



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

GIOVANNA MAROSCIA

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOFIBRAS DE PCL ASSOCIADA
AO BIOVIDRO E PCL ASSOCIADA AO BIOVIDRO DOPADO COM
MAGNÉSIO E LÍTIO**

2024

GIOVANNA MAROSCIA

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOFIBRAS DE PCL ASSOCIADA AO
BIOVIDRO E PCL ASSOCIADA AO BIOVIDRO DOPADO COM MAGNÉSIO E
LÍTIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia,
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte
das exigências para a obtenção do grau de CIRURGIÃO-DENTISTA.

Orientador: Prof. Assoc. Dr. Alexandre Luiz Souto Borges

Coorientadora: Me. Elisa Camargo Kukulka

São José dos Campos

2024

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2024]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Maroscia, Giovanna

Síntese e caracterização de nanofibras de PCL associada ao biovidro e PCL associada ao biovidro dopado com magnésio e lítio. / Giovanna Maroscia. - São José dos Campos : [s.n.], 2024.
43 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Graduação em Odontologia - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2024.

Orientadora: Alexandre Luiz Souto Borges

Coorientadora: Elisa Camargo Kukulka

1. Materiais Biocompatíveis. 2. Microscopia Eletrônica de Varredura. 3. Regeneração Óssea. I. Borges, Alexandre Luiz Souto, orient. II. Kukulka, Elisa Camargo, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assoc. Alexandre Luiz Souto Borges (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese

Prof. Assoc. Dimas Renó de Lima

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Departamento de Odontologia Social e Clínica Infantil

Prof. Assoc. Tarcísio José de Arruda Paes Junior

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese

São José dos Campos, 06 de março de 2024.

DEDICATÓRIA

A **Deus**, por ter me dado forças todos os dias para concluir o curso de Odontologia.

Aos meus pais, **Ricardo** e **Renata** e a minha irmã, **Gabriela** que sonharam junto comigo, acreditaram em mim e foram a minha fortaleza durante toda a vida. Sem eles nada disso seria possível.

Aos meus avós, **Ana**, **Mário**, **Silvia** e **Antero**, por todo incentivo aos estudos.

Ao meu namorado, **Augusto** pelo apoio, paciência e carinho todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP de São José dos Campos, minha segunda casa, que me proporcionou tanto crescimento, aprendizado e acolhimento. Com toda certeza foram os 5 anos mais especiais e felizes da minha vida!

A todos os **professores** da UNESP que passaram em nosso caminho e nos ensinaram com amor e dedicação sobre Odontologia durante os 5 anos de graduação. Vocês foram essenciais para o nosso crescimento.

Ao meu professor orientador **Alexandre Luiz Souto Borges**, que me incentivou na iniciação científica desde o primeiro ano da graduação, e esteve sempre disponível para me ajudar e ensinar.

A minha coorientadora **Elisa Camargo Kukulka** que me ensinou tanto sobre iniciação científica, sempre com muita paciência e dedicação.

Ao meu professor **Dimas Renó de Lima** minha eterna gratidão por todas as oportunidades, ensinamentos, paciência e por ter contribuído tanto para o meu aprendizado na Odontologia.

Ao meu professor **Tarcisio Arruda Paes Junior** por ter sido tão atencioso todos esses anos para que nós aprendêssemos muito, tanto na graduação, quanto nos projetos de extensão que tive o prazer de fazer parte como o Dentaduras S.A e o Projeto MEO.

A todas as **amizades** que construí durante a graduação, em especial minha irmã gêmea e dupla de todas as clínicas, **Sarah Coutinho Andria**, por todas as risadas, apoio, parceria, companheirismo e sintonia durante os atendimentos. Mesmo quando

achávamos que não conseguiríamos dar conta de algo, quando nos juntávamos tudo era possível. Vou guardar no coração tudo o que vivemos.

A todos os funcionários da universidade, principalmente a **Josi, Fernandinho, Lilian, Renan e Betinha** que sempre estavam lá para nos auxiliar da melhor forma possível, com muita dedicação, amor e alegria.

Aos **projetos de extensão** que tive o prazer de fazer parte durante a graduação, que me fizeram crescer muito como ser humano e profissionalmente. Foram eles: Programa de Educação Tutorial (PET), Projeto MEO, Dentaduras S.A e Companhia Dentes Brilhantes.

Ao **Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC)** por ter me concedido a bolsa de iniciação científica para a realização deste trabalho tão importante.

“Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão”.

Isaías 40:31

RESUMO

Maroscia G. Síntese e caracterização de nanofibras de PCL associada ao biovidro e PCL associada ao biovidro dopado com Magnésio e Lítio [trabalho de conclusão de curso]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2024.

Objetivo: O estudo teve por finalidade sintetizar e caracterizar morfológica e físico-quimicamente nanofibras de PCL associada ao biovidro e nanofibras de PCL associada ao biovidro dopado com íons magnésio e lítio, a fim de analisar se houve influência dos íons no resultado morfológico das fibras produzidas e definir a melhor associação de parâmetros para a otimização da produção. **Material e Métodos:** Para a síntese das fibras, três soluções foram preparadas a partir da dissolução de 0,4 g de PCL em 2 mL de acetona e ficaram sob agitação constante em um agitador magnético por 24h. Após a dissolução, foi acrescentado 6% em massa de biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado, uma solução contendo biovidro dopado com Mg e outra solução contendo biovidro dopado com Li e ficaram sob agitação até total dissolução. Após a dissolução total, a solução foi colocada em uma seringa de plástico com agulha de ponta reta de 0,7 mmØ e submetida ao processo de eletrospinning sob alguns parâmetros que foram alternados como fluxo (1,5 e 2 mLh⁻¹), distância (10, 12 e 15 cm) e voltagem (10, 12 e 15 kV). As membranas produzidas foram caracterizadas por MEV, DRX, EDS, FTIR e Goniometria. **Resultados:** Com base nos resultados obtidos foi possível observar que as fibras obtidas através da associação dos parâmetros resultaram em produção de fibras satisfatórias e com ausência de defeitos. **Conclusão:** Considerando os resultados obtidos, foi possível sintetizar e caracterizar os biomateriais, assim como encontrar os melhores parâmetros de eletrospinning em cada grupo.

Palavras-chave: Materiais Biocompatíveis, Microscopia Eletrônica de Varredura, Regeneração Óssea.

ABSTRACT

Maroscia G. Synthesis and characterization of PCL nanofibers associated with bioglass and PCL associated with magnesium and lithium-doped bioglass [graduation final work]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2024.

Objective: The study aimed to synthesize and characterize morphologically and physicochemically PCL nanofibers associated with bioglass and PCL nanofibers associated with magnesium and lithium-doped bioglass, in order to analyze whether the ions influenced the morphological outcome of the produced fibers and to define the best parameter association for production optimization. **Material and Methods:** For fiber synthesis, three solutions were prepared by dissolving 0.4 g of PCL in 2 mL of acetone and were continuously stirred on a magnetic stirrer for 24 hours. After dissolution, 6% by mass of bioglass produced by the sol-gel Precipitation route was added, one solution containing Mg-doped bioglass and another solution containing Li-doped bioglass, and they were stirred until complete dissolution. After complete dissolution, the solution was placed in a plastic syringe with a straight tip needle of 0.7 mmØ and subjected to the electrospinning process under several parameters that were alternated, such as flow rate (1.5 and 2 mLh⁻¹), distance (10, 12, and 15 cm), and voltage (10, 12, and 15 kV). The produced membranes were characterized by SEM, XRD, EDS, FTIR, and Goniometry. **Results:** Based on the obtained results, it was possible to observe that the fibers obtained by the combination of parameters resulted in satisfactory fiber production with an absence of defects. **Conclusion:** Considering the obtained results, it was feasible to synthesize and characterize the biomaterials, as well as determine the best electrospinning parameters in each group.

Keywords: Coated Materials, Scanning Electron Microscopy, Bone Regeneration.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 Síntese das soluções poliméricas	12
2.2 Processo de eletrofiação	13
2.3 Caracterização morfológica das fibras.....	15
2.3.1 Microscopia eletrônica de varredura	15
2.3.2 Análise dos diâmetros das fibras	15
2.3.3 Análise do ângulo de contato.....	16
2.4 Caracterização físico-química das fibras	17
2.4.1 Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS).....	17
2.4.2 Difratometria de raios X	17
2.4.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier FTIR ..	17
3 RESULTADOS.....	18
3.1 Caracterização morfológica das fibras.....	18
3.1.1 Análise de superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura	18
com emissão de campo	18
3.1.2 Análise do diâmetro médio das fibras	25
3.1.3 Análise estatística das fibras	26
3.1.4 Análise da molhabilidade utilizando a técnica do ângulo de contato...	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FIBRAS	34
3.2.1 Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS).....	34
3.2.2 Difratometria de raios X (DRX)	37
3.2.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	38
4 DISCUSSÃO	39
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Entre os distúrbios que acometem os pacientes odontológicos, a perda óssea tem sido um dos que mais dificulta o processo de reabilitação. Na odontologia, as perdas ósseas normalmente ocorrem devido à ausência de função ou doenças infecto-inflamatórias. A doença periodontal, doença infecto-inflamatória, pode resultar em perda de inserção óssea e destruição óssea alveolar, podendo levar a perda do elemento dental e à perda de função [1].

Devido aos crescentes estudos e resultados favoráveis dos biomateriais na área da saúde, a utilização dos mesmos está sendo amplamente difundida. Esses materiais possuem várias áreas de aplicação, como auxílio na cicatrização, regeneração de tecido ósseo, liberação de fármacos e ação antimicrobiana, além de grande biocompatibilidade com os tecidos [2], tornando-se importantes na recuperação ou substituição dos tecidos do corpo [3].

Como biomateriais podemos citar os biopolímeros, como a policaprolactona (PCL), polímero que tem como características ser um polímero sintético de excelente biocompatibilidade, bioabsorvível e de baixo custo, além de ser aprovado pela FDA (Food and Drug Administration) e usado clinicamente como material para liberação de fármacos [4]. Também é capaz de estimular a diferenciação de células mesenquimais em condrócitos e osteócitos [5].

Outros exemplos de biomateriais são os biovidros, que ao liberar íons cálcio e fósforo, auxiliam na formação de uma camada de apatita carbonatada, promovendo formação óssea, mineralização [6], expressão gênica de osteoblastos e osteoindutividade, além de possuir biodegradação superior a outros biomateriais, tornando-se alternativa para o reparo ósseo na forma de *scaffolds* [7].

Estudos mostram que a incorporação de elementos bioativos como Ag, Cu, Sr e Zn em biovidros contribuíram para melhorar as atividades antibacteriana, osteogênica e angiogênica dos biovidros [8–10].

Íons como o Li possuem a capacidade de contribuir no processo de regeneração e reparação óssea, já que aumentam a proliferação de células mesenquimais e a proliferação e diferenciação das células do ligamento periodontal através da ativação de vias de sinalização [11,12]. Já íons como o Mg contribuem com

a formação óssea, cicatrização e além disso possuem propriedades mecânicas, biocompatibilidade adequada e favorece a biodegradação do biovidro, reduzindo a formação de hidroxiapatita no material [13].

Uma maneira de se produzir compósitos com a finalidade de unir as qualidades dos biopolímeros aos biovidros dopados com íons terapêuticos é a eletrofiação, que é um instrumento eficiente na produção de fibras ultrafinas a partir de soluções poliméricas. Este processo depende de vários fatores ambientais e do processo, como tensão elétrica, razão de fluxo, distância do capilar ao coletor, temperatura, umidade, concentração e viscosidade da solução, parâmetros que podem influenciar diretamente no resultado final das fibras produzidas [14].

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Síntese das soluções poliméricas

Três soluções foram preparadas a partir da dissolução de 0,4 g de policaprolactona (PCL) em 2 mL de acetona e ficaram sob agitação constante em um agitador magnético por 24h. Após a dissolução, foi acrescentado 6% em massa de biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado, uma solução contendo biovidro dopado com Mg e outra solução contendo biovidro dopado com Li e ficaram sob agitação até total dissolução.



Figura 1 – Três soluções foram colocadas no agitador magnético por 24 horas: biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado, biovidro dopado com Mg e biovidro dopado com Li.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 Processo de eletrofiação

Após a dissolução total, a solução foi colocada em uma seringa de plástico com agulha de ponta reta de 0,7 mmØ e submetida ao processo de eletrofiação sob alguns parâmetros que foram alternados como fluxo (1,5 e 2 mLh⁻¹), distância (10, 12 e 15 cm) e voltagem (10, 12 e 15 kV).



Figura 2 – Processo de eletrofiação.
Fonte: Elaborado pelo autor.

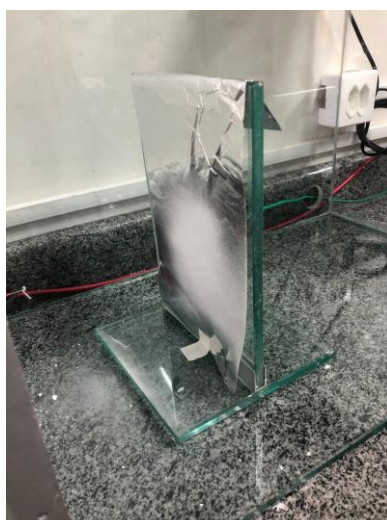


Figura 3 – Membranas obtidas pelo processo de eletrofiação.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela I – Grupos resultantes das associações dos parâmetros de eletrofiação

	1,5 mLh ⁻¹ (10, 12 e 15 cm) e (10, 12 e 15 kV)	2,0 mLh ⁻¹ (10, 12 e 15 cm) e (10, 12 e 15 kV)
PCL+P	Grupo A	Grupo B
PCL+Mg	Grupo C	Grupo D
PCL+Li	Grupo E	Grupo F

Legenda: PCL+P) Fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado. PCL+Mg) Fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado dopado com íons Mg. PCL+Li) Fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado dopado com íons Li.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 Caracterização morfológica das fibras

2.3.1 Microscopia eletrônica de varredura

As membranas que foram obtidas a partir da eletrofiação foram analisadas sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) do Laboratório de Apoio à Pesquisa do Departamento Materiais Odontológicos e Prótese (ICT-UNESP).

Amostras de 0,5 x 0,5 cm da folha de alumínio de cada padrão morfológico gerado das nanofibras foram recobertos com ouro (SC7620 Mini Sputer Coater/Glow Discharge System, Emitech, East Sussex, RU) e analisados por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para avaliar a morfologia, alinhamento, diâmetro e quantidade das fibras.

2.3.2 Análise dos diâmetros das fibras

O diâmetro das fibras dos espécimes foi analisado por meio de software de análise de imagem ImageJ (Versão 1.44o, National Publicof Health) a partir das micrografias que foram obtidas a partir do MEV. As micrografias foram divididas em 9 quadrantes, sendo 8 quadrantes submetidos a 10 mensurações de diâmetro e 1 quadrante submetido a 20 mensurações, totalizando 100 mensurações em cada imagem, podendo ser observado na Figura 4.

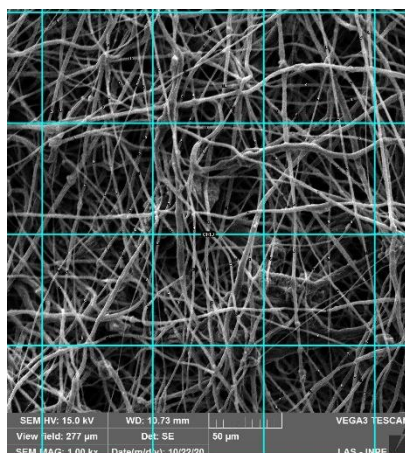


Figura 4 – Micrografia utilizada para a realização das mensurações do diâmetro das fibras pelo software Image J.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.3 Análise do ângulo de contato

Para a análise de molhabilidade, foram preparadas 3 amostras de cada grupo de fibras. As fibras ultra finas foram eletrofiadas sobre folhas de alumínio com diâmetro de 13 mm. Foi mensurado o ângulo de contato médio por meio de um goniômetro óptico (TL 1000 – Invoiced freight, Theta Lite, Attension, Lichfield, Staffordshire, RU) com a técnica de gota séssil com um líquido: água destilada. Previamente à análise, cada amostra foi manuseada com luvas cuidadosamente para evitar contaminação.

Uma seringa graduada para dispersão gradual (Gastight Syringes #1001 – 1 mL, Hamilton, Reno, Nevada, EUA) com agulha hidrofóbica depositou a gota e o ângulo de contato médio direito e esquerdo foi calculado pelo programa computacional OneAttension (Biolin Scientific, Lichfield, Staffordshire, RU). Os ângulos de contato médios da água foram calculados pelo próprio programa.

2.4 Caracterização físico-química das fibras

2.4.1 Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS)

Para realização de análise qualitativa da composição química dos elementos químicos das fibras, foi utilizado um espectrômetro por dispersão de energia (EDS) (Bruker Nano GmbH 410, Berlin, Alemanha) associado ao software Espirit 1.9 (Bruker, Berlin, Alemanha) no MEV (Inspect S50, FEI Company, Brno, República Tcheca).

2.4.2 Difractometria de raios X (DRX)

Para realização de análise qualitativa do padrão de difratometria, as amostras analisadas foram preparadas no formato 3 x 3 cm e posicionadas no aparelho de DRX, (Shimadzu XRD7000, radiação $\text{CuK}\alpha$, $2\theta = 20-80^\circ$, 0 mA, 40 kV). Instituto de Ciências e Tecnologia - UNIFESP, São José dos Campos.

2.4.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A composição química da superfície das fibras ultrafinas foi analisada utilizando o espectrômetro de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) (Parkin-Elmer, modelo Spectrum GX) no modo UATR na região do médio 500-4000 cm^{-1} , 32 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} através do programa Spectrom Saurch Plus.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização morfológica das fibras

3.1.1 Análise de superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura com emissão de campo (MEV)

Com base nos resultados obtidos foi possível observar que as fibras obtidas através da associação dos parâmetros resultaram em produção de fibras satisfatórias e com ausência de defeitos. Considerando a associação de menor diâmetro das fibras, menor tensão e distância, menor desvio padrão e ausência de defeitos podemos eleger o melhor parâmetro dentro de cada grupo.

Para o grupo A a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo A7 ($1,08 \pm 0,30$, 10 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo B a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo B1 ($0,67 \pm 0,13$, 10 kV, 10 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo C a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo C8 ($0,84 \pm 0,13$, 12 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo D a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo D7 ($0,82 \pm 0,14$, 10 kV, 15 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo E a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo E1 ($1,23 \pm 0,21$, 10 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo F a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo F4 ($1,14 \pm 0,19$, 10 kV, 12 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Avaliando a melhor associação de parâmetros entre os grupos foi possível observar que para as fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado a melhor associação de parâmetros para eletrofiação foi a associação do subgrupo B1 ($0,67 \pm 0,13$, 10 kV, 10 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para as fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado dopado com Mg a melhor associação de parâmetros para eletrofiação foi a associação

do subgrupo D7 ($0,82 \pm 0,14$, 10 kV, 15 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para as fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado dopado com Li a melhor associação de parâmetros para eletrofiação foi a associação do subgrupo F4 ($1,14 \pm 0,19$, 10 kV, 12 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

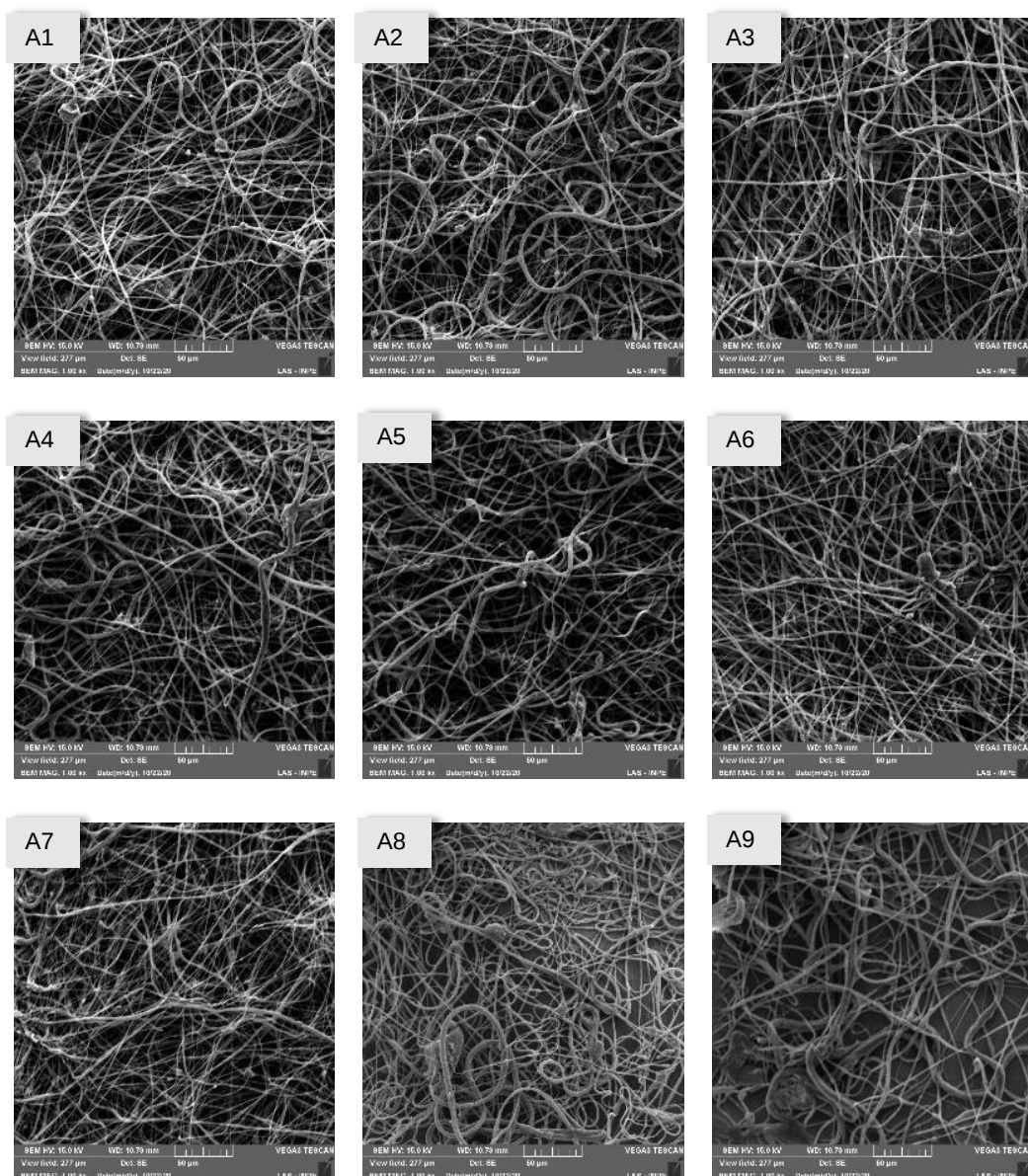


Figura 5 - Micrografias obtidas no grupo A. A1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. A9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

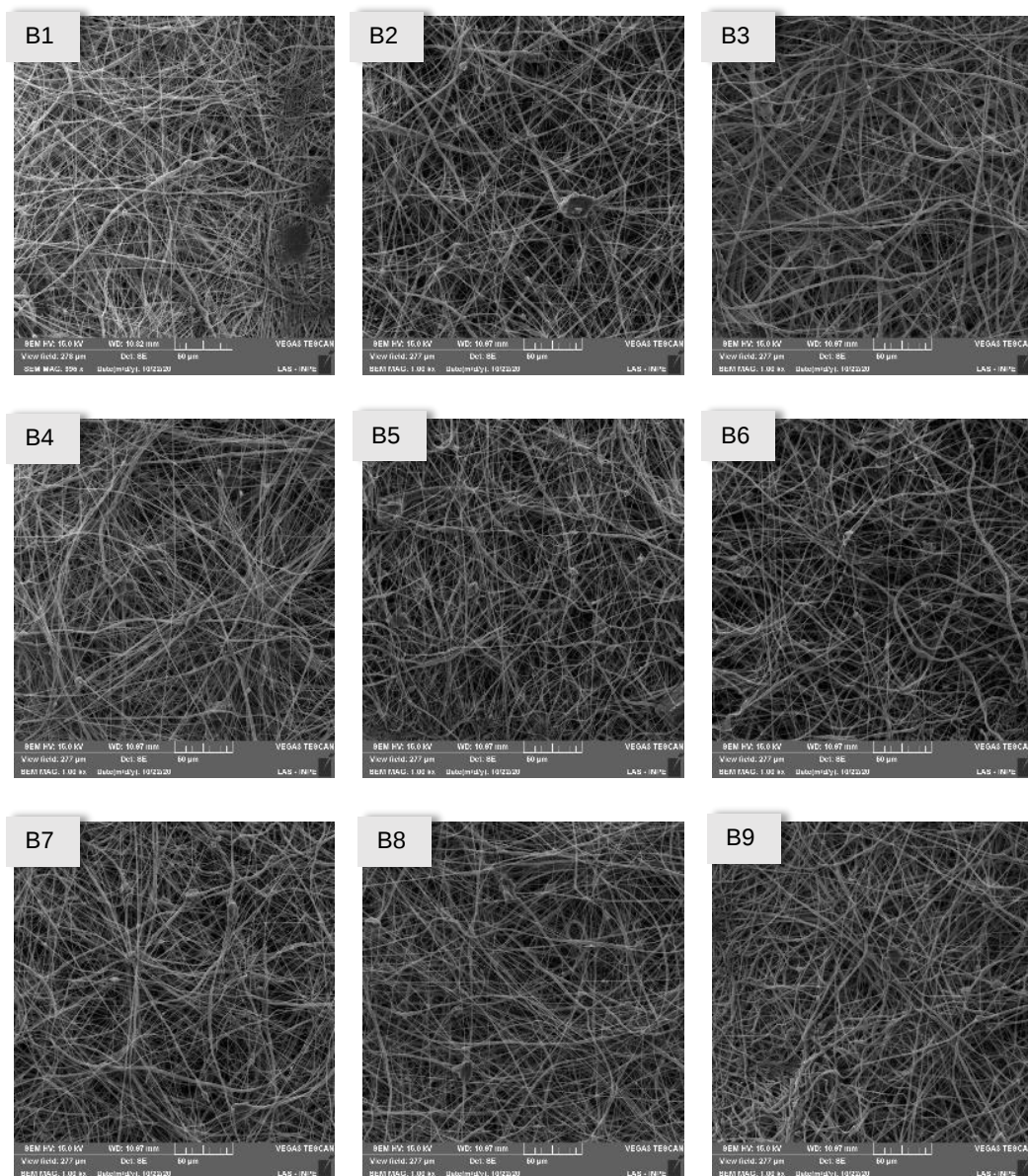


Figura 6 – Micrografias obtidas no grupo B. B1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. B9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

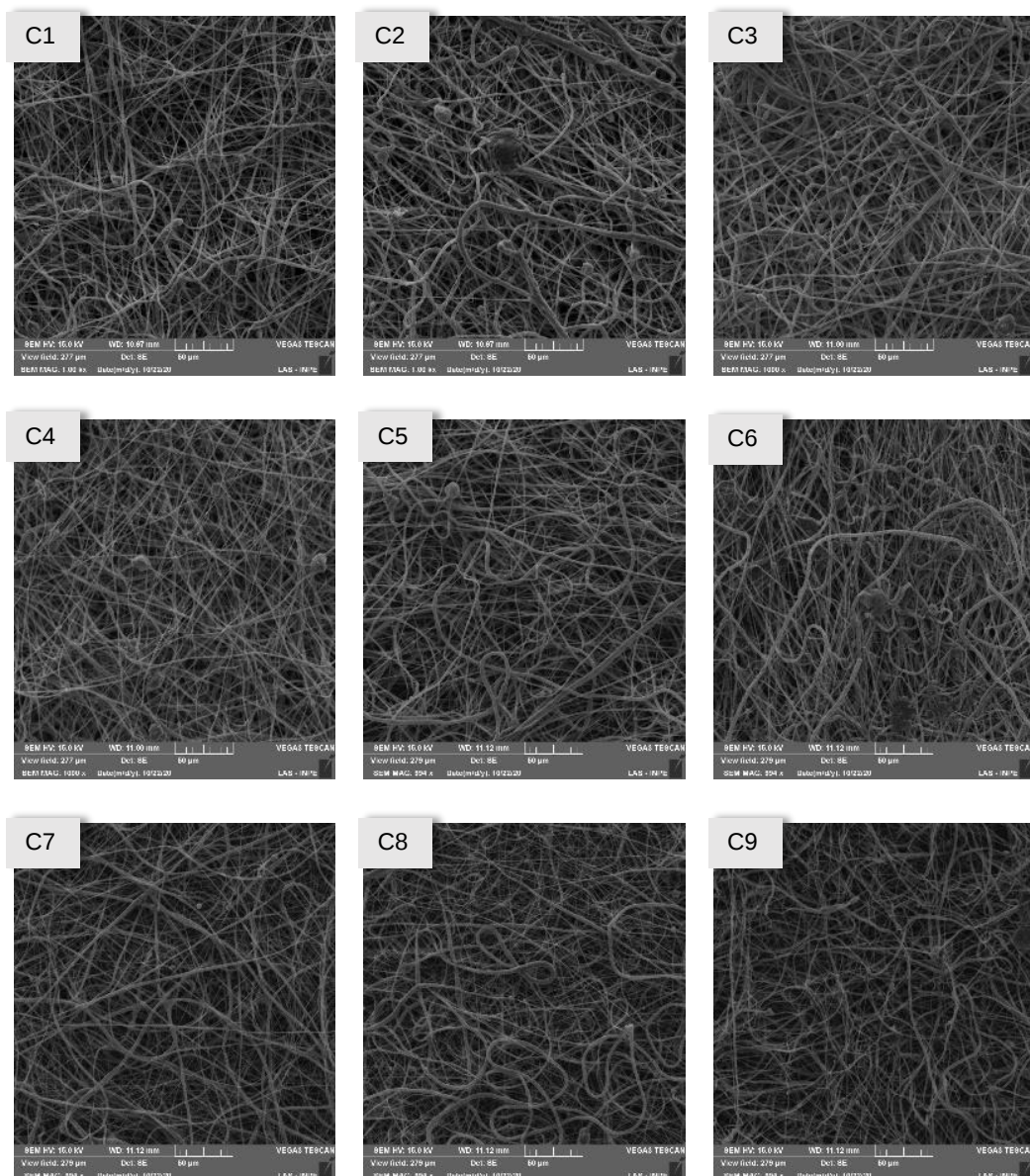


Figura 7 – Micrografias obtidas no grupo C. C1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. C9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

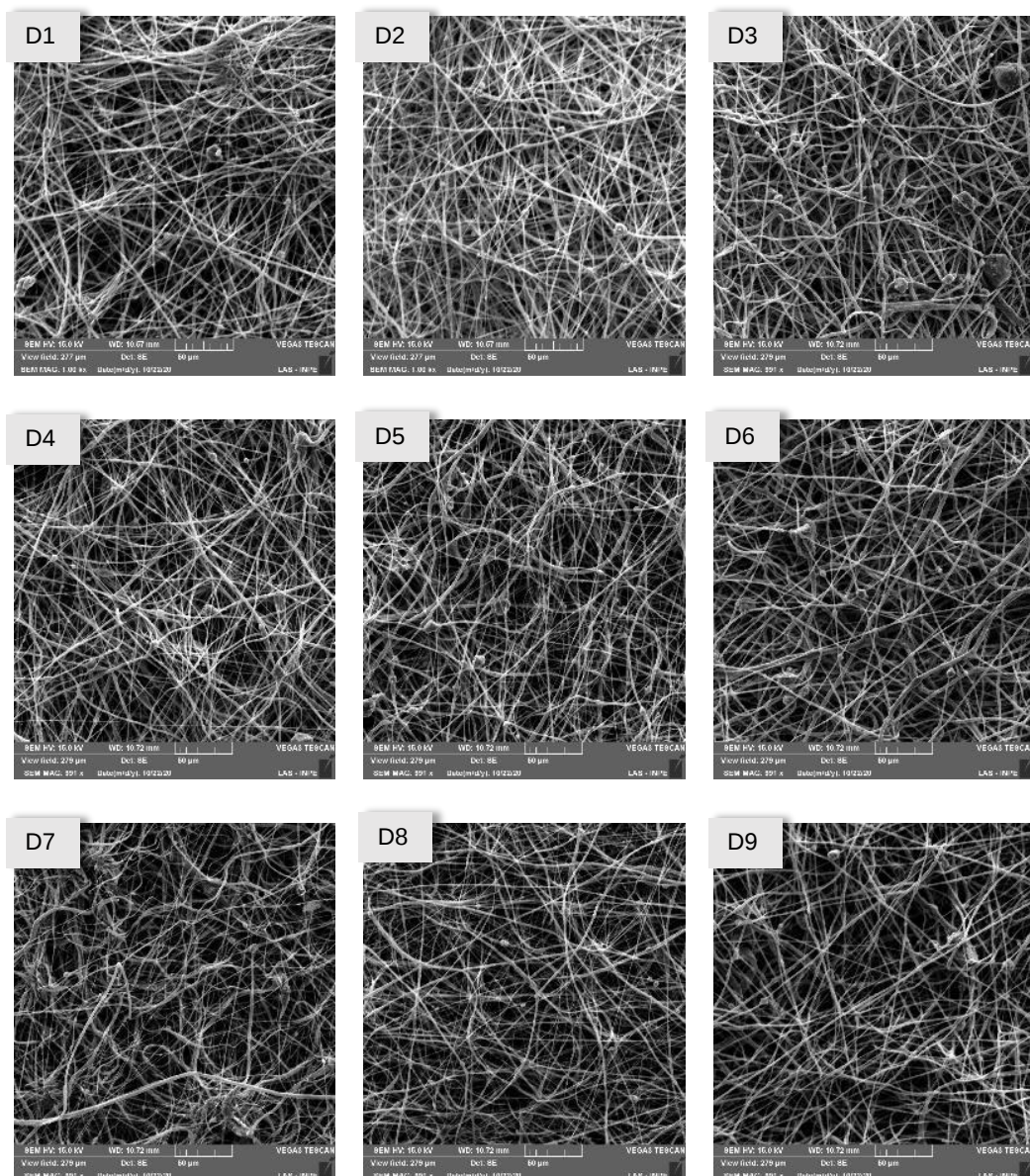


Figura 8 – Micrografias obtidas no grupo D. D1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

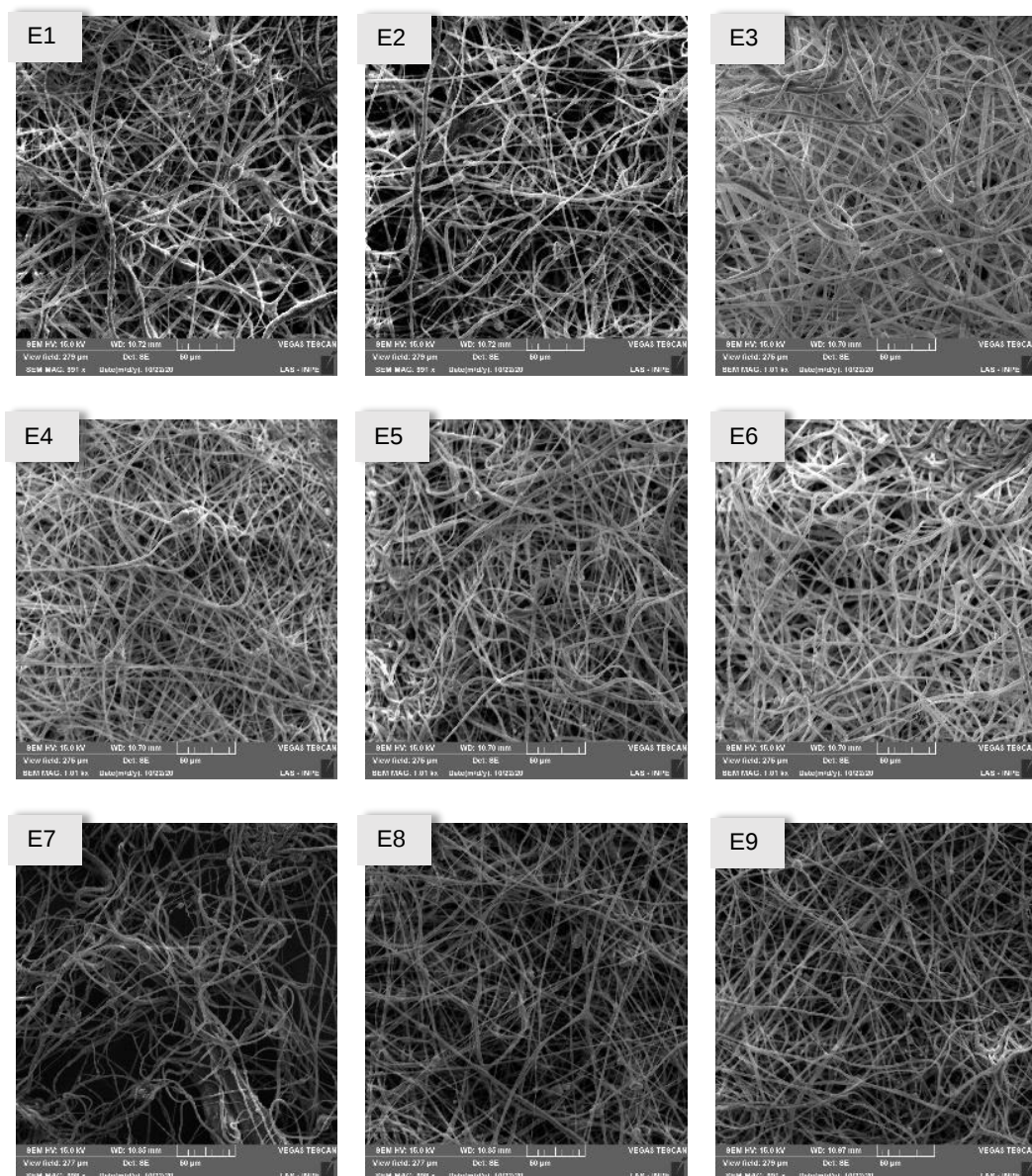


Figura 9 – Micrografias obtidas no grupo E. E1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. E9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

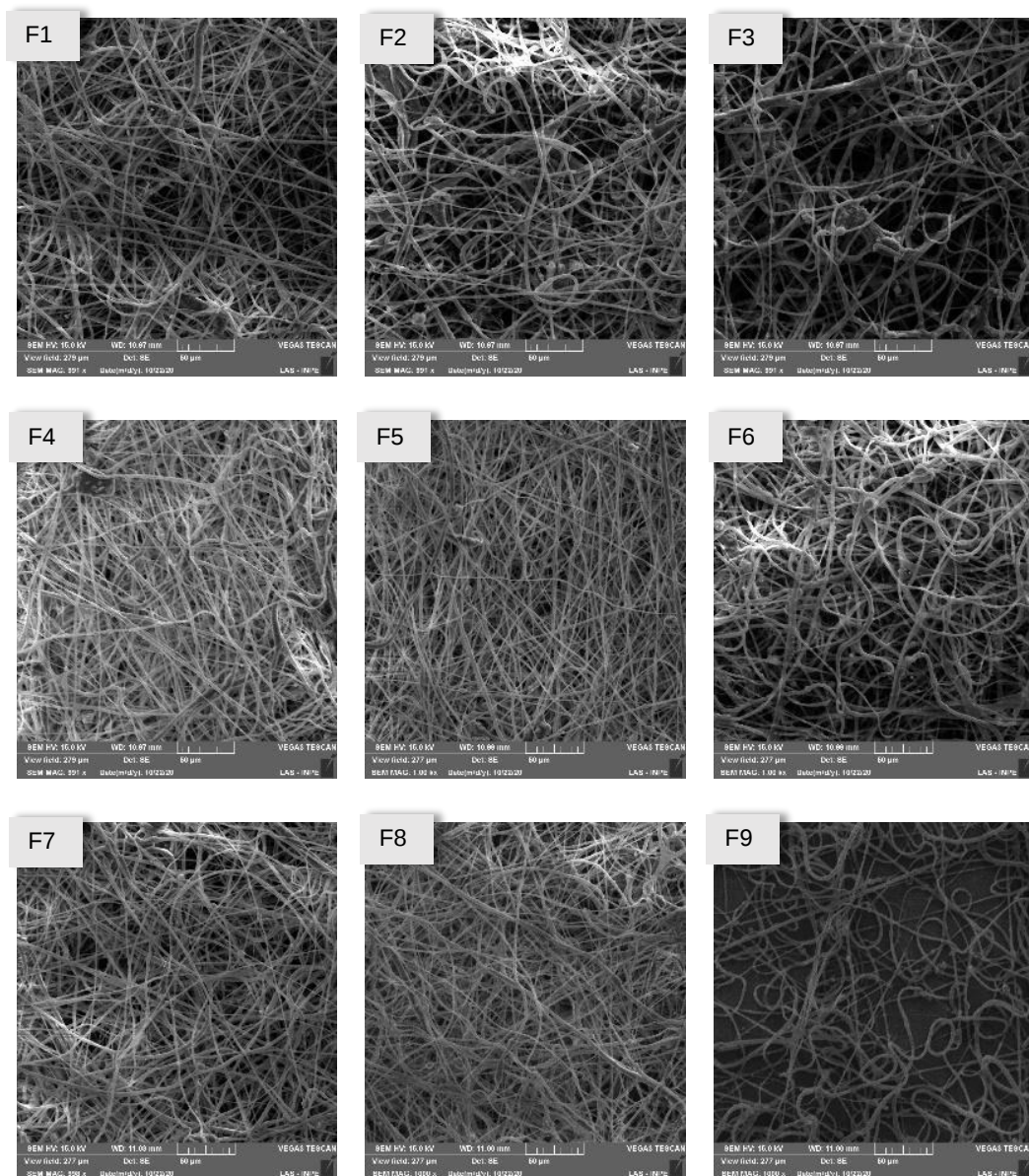


Figura 10 – Micrografias obtidas no grupo F. F1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. F9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2 Análise do diâmetro médio das fibras

Para os dados obtidos pelo teste de análise do diâmetro das fibras foram realizadas análises descritivas com cálculo de média e desvio padrão, que podem ser observados nas Tabelas II a VII.

Tabela II – Dados obtidos para as fibras do grupo A

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
MÉDIA	1,24	1,21	1,54	1,58	1,60	1,59	1,08	1,39	2,08
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESVIO PADRÃO	0,35	0,26	0,31	0,26	0,30	0,22	0,30	0,22	0,40

Legenda: Valores obtidos em micrômetros para média ± desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela III – Dados obtidos para as fibras do grupo B

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
MÉDIA	0,67	0,99	1,02	0,94	1,03	1,02	0,75	0,83	0,95
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESVIO PADRÃO	0,13	0,14	0,19	0,15	0,16	0,18	0,14	0,15	0,15

Legenda: Valores obtidos em micrômetros para média ± desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela IV - Dados obtidos para as fibras do grupo C

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
MÉDIA	1,24	1,09	1,24	0,99	1,01	1,30	0,82	0,90	1,20
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESVIO PADRÃO	0,25	0,17	0,18	0,19	0,17	0,19	0,14	0,14	0,19

Legenda: Valores obtidos em micrômetros para média ± desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela V – Dados obtidos para as fibras do grupo D

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
MÉDIA	1,23	1,34	1,72	1,25	1,34	1,78	1,43	1,33	1,35
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESVIO PADRÃO	0,21	0,23	0,29	0,19	0,20	0,27	0,20	0,22	0,22

Legenda: Valores obtidos em micrômetros para média ± desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela VI – Dados obtidos para as fibras do grupo E

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
MÉDIA	1,23	1,34	1,72	1,25	1,34	1,78	1,43	1,33	1,35
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESVIO PADRÃO	0,21	0,23	0,29	0,19	0,20	0,27	0,20	0,22	0,22

Legenda: Valores obtidos em micrômetros para média ± desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela VII – Dados obtidos para as fibras do grupo F

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
MÉDIA	1,39	1,39	1,61	1,14	1,22	1,41	1,40	1,33	1,53
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESVIO PADRÃO	0,20	0,22	0,29	0,19	0,17	0,25	0,24	0,21	0,27

Legenda: Valores obtidos em micrômetros para média ± desvio padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3 Análise estatística das fibras

Para as variáveis em análise, os dados foram submetidos à análise estatística por meio de programas computacionais: MINITAB (Minitab, version 17.2.1, 2015) e Origin (Microcalorigin, 6.0, USA).

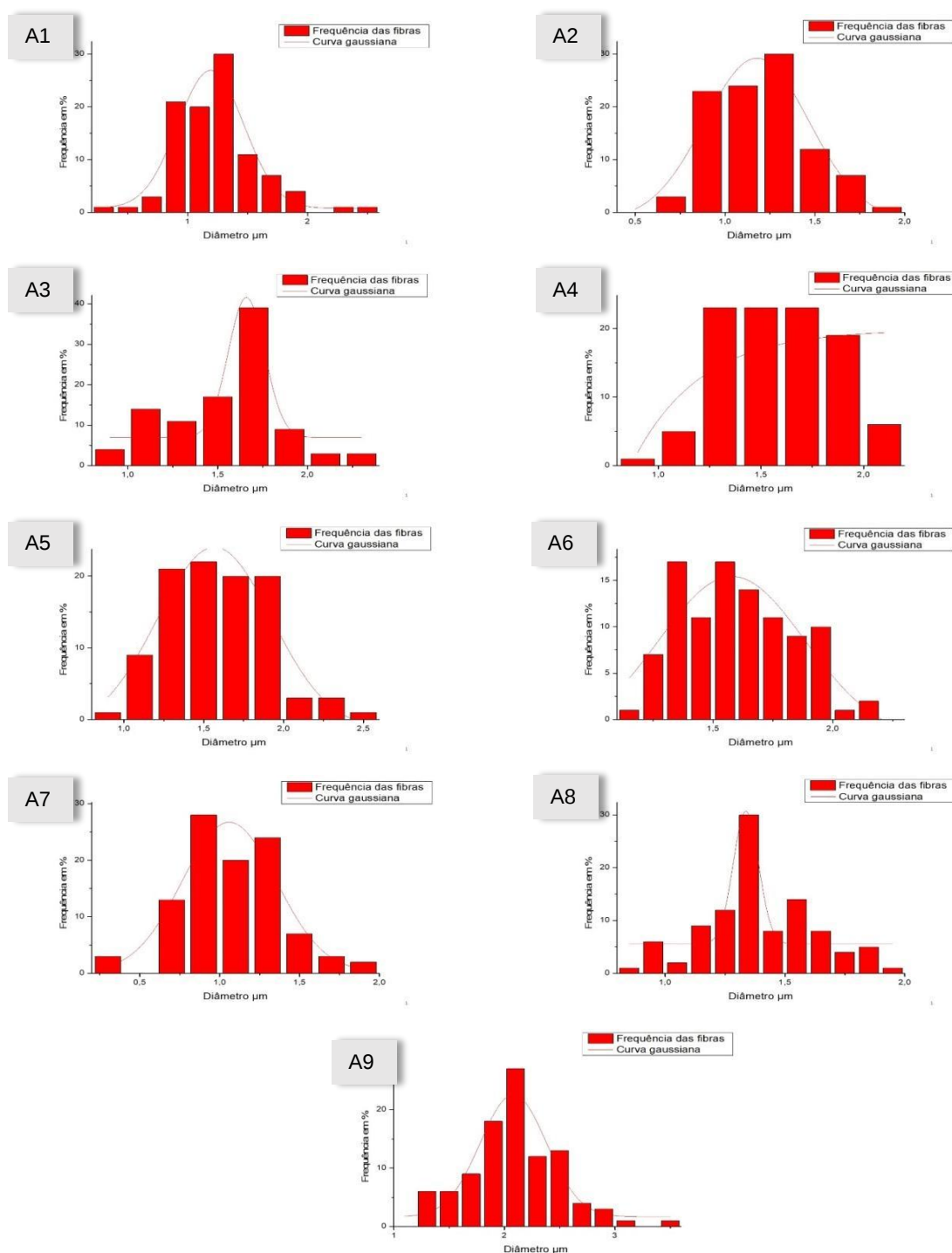


Figura 11 - Análises estatísticas obtidas no grupo A. A1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo. A9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 1,5 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

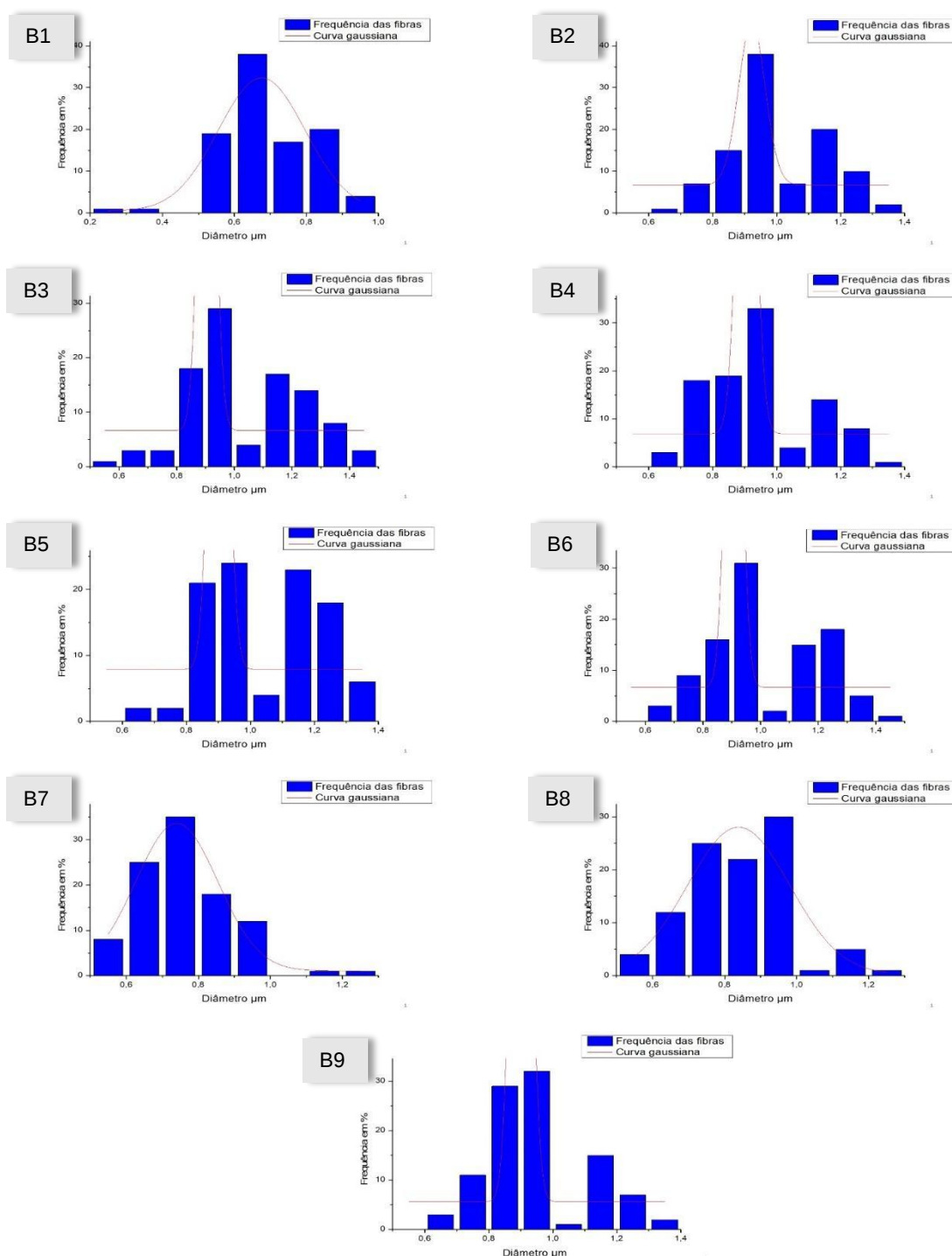


Figura 12 - Análises estatísticas obtidas no grupo B. B1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. B9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

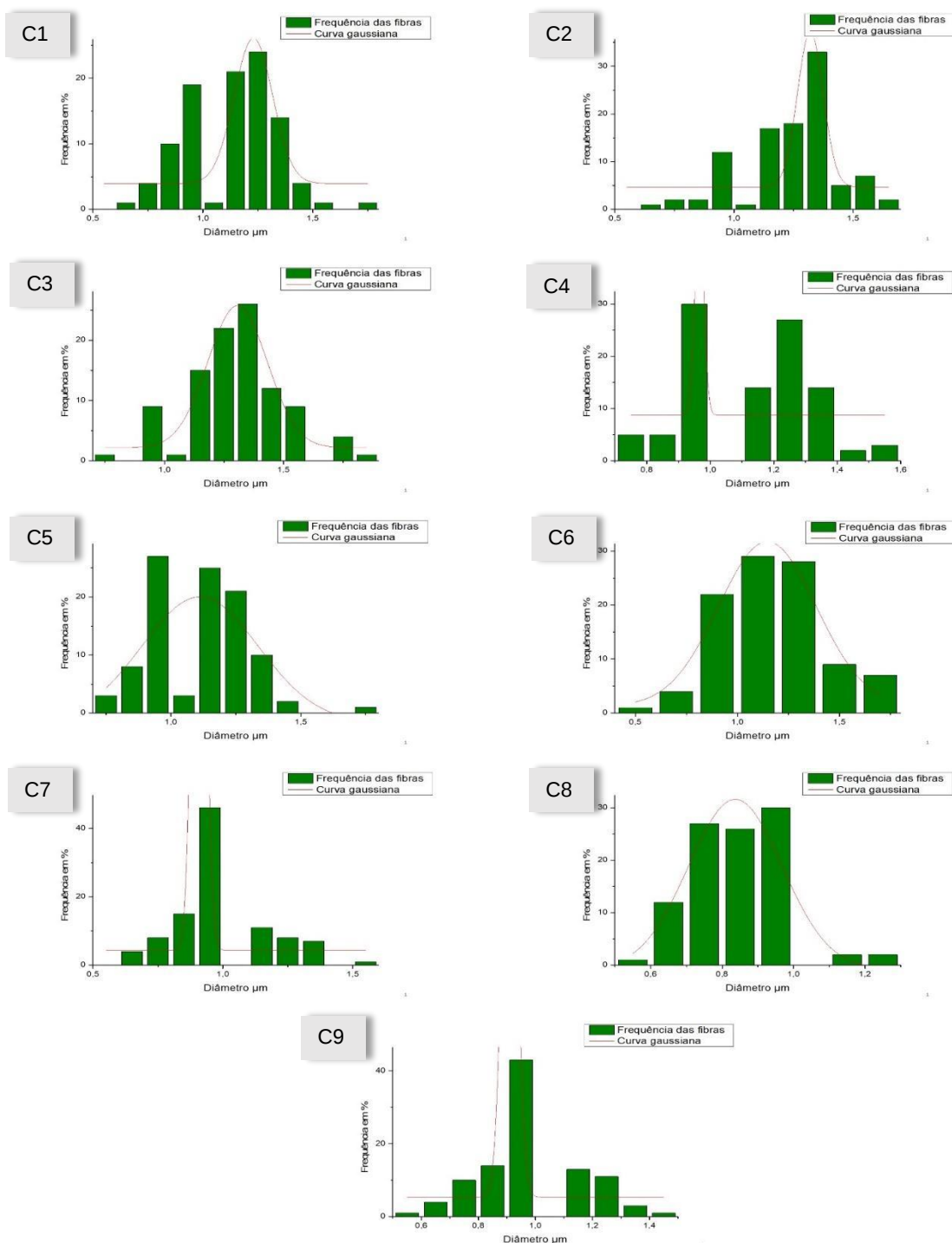


Figura 13 - Análises estatísticas obtidas no grupo C. C1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo. C9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 1.5 mLh^{-1} de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

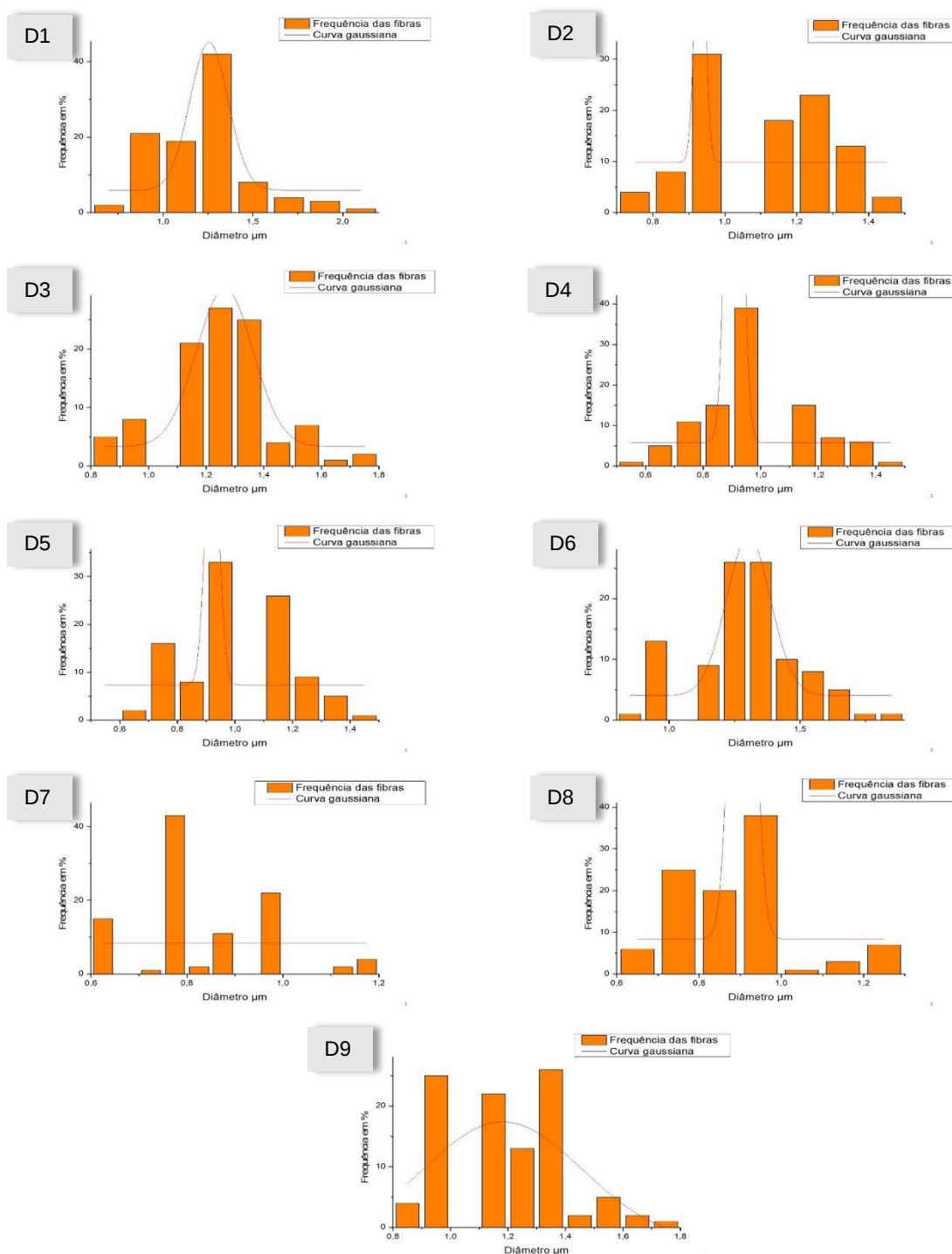


Figura 14 - Análises estatísticas obtidas no grupo D. D1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo. D9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 2 mLh⁻¹ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

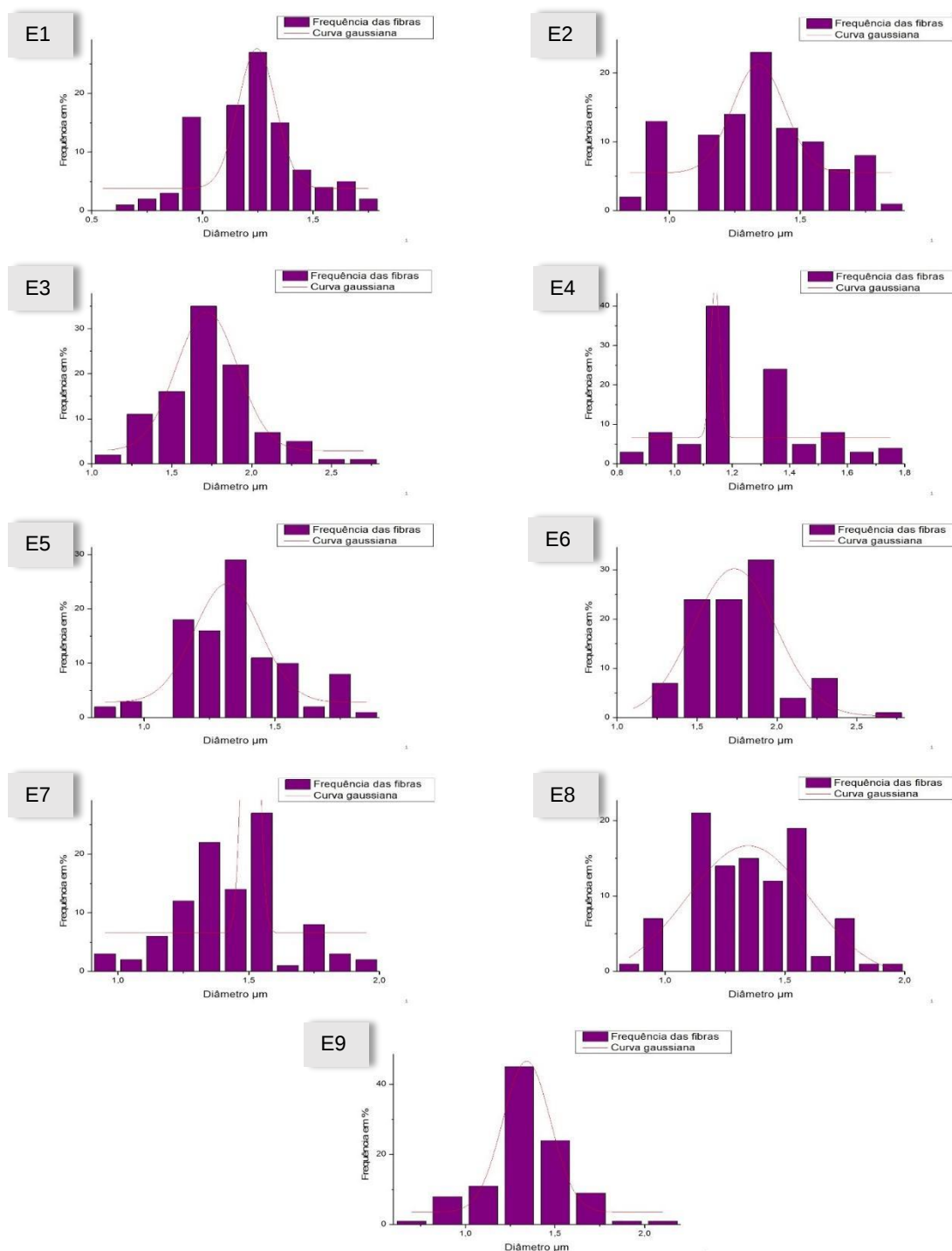


Figura 15 - Análises estatísticas obtidas no grupo E. E1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo. E9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

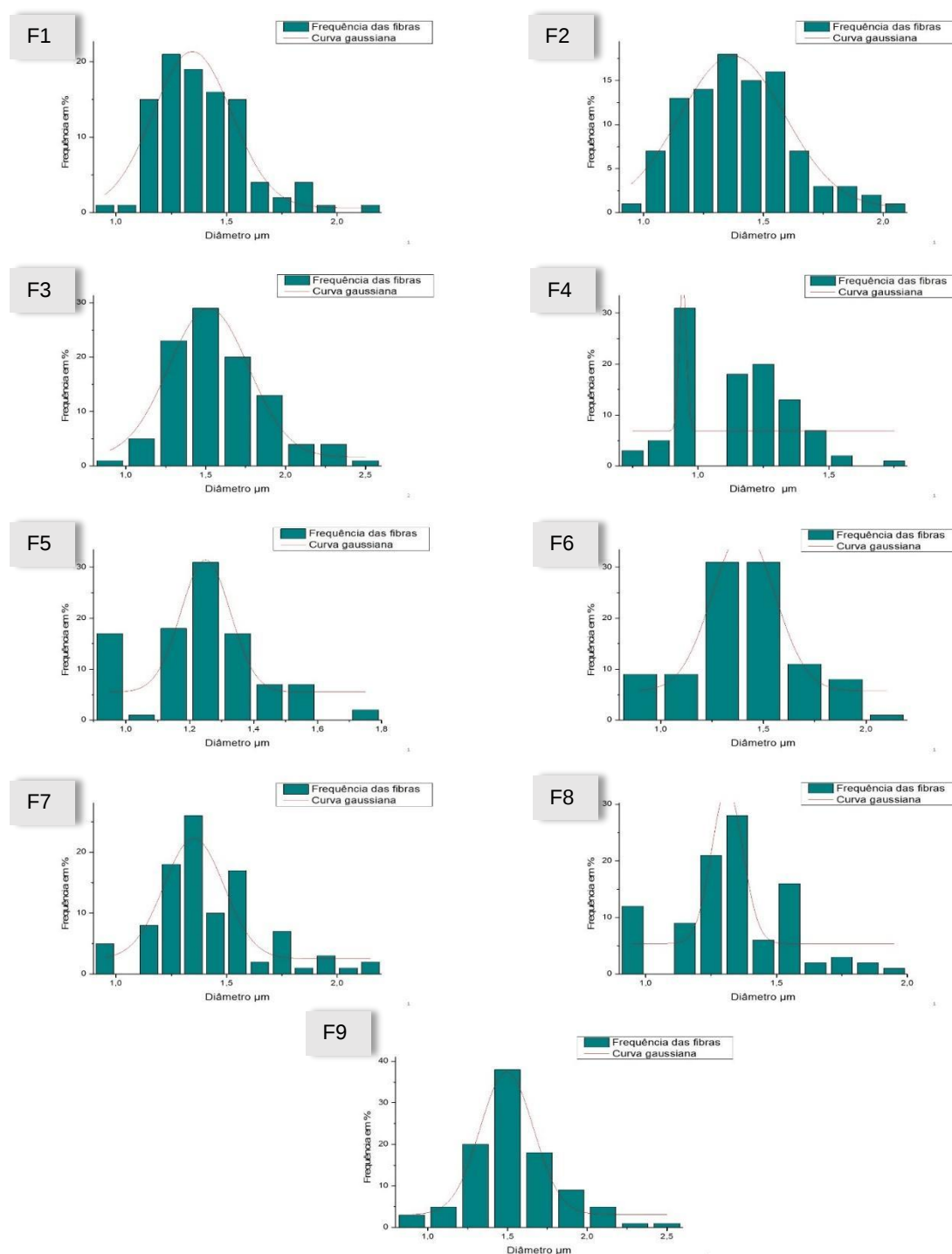


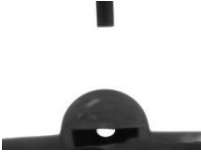
Figura 16 - Análises estatísticas obtidas no grupo F. F1) Associação dos parâmetros 10 kV, 10 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F2) Associação dos parâmetros 12 kV, 10 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F3) Associação dos parâmetros 15 kV, 10 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F4) Associação dos parâmetros 10 kV, 12 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F5) Associação dos parâmetros 12 kV, 12 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F6) Associação dos parâmetros 15 kV, 12 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F7) Associação dos parâmetros 10 kV, 15 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F8) Associação dos parâmetros 12 kV, 15 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo. F9) Associação dos parâmetros 15 kV, 15 cm e 2 mLh^{-1} de fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.4 Análise da molhabilidade utilizando a técnica do ângulo de contato

Os resultados obtidos através da análise da molhabilidade pelo ângulo de contato dos grupos de fibras podem ser observados em valores médios na Tabela VIII.

Tabela VIII – Dados médios do ângulo de contato para as fibras de PCL e PCL com biovidro

Grupo	Imagem	Média do ângulo médio
PCL P		$98,24^{\circ} \pm 6,76$
PCL + Mg		$87,09^{\circ} \pm 14,26$
PCL + Li		$111,07^{\circ} \pm 9,76$

Legenda: PCL P) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado. PCL + Mg) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Mg. PCL + Li) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Li.
Fonte: Elaborado pelo autor.

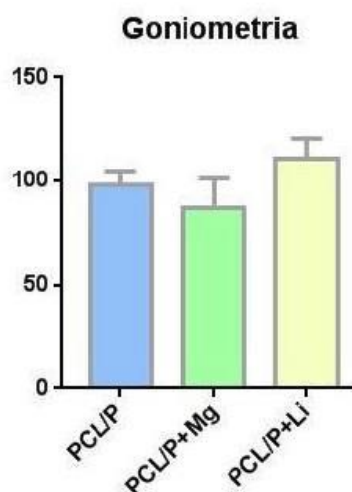


Figura 17 – Valores da análise do ângulo de contato. PCL P) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado. PCL P Mg) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Mg. PCL P Li) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Li.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados obtidos pela análise da molhabilidade (Figura 17) foi observado que todos os grupos são estatisticamente semelhantes. O grupo PCL/P+Mg apresentou fibras com os menores ângulos de contato. Os dados da análise da molhabilidade mostram o caráter hidrofóbico das fibras produzidas em todos os grupos.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FIBRAS

3.2.1 Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS)

Os dados obtidos por EDS realizados nas fibras produzidas apresentam a presença dos elementos químicos nas fibras e comprovam a presença dos materiais utilizados para a produção. Para as fibras de PCL com biovidro sol-gel e sol-gel precipitado podemos observar alguns elementos como por exemplo carbono, oxigênio, cálcio, silício e cloro, que são característicos do biovidro produzido.

As análises químicas com os componentes de cada grupo de fibras podem ser observadas nas Figuras 18 a 20.

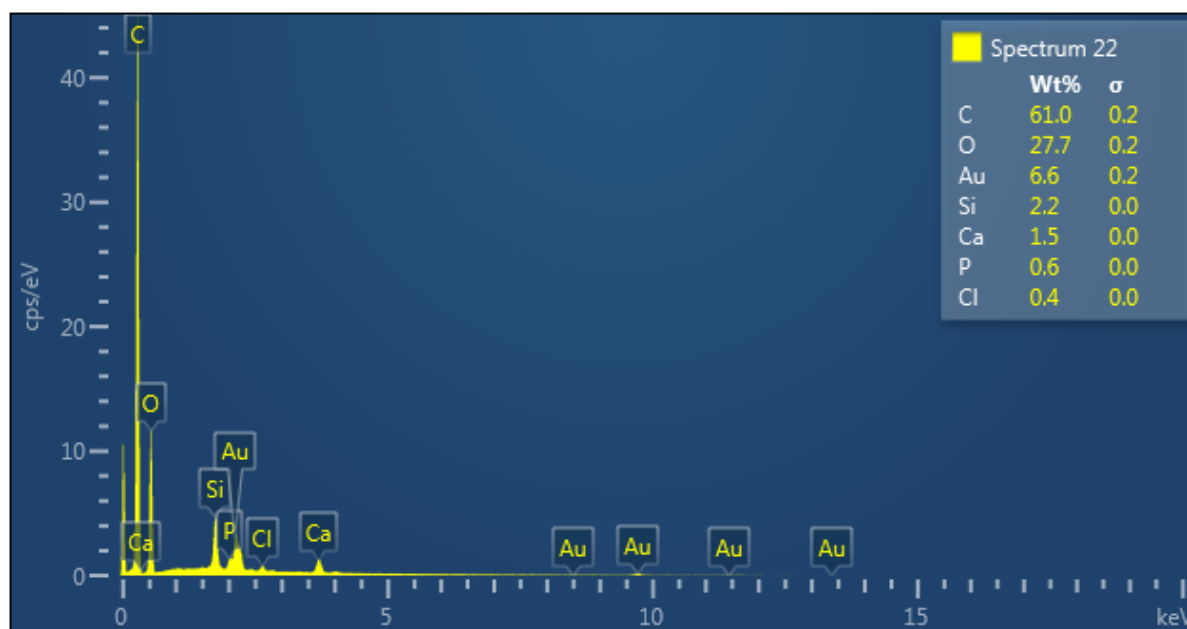


Figura 18 - Análise química por espectroscopia de raios X por dispersão em energia. EDS referente às fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel.
Fonte: Elaborado pelo autor.

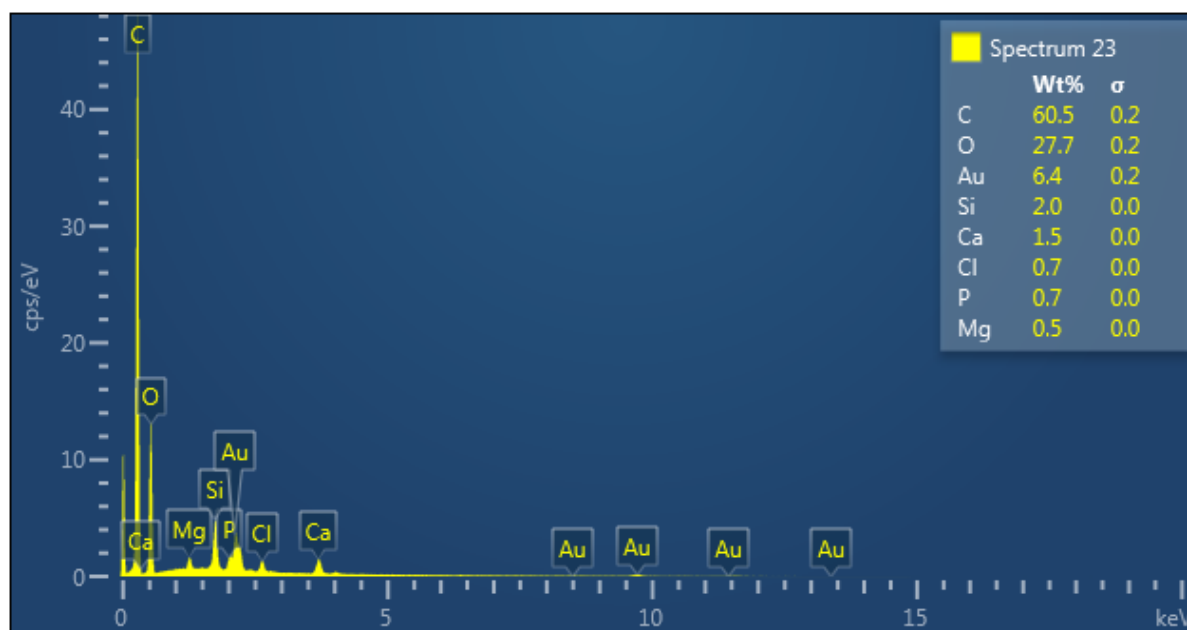


Figura 19 - Análise química por espectroscopia de raios X por dispersão em energia. EDS referente às fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com íons Mg^{2+} .
Fonte: Elaborado pelo autor.

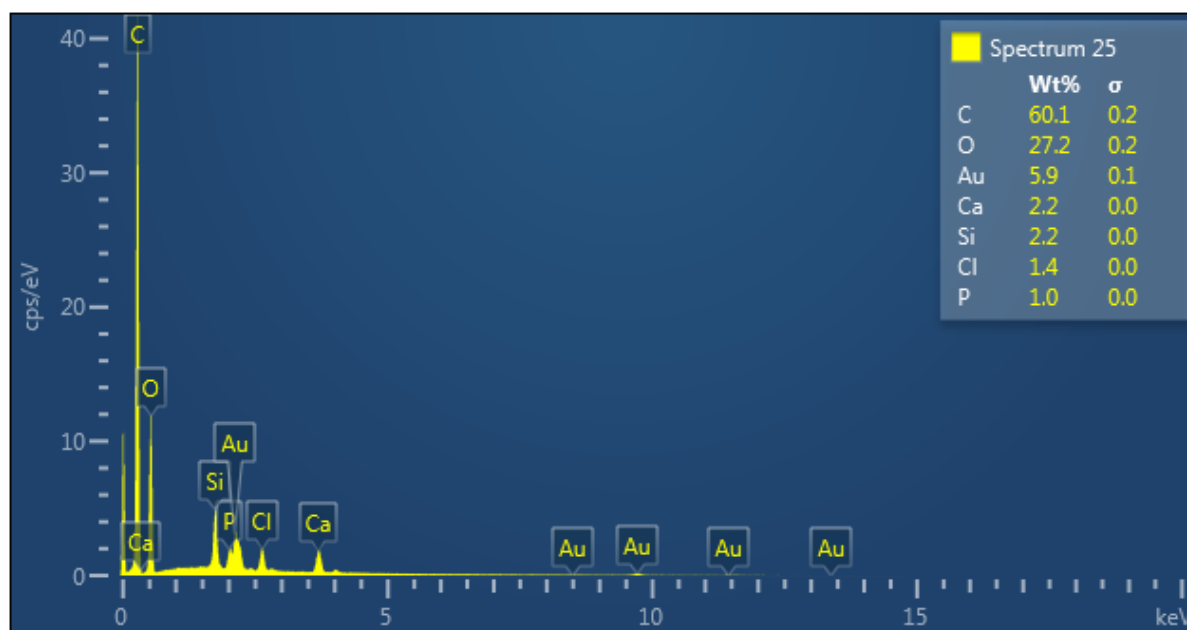


Figura 20 - Análise química por espectroscopia de raios X por dispersão em energia. EDS referente às fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com íons Li^+ .
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Difractometria de raios X (DRX)

O difratograma de raios X para as fibras de PCL com biovidro é mostrado na Figura 21.

O padrão “P” mostra-se característico de um material amorfo como o biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado e evidencia picos de hidroxiapatita precipitados do biovidro.

O padrão “Mg” apresenta picos de CaMgSiO_6 que apontam que o Mg foi incorporado à estrutura do material, sendo um indicativo de homogeneidade e o padrão “Li” aponta uma ausência de cristalização de fases que sejam diferentes do padrão “P” controle.

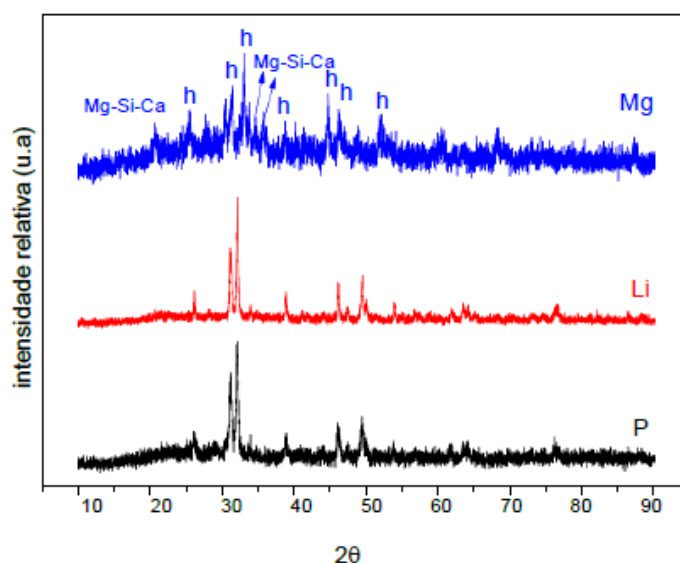


Figura 21 – Difratomogramas dos biomateriais produzidos. Mg) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Mg. Li) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Li. P) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A partir dos dados obtidos pelo FTIR das fibras de PCL com os biovidros foi possível observar bandas referente às estruturas químicas sílica (Si-O-Si), fosfato (PO_4) e grupo silanol (SiOH), indicativo de intensa adesão celular ao material.

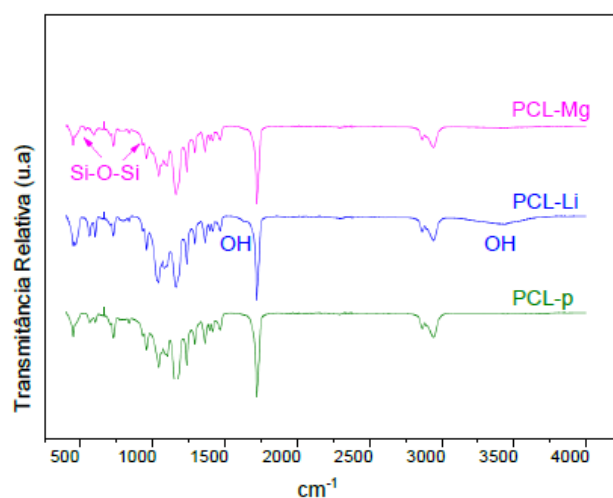


Figura 22 – Espectro de infravermelho dos materiais produzidos. PCL-Mg) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Mg. PCL-Li) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado dopado com Li. PCL-P) Fibras de PCL com biovidro produzidas pela rota sol-gel precipitado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DISCUSSÃO

A utilização dos biomateriais na Odontologia está sendo cada vez mais difundida pela capacidade de contribuição nas substituições e regenerações das estruturas ósseas [15].

Segundo Beachley et al. [16], a alteração de parâmetros como a tensão aplicada e a composição da solução influenciam diretamente no comprimento, diâmetro e uniformidade da fibra produzida, concordando com os estudos realizados.

Sabe-se que vários fatores influenciam no processo de eletrofiação como por exemplo a tensão aplicada, fluxo, distância entre a agulha da seringa e o substrato, concentração e viscosidade do biomaterial, temperatura e umidade do ambiente, entre outros [17].

Analisando os resultados do FTIR das fibras de PCL com os biovidros, foi possível observar bandas referente às estruturas químicas sílica (Si-O-Si), fosfato (PO₄) e grupo silanol (SiOH), sendo um indicativo de intensa adesão celular ao material, concordando com os trabalhos realizados [14].

A análise química por espectroscopia de raios X por dispersão em energia (DRX) comprovou a presença dos materiais usados na produção das fibras. Segundo Liu et al. [18] e este estudo, elementos químicos como oxigênio e carbono estão presentes nas fibras, sendo estruturas características do PCL.

Através dos resultados obtidos pela análise da molhabilidade, percebeu-se o caráter hidrofóbico das fibras produzidas em todos os grupos, sendo uma propriedade característica do polímero PCL, assim como foi mostrado em trabalhos de Son et al. [19], em que o caráter do PCL + PMMA também se mostrou hidrofóbico no momento da goniometria. Assim que foi acrescentado uma quantidade maior apenas do PMMA, o ângulo de contato diminuiu, tendo uma característica mais hidrofílica, comprovando o comportamento hidrofóbico do PCL.

Outro estudo que concorda com os trabalhos realizados foi o de Unalan et al. [20], em que na análise de molhabilidade mostrou que o PCL possui caráter hidrofóbico com um alto valor do ângulo de contato, e que quando foi adicionado outro biomaterial diferente do PCL, o PEP, o ângulo de contato também diminuiu.

Os dados obtidos pelo EDS realizados nas fibras produzidas comprovam a

presença dos materiais utilizados para a produção. Foram observados elementos como carbono, oxigênio, cálcio, silício e cloro, característicos do biovidro produzido, concordando com a pesquisa de Fonseca [2].

5 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, foi possível sintetizar e caracterizar os biomateriais produzidos. Os resultados mostram que todos os componentes utilizados estavam presentes nas fibras produzidas, assim como os íons utilizados estavam presentes nos biovidros produzidos. Além disso, foi possível definir os melhores parâmetros de eletrofiação para cada grupo.

Para o grupo A a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo A7 ($1,08 \pm 0,30$, 10 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo B a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo B1 ($0,67 \pm 0,13$, 10 kV, 10 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo C a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo C8 ($0,84 \pm 0,13$, 12 kV, 15 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo D a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo D7 ($0,82 \pm 0,14$, 10 kV, 15 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo E a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo E1 ($1,23 \pm 0,21$, 10 kV, 10 cm e $1,5 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para o grupo F a melhor associação de parâmetros foi a do subgrupo F4 ($1,14 \pm 0,19$, 10 kV, 12 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Avaliando a melhor associação de parâmetros entre os grupos foi possível observar que para as fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado a melhor associação de parâmetros para eletrofiação foi a associação do subgrupo B1 ($0,67 \pm 0,13$, 10 kV, 10 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para as fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado dopado com Mg a melhor associação de parâmetros para eletrofiação foi a associação do subgrupo D7 ($0,82 \pm 0,14$, 10 kV, 15 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

Para as fibras de PCL com biovidro produzido pela rota sol-gel precipitado dopado com Li a melhor associação de parâmetros para eletrofiação foi a associação do subgrupo F4 ($1,14 \pm 0,19$, 10 kV, 12 cm e $2,0 \text{ mLh}^{-1}$ de fluxo).

REFERÊNCIAS

- [1] Kim SY, Kim YK, Kim HS, Yun PY, Kim SG, Choi YH. Extraction socket sealing using palatal gingival grafts and resorbable collagen membranes. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 2017;39(1):1–7. doi: 10.1186/S40902-017-0137-X/FIGURES/3
- [2] Fonseca GF da [UNESP]. Síntese e caracterização de scaffolds de Pcl/Biovidro: estudo in vitro da biocompatibilidade e da diferenciação celular 2018; doi: 10.17616/R31NJN39
- [3] Bugarin Júnior JG, Garrafa V. Bioética e biossegurança: uso de biomateriais na prática odontológica. *Rev Saude Publica*. 2007;41(2):223–8. doi: 10.1590/S0034-89102007000200008
- [4] Wang B, Zheng H, Chang MW, Ahmad Z, Li JS. Hollow polycaprolactone composite fibers for controlled magnetic responsive antifungal drug release. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2016;145:757–67. doi: 10.1016/J.COLSURFB.2016.05.092
- [5] Anindyajati A, Boughton P, Ruys A. Fabrication and Microstructure Evaluation of Fibrous Composite for Acetabular Labrum Implant. *Materials Science Forum*. 2017;900:17–22. doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/MSF.900.17
- [6] R. V. Pereira, Á. Aragones, G. O. M. Barra, G. V. Salmoria, M. C. Fredel. BIOVIDRO OSTEOCONDUTOR SINTETIZADO PELO PROCESSO SOL-GEL. 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba: 2012
- [7] Orshesh Z, Borhan S, Kafashan H. Physical, mechanical and in vitro biological evaluation of synthesized biosurfactant-modified silanated-gelatin/sodium alginate/45S5 bioglass bone tissue engineering scaffolds. *J Biomater Sci Polym Ed*. 2020;31(1):93–109. doi: 10.1080/09205063.2019.1675226
- [8] Hoppe A, Güldal NS, Boccaccini AR. A review of the biological response to ionic dissolution products from bioactive glasses and glass-ceramics. *Biomaterials*. 2011;32(11):2757–74. doi: 10.1016/J.BIOMATERIALS.2011.01.004
- [9] Zhu DY, Lu B, Yin JH, Ke QF, Xu H, Zhang CQ, et al. Gadolinium-doped bioglass scaffolds promote osteogenic differentiation of hBMSC via the Akt/GSK3 β pathway and facilitate bone repair in vivo. *Int J Nanomedicine*. 2019;14:1085–100. doi: 10.2147/IJN.S193576
- [10] Douglas TEL, Dziadek M, Gorodzha S, Lišková J, Brackman G, Vanhoorne V, et al. Novel injectable gellan gum hydrogel composites incorporating Zn- and Sr-enriched bioactive glass microparticles: High-resolution X-ray microcomputed tomography, antibacterial and in vitro testing. *J Tissue Eng Regen Med*. 2018;12(6):1313–26. doi: 10.1002/TERM.2654
- [11] Cao L, Weng W, Chen X, Zhang J, Zhou Q, Cui J, et al. Promotion of in vivo degradability, vascularization and osteogenesis of calcium sulfate-based bone cements containing nanoporous lithium doping magnesium silicate. *Int J Nanomedicine*. 2017;12:1341–52. doi: 10.2147/IJN.S124965
- [12] Gao S, Wang Y, Wang X, Lin P, Hu M. Effect of lithium ions on cementoblasts in the presence of lipopolysaccharide in vitro. *Exp Ther Med*. 2015;9(4):1277–82. doi: 10.3892/etm.2015.2276
- [13] Karakuzu-Ikizler B, Terzioğlu P, Basaran-Elalmis Y, Tekerek BS, Yücel S. Role of magnesium and aluminum substitution on the structural properties and bioactivity of bioglasses synthesized from biogenic silica. *Bioact Mater*. 2020;5(1):66–73. doi: 10.1016/J.BIOACTMAT.2019.12.007
- [14] de Souza JR, Sato TP, Borges ALS. Arquitetura de arcabouços para biomateriais: Influência dos parâmetros do processo na morfologia estrutural de fibras de quitosana eletrofiadas. *Braz Dent Sci*. 2017;20(4):100–5. doi: 10.14295/BDS.2017.V20I4.1495

- [15] Sinhoreti MAC, Vitti RP, Correr-Sobrinho L. Biomateriais na Odontologia: panorama atual e perspectivas futuras. *Rev Assoc Paul Cir Dent*. 2013;67(4):256–61
- [16] Beachley V, Wen X. Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length. *Materials Science & Engineering C*. 2008;29:663–8. doi: 10.1016/j.msec.2008.10.037
- [17] Suresh S, Becker A, Glasmacher B. Impact of Apparatus Orientation and Gravity in Electrospinning—A Review of Empirical Evidence. *Polymers* 2020, Vol 12, Page 2448. 2020;12(11):2448. doi: 10.3390/POLYM12112448
- [18] Liu Q, Wang H, Chen L, Li W, Zong Y, Sun Y, et al. Enzymatic degradation of fluorinated Poly(ϵ -caprolactone) (PCL) block copolymer films with improved hydrophobicity. *Polym Degrad Stab*. 2019;165:27–34. doi: 10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2019.04.018
- [19] Son SR, Linh NTB, Yang HM, Lee BT. In vitro and in vivo evaluation of electrospun PCL/PMMA fibrous scaffolds for bone regeneration. *Sci Technol Adv Mater*. 2013;14(1). doi: 10.1088/1468-6996/14/1/015009
- [20] Unalan I, Slavik B, Buettner A, Goldmann WH, Frank G, Boccaccini AR. Physical and Antibacterial Properties of Peppermint Essential Oil Loaded Poly (ϵ -caprolactone) (PCL) Electrospun Fiber Mats for Wound Healing. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019;7:488792. doi: 10.3389/FBIOE.2019.00346/BIBTEX