, p. 5603-5621, 2008.

ALMEIDA, Ana Carolina Sergio et al. Application of nanotechnology in food packaging. **Polímeros**, v. 25, n. SPE, p. 89-97, 2015.

BARBANTI, Samuel H.; ZAVAGLIA, Cecília AC; DUEK, Eliana AR. Polímeros bioreabsorvíveis na engenharia de tecidos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 13- 21, 2005.

BITTENCOURT, Jéssyka Carolina. Fabricação e caracterização de nanofibras condutoras de Poli´-(álcool vinílico) com Polianilina (PVA/PANI) para a utilização em sensores de gás amônia. 2017. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual Paulista.59f.

BRAGA, Cátia Sofia Neves. Produção de fibras de base renovável pela técnica de electrospinning. 2015. **Tese de Doutorado**. Universidade do Minho.

CABRAL, Emanuelli L. et al. Síntese de nanofibras poliméricas por diversas técnicas parauso na área médica. **J. Mater**, p. 2008, 2009.

CAMPANA-FILHO, Sergio P. et al. Extracao, estruturas e propriedades de alpha-e beta- quitina. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 644, 2007.

CHEN, Yinyin et al. Multifunctional electrospinning composite fibers for orthotopic cancer treatment in vivo. **Nano Research**, v. 8, n. 6, p. 1917-1931, 2015.

COSTA, Rodrigo GF et al. Eletrofiação de Polímeros em Solução. Fundamentação Teórica. **Polymers**, 2011.

COSTA, Rodrigo GF et al. Electrospinning of polymers in solution: part II: applications and perspectives. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 178-185, 2012.

DE OLIVEIRA, Ariadne. H. P.; MOURA, José Américo S.; DE OLIVEIRA, Helinando P. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol/titanium dioxide microfibers. **Polimeros**, v. 23, n. 2, p. 196–200, 2013.

DE REZENDE DUEK, Eliana Aparecida et al. Dispositivo bilaminar de PVA/gelatina cultivado com células-tronco mesenquimais derivadas de tecido adiposo humano

como substituto cutâneo. **Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba**, v. 19, n. Supl., 2017.

DIMER, Frantiescoli Anversa et al. Impactos da nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos. **Química nova. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química**, 1978-. Vol. 36, n. 10 (2013), p. 1520-1526, 2013.

FARIAS, R. M. C. et al. Fibras e nanofibras de mulita: Uma breve revisão. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, p. 1–11, 2015.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, p. 811-816, 2006.

FREITAS, Jilian Nei de et al. Celulas fotovoltaicas hibridas de polimeros condutores e nanoparticulas inorganicas. 2009.**Tese de Doutorado**. Universidade Estadual de Campinas.301f.

GALVÃO, Cristina Maria, SAWADA, Namie Okino, TREVIZAN, Maria Auxiliadora. Revisão sistemática: recurso que proporciona a incorporação das evidências na prática da enfermagem. **Rev Latino-am Enfermagem** 2004 maio-junho; 12(3):549-56

GOMES, Rafaela Cardoso et al. Aplicações da nanotecnologia na indústria de alimentos. Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2015.

GOMES, Anne Velloso Sarmento; COSTA, Ney Róblis Versiani; MOHALLEM, Nelcy Della Santana. Os Tecidos e a Nanotecnologia. **Revista Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p. 288- 296, 2016.

GOY, R. C. et al. Análise da ação de filmes de quitosana e micro/nano partículas de própolis sobre colônias de bactérias gram-positivas. In: **Embrapa Instrumentação- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 6., 2012, Fortaleza. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. p. 108-110. Editores: Maria Alice Martins, MORSyleide de Freitas Rosa, Men de Sá Moreira de Souza Filho, Nicodemos Moreira dos Santos Junior, Odílio Benedito Garrido de Assis, Caue Ribeiro, Luiz Henrique Capparelli Mattoso., 2012.

GUERRINI, Lilia M. et al. Electrospinning of aqueous solution of poly (vinyl alcohol). **Polímeros**, v. 16, n. 4, p. 286-293, 2006.

LANGNER, Markus; GREINER, Andreas. Wet-Laid Meets Electrospinning: Nonwovens for Filtration Applications from Short Electrospun Polymer Nanofiber Dispersions. **Macromolecular rapid communications**, v. 37, n. 4, p. 351-355, 2016.

LEINDECKER, Gisele Cristina; ALVES, Annelise Kopp; BERGMANN, Carlos Pérez. Obtenção por electrospinning e caracterização de fibras de pentóxido de nióbio (Nb 2 O 5). **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, n. 2, 2013.

LOCILENTO, Danilo André. Produção e caracterização de mantas de nanofibras poliméricas eletrofiadas contendo proantocianidinas e sua potencial aplicação no tratamento de lesões cutâneas. **Tese**. 92 f, São Carlos 2018.

MENEZES, Felipe Castro. Eletrofiação de nanofibras poliméricas para uso em engenharia tecidual. 2017. **Dissertação**. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 73p.

MILLÁS, Ana Luiza Garcia et al. Instalação da tecnologia de electrospinning para a produção e caracterização de nanofibras de celulose incorporadas com óleos naturais. 2012.

**Tese de Mestrado**. Universidade Estadual de Campinas.131f.

MONTES, Simone de Souza; SANTANA-NETA, Lindanor Gomes; CRUZ, Renato Souza. Óleos essenciais em embalagens para alimentos-Revisão de literatura de 2000 a 2012. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 5, n. 1-2, p. 1, 2014.

NISTA, sylvia vaz guerra. Membranas de nanofibras com alta adesão para liberação bucal de fármacos. **Tese**. Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2016.

PACHEKOSKI, Wagner Mauricio; DALMOLIN, Carla; AGNELLI, José Augusto Marcondes. Blendas poliméricas biodegradáveis de PHB e PLA para fabricação de filmes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 4, p. 501-507, 2014.

PASCHOALIN, Rafaella Takehara et al. Desenvolvimento de nanofibras poliméricas por fiação por sopro em solução visando aplicação em engenharia de tecido. 2017. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de São Carlos. Programa-pós graduação em Química. 111f.

PEPE, Ana Catarina Ventura. Membranas Compósitas para Aplicação em Regeneração Óssea Guia **Dissertação**. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. 2016

PORTELA, Pedro Miguel Dourado. Montagem e automatização de um sistema de Electrospinning. Portugal: **Dissertação**-Universidade do Minho, 2010.

RESCH, Sibelly; FARINA, Milton Carlos. Mapa do conhecimento em nanotecnologia no setor agroalimentar. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 16, n. 3, p. 51-75, 2015.

ROCHA, Lucas Aninger de Barros. Estudo dos parâmetros de produção de tecidos a base de PCL e PCL/HAp produzidos via Eletrofição.2017. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Vale são Francisco. Programa-pós graduação em Ciências dos Materiais. Juazeiro.72f.

SCHWAB, Francisco Carlos C. Células Combustíveis a Alumínio: uma reavaliação oportuna para o planejamento energético brasileiro. **Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia**. Tópico Temático... Resende-RJ: Faculdade de Engenharia da AEDB, p. 7.2007.

SOUZA, Sarah Oliveira Lamas. Desenvolvimento e caracterização de nanofibras obtidas pela técnica de eletrofição coaxial visando a liberação de Bevacizumabe para o tratamento de degeneração macular relacionada a idade. 2016. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.

TAYLOR, Geoffrey Ingram. "Desintegration of Water Drops in an Electric Field," Proceedings of the Royal Society of London. Series A. **Mathematical and Physical Sciences**, vol. 280, pp. 383-397. 1964.

TRAINA, Agma Juci Machado; JR, Caetano Traina. Como fazer pesquisa bibliográfica, **SBH Horizontes**. Vol. 2, n. 2. 2009.

VÉLEZ, Beatriz Eugenia Campillo; SALAS, Guillermo León Zuleta. Bioética y nanotecnología. **Revista Lasallista de Investigación**, v. 11, n 1, p. 63-69. 2014.

VULCANI, Valcinir Aloisio Scalla. et al. In vivo biocompatibility of nanostructured Chitosan/Peo membranes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 4, p. 1039–1044, 2015.

ZANETTI-RAMOS, Betina Giehl; CRECZYNSKI-PASA, Tânia Beatriz. O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 89, n. 2, p. 95-101, 2008.

ZANIN, Maria Helena A.; CERIZE, Natalia NP; DE OLIVEIRA, Adriano M. Production of nanofibers by electrospinning technology: overview and application in cosmetics. In: **Nanocosmetics and Nanomedicines**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 311-3