



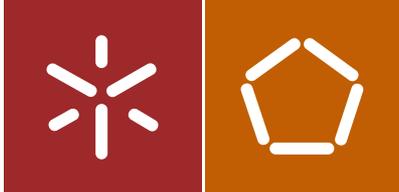
Jefferson Mendes de Souza

Desenvolvimento de nanopartículas de
óleo essencial com atividade biológica
para aplicação têxtil

Universidade do Minho
Escola de Engenharia







Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Jefferson Mendes de Souza

Desenvolvimento de nanopartículas de
óleo essencial com atividade biológica
para aplicação têxtil

Tese de Doutoramento
Doutoramento em Engenharia Têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Raul Manuel Esteves Sousa Figueiro
Doutor Andrea Zille

DECLARAÇÃO

Nome: Jefferson Mendes de Souza
Endereço electrónico: jefferson@ufpi.edu.br

Telefone: 968 583 001/ 910 627 626

Número do Bilhete de Identidade: Título de Residência 4736D12X3

Título dissertação /tese

Desenvolvimento de nanopartículas de óleo essencial com atividades biológicas para aplicação têxtil

Orientadores:

Professor Doutor Raul Manuel Esteves Sousa Fanguero

Doutor Andrea Zille

Ano de conclusão: 2018

Designação do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Doutoramento em Engenharia Têxtil

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respectiva, deve constar uma das seguintes declarações:

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ___/___/___

Assinatura: 

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, ____ de _____ de _____

Nome completo: Jefferson Mendes de Souza

Assinatura: 

AGRADECIMENTOS

A realização do trabalho no Doutorado em Engenharia Têxtil decorreu ao longo de quatro anos e, foi possível sua realização graças à colaboração dos professores, colegas de trabalho e amigos do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho. Deixo os meus sinceros agradecimentos:

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Dr. Raul Figueiro, por ter aceito mais um desafio, proposto desta vez no âmbito da Tese de Doutorado, assim como ao Dr. Andrea Zille, aos dois um obrigado pelos conselhos e orientações prestadas ao longo do trabalho.

A minha esposa, Aurineide Fonseca, por todo amor, incentivo e paciência.

Ao Departamento de Engenharia Têxtil, por mais uma vez ter me recebido como aluno da Pós-Graduação e pelo auxílio prestado durante estes 4 anos, agradeço também a simpatia dos funcionários. A Universidade Federal do Piauí pela liberação para qualificação a nível de Doutorado.

Aos professores Dr. Welter Cantanhede, Dr. Sidney Lima, Dra. Allana Kellen e Dr. Humberto Barreto da Universidade Federal do Piauí pelo apoio dado no trabalho de Tese.

Agradeço também aos companheiros de doutorado pelos momentos de vivência: Sidney Carmo, Gabriel Davinha, Dionísio Silveira, Artemisia Caldas, Raquel Carvalho, Juliana Cruz, Shafagh Smart, Diana Ferreira, Isabel Cabral, Marta Fernandes, Pedro Gomes, Fernanda Steffens, Marta Teixeira e aos amigos Alex Fabiano, Rui Magalhães, José Sampaio, Fábio Scacchetti, Cristian Castillo, Simone Sarges, assim como os membros do grupo FIBRENAMICS, pessoas queridas, pela amizade e companhia ao longo do Doutorado.



Os estudos de doutorado do autor foram financiados pela Fundação CAPES, Coordenação De Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior, no âmbito do programa Ciência sem Fronteiras, Ministério da Educação do Brasil, Caixa Postal 250, Brasília – DF 70040-020, Brasil. Bolsa de investigação com número do processo: BEX – 8976/13-9

RESUMO

Desenvolvimento de nanopartículas de óleo essencial com atividade biológica para aplicação têxtil

Os nanomateriais apresentam propriedades físico-químicas que lhes conferem características únicas para aplicações a nível industrial e biomédicas. Este trabalho teve como objetivo principal produzir nanopartículas de quitosana incorporadas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne, sendo destinadas a aplicação em têxteis, nomeadamente uma gaze em estrutura tafetá e uma malha em *jersey* 100% algodão, para aplicação em pacientes com feridas em grandes áreas do corpo. Para a síntese das nanopartículas, foi utilizado o método de gelificação iónica.

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizadas ensaios objectivos nos biomateriais e nas gazes. As nanopartículas e o óleo de *Copaífera multijuga* Hayne foram caracterizados a nível químico e físico. Foram aplicadas análise como espectroscopia na região do infravermelho (FTIR), análise termogravimétrica (TGA) e ensaios antimicrobianos. A malha foi funcionalizada através do processo de imersão, sendo caracterizada a nível de gestão da humidade, propriedades de conforto térmico, flexibilidade, assim como atividade antimicrobiana. A atividade antimicrobiana foi avaliada nos microrganismos *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Candida albicans* (ATCC 10231), sendo aplicada no óleo de *Copaífera*, nas nanopartículas de quitosano, nas nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo e, nas gazes funcionalizadas com suas respetivas amostras controlos.

Os resultados do trabalho desenvolvido permitem concluir que, o método utilizado na síntese das nanopartículas proporciona a formação de nanopartículas de quitosano em formato esférico, com diâmetro 294.2 ± 0.07 nm e possibilita a incorporação do óleo de *Copaífera* nas nanopartículas, que apresentaram também formato esférico e diâmetro médio de 308.9 ± 12.37 nm. A atividade antimicrobiana dos materiais, nomeadamente o óleo e as nanopartículas incorporadas com o óleo foi maior para o microrganismo *S. aureus* (ATCC 25923). Os resultados do trabalho permitiram propor o desenvolvimento de um vestuário modular multifuncional para aplicação na área médica, sendo uma proposta para enfaixamento de pacientes com feridas, aplicando assim, a técnica *patchwork*.

Palavras-Chave – nanopartículas, óleo de *Copaífera*, quitosano, atividade antimicrobiana, vestuário e *patchwork*

ABSTRACT

Development of nanoparticles containing biologically active essential oils for textile applications

Nanomaterials shown peculiar physico-chemical properties displaying unique characteristics for industrial and biomedical applications. The main objective of this work was to produce chitosan nanoparticles containing essential oil of *Copaifera multijuga* Hayne to be used in patients with large body lesions. Chitosan nanoparticles was synthesized by ionic gelation.

For the development of the work, specific objective tests on the biomaterials and gauzes were established. Nanoparticles and oil of *Copaifera multijuga* Hayne were physico-chemical characterized. Infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA) and antimicrobial assays were performed. The mesh was functionalized by immersion process, being characterized in terms of moisture management, thermal comfort properties, flexibility and antimicrobial activities. The antimicrobial activity was evaluated using the microorganisms *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) and *Candida albicans* (ATCC 10231) applied in the *Copaifera* oil, chitosan nanoparticles, chitosan nanoparticles containing *Copaifera* oil and in the control and functionalized gauzes.

From the obtained results it can be concluded that the used synthesis method allows the formation of spherical shape chitosan nanoparticles with an average diameter of 294.2 ± 0.07 nm. The incorporation of the *Copaifera* oil into the nanoparticles was also successfully achieved forming nanocapsule with a spherical diameter of 308.9 ± 12.37 nm. The antimicrobial activity of the oil containing nanoparticles was higher for the Gram-positive *S. aureus* (ATCC 25923). The results of this work allows the development of a multifunctional textile for medical application, with a specific proposal for patients wound dressing applying the *patchwork* technique.

Keywords: Nanoparticles, *Copaifera* oil, chitosan, antimicrobial activity, clothing and patchwork

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xviii
ABREVIATURAS	xix
INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do Trabalho	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos	4
1.4 Metodologia Adotada	4
1.5 Estrutura da Tese	6
2. ESTADO DA ARTE	9
2.1 Têxteis Médicos	9
2.1.1 Tipos de Pensos para Cuidados com Feridas	11
2.2 Nanotecnologia	15
2.2.1 Nanobiotecnologia	17
2.2.2 Nanomateriais	19
2.2.3 Nanopartículas Poliméricas	20
2.3 Técnicas para Produção de Nanopartículas Poliméricas	23
2.3.1 Nanoprecipitação	23
2.3.2 Dispersão de Polímeros Pré-formados	24
2.3.3 Gelificação Iônica	24
2.4 Biopolímeros	25
2.4.1 Quitosano	26
2.4.2 Goma Arábica	29
2.4.3 Goma do Cajueiro	29
2.4.4 Alginato	30
2.5 Plantas Medicinais	31
2.5.1 Óleos Essenciais	32
2.5.2 Gênero <i>Copaífera</i>	36
2.5.3 <i>Copaífera multijuga</i> Hayne	38
2.5.4 Técnica de Extração do Óleo de <i>Copaífera</i>	39
2.6 Considerações Finais	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 Materiais	43
3.2 Métodos	44
3.2.1 Procedimento para Produção do Gel de Quitosano e Revestimento dos Materiais Têxteis	44
3.2.2 Síntese das Nanopartículas	45
3.2.3 Caracterização das Nanopartículas	47
3.2.4 Produção da Malha	48
3.2.5 Processo de Seleção do Revestimento Polimérico	49
3.2.6 Funcionalização dos Materiais Têxteis	49
3.3 Análise Química do Biomateriais	50
3.3.1 Cromatografia Gasosa por GC-MS	50
3.3.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR	52
3.4 Caracterização Física dos Materiais Têxteis	53
3.4.1 Propriedades de Fricção dos Materiais Têxteis	53
3.4.2 Propriedades de Rigidez à Flexão dos Materiais Têxteis – Bending	54
3.4.3 Espessura dos Materiais Têxteis	55
3.4.4 Propriedades do Cair dos Materiais Têxteis – Drapeabilidade	56
3.4.5 Propriedades de Resistência a Rotura	57

3.5 Propriedades de Conforto Térmico dos Materiais Têxteis	57
3.5.1 Propriedades Térmicas	57
3.5.2 Propriedade de Permeabilidade ao Ar	58
3.5.3 Permeabilidade ao Vapor D'água	59
3.6 Propriedades Gestão da Humidade dos Materiais Têxteis	60
3.6.1 Capilaridade Vertical – Wicking	60
3.6.2 Capilaridade Dinâmica – Wicking	61
3.6.3 Absorção de Líquidos	62
3.6.4 Propriedades de Evaporação da Humidade	63
3.7 Propriedades Térmicas dos Biomateriais	64
3.7.1 Análise Termogravimétrica (TGA)	64
3.7.2 Calorimetria Exploratória diferencial (DSC)	65
3.7.3 Eficiência da Incorporação do Óleo nas Nanopartículas de Quitosano	65
3.8 Análise Microscópica dos Biomateriais	66
3.9 Ensaio Microbiológicos	66
3.9.1 Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM)	66
3.9.2 Concentração Inibitória Mínima das Nanopartículas – (CIM)	67
3.9.3 Ensaio Antimicrobianos nos Materiais Têxteis	67
3.10 Considerações Finais	68
4. DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ POLIMÉRICA DE QUITOSANO	71
4.1 Revestimento Polimérico de Quitosano	71
4.2 Estudo da Concentração do Revestimento nas Características da Amostra	73
4.3 Análise das Propriedades Físicas das Amostras Revestidas	74
4.3.1 Avaliação Objetiva das Propriedades de Fricção	74
4.3.2 Avaliação do Comportamento em Flexão	76
4.4 Análise das Propriedades de Conforto Térmico	78
4.4.1 Avaliação das Propriedades Térmicas	78
4.4.2 Avaliação da Permeabilidade ao Ar	81
4.4.3 Avaliação da Permeabilidade ao Vapor de Água	82
4.5 Análise das Propriedades de Gestão da Humidade	84
4.5.1 Avaliação da Capilaridade Vertical – <i>Wicking</i>	84
4.5.2 Avaliação da Absorção de Líquido na Capilaridade - <i>Wicking</i> Dinâmico	87
4.6 Análise dos Resultados	88
4.6.1 Seleção da Melhor Condição para Aplicação da Matriz Polimérica	91
4.7 Caracterização da Amostra G3	95
4.7.1 Caracterização do Revestimento Polimérico de Quitosano na Amostra Seleccionada	95
4.7.2 Análise Termogravimétrica da Amostra Seleccionada	97
4.7.3 Análise das Propriedades do Cair e Resistência a Rotura da Amostra Seleccionada	99
4.8 Considerações Finais	100
5. SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS POLIMÉRICAS	103
5.1 Biomateriais na Síntese das Nanopartículas Poliméricas	103
5.2 Caracterização do Óleo Essencial de <i>Capaífera Multijuga</i> Hayne	104
5.2.1 Identificação dos Constituintes Químicos por GC-MS	104
5.2.2 Propriedades Térmicas do Óleo Essencial de <i>Capaífera Multijuga</i> Hayne	107
5.2.2.1 Análise Termogravimétrica	107
5.3 Estudo das Diferentes Concentrações de Quitosano na Síntese das Nanopartículas	108
5.4 Estudo das Diferentes Concentrações de Tripolifosfato de Sódio na Formação das Nanopartículas	112
5.4.1 Análise Morfológica das Nanopartículas Poliméricas de Quitosano com Óleo de <i>C. multijuga</i>	115
5.4.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR	116
5.5 Propriedades Térmicas das Nanopartículas	117
5.5.1 Análise Termogravimétrica das Nanopartículas – TGA	117
5.5.2 Calorimetria Exploratória Diferencial das Nanopartículas – DSC	120
5.5.3 Eficiência de Encapsulação Determinada Através do DSC.....	121
5.6 Avaliação Antimicrobiana dos Biomateriais	123
5.6.1 Avaliação Antimicrobiana do Óleo Essencial de <i>Copaífera multijuga</i> Hayne	123
5.6.2 Avaliação Antimicrobiana das Nanopartículas	124
5.7 Discussão dos Resultados	125
5.8 Considerações Finais	127

6. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO OBJETIVA DO DESEMPENHO DA MALHA FUNCIONAL	129
6.1 Funcionalização do Material Têxtil	129
6.2 Produção da Malha	130
6.3 Funcionalização das Malhas de Controlo e Revestidas	131
6.3.1 Análise Morfológica do Revestimento de Quitosano na Malha	133
6.3.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier para Malha revestida – FTIR	135
6.4 Propriedades de Conforto Térmico das Malhas de Controlo e Revestidas	136
6.4.1 Propriedade de Permeabilidade ao Vapor de Água	137
6.5 Propriedades Físicas das Malhas de Controlo e Revestidas	139
6.5.1 Propriedade de Fricção	139
6.5.2 Propriedade de Resistência a Rotura	140
6.5.3 Propriedades de Flexão da Malha	141
6.5.4 Cair das Malhas	143
6.5.5 Análise Termogravimétrica das Malhas de Controlo e Funcionalizadas	145
6.6 Propriedades de Gestão da Humidade das Malhas de Controlo e Funcionalizadas	147
6.6.1 Capilaridade Vertical – <i>Wicking</i>	147
6.6.2 Capilaridade Dinâmica	149
6.6.3 Absorção de Humidade	151
6.6.4 Libertação Controlada	152
6.7 Avaliação Antimicrobiana dos Materiais Funcionalizados	154
6.8. Discussão dos Resultados	155
6.9. Considerações Finais	158
7. PROPOSTA DE DESIGN DO VESTUÁRIO MODULAR PARA PACIENTES COM FERIDAS	161
7.1 Delimitação do Trabalho	161
7.2 Requisitos para Proposta do Vestuário Modular Destinado a Pacientes com Feridas	162
7.3 Proposta do <i>Design</i> para o Conceito do Vestuário Modular Destinado a Pacientes com Feridas	163
7.4 Solução Proposta para Substituição do Enfaixamento Tradicional	165
7.5 Estudo dos Moldes Base para Aplicação do Conceito <i>Patchwork</i> no Vestuário Modular	167
7.6 Apresentação do <i>Design</i> Visual dos Protótipos	170
7.7 Considerações Finais	173
8. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	175
8.1 Conclusões	175
8.2 Perspectivas Futuras	177
REFERÊNCIAS	180
ANEXO	
ANEXO 01 – IMAGENS DAS NANOPARTÍCULAS E DO REVESTIMENTO DE QUITOSANO NA MALHA	
ANEXO 02 – <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS NO TRABALHO DE TESE	
ANEXO 03 – PROGRAMAÇÃO DESENVOLVIDA NO <i>SOFTWARE MATLAB</i>	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Estrutura da tese	7
Figura 2.1: Morfologia das membranas produzidas com quitosano - (A) 1 wt%, (B) 2wt % Fonte: (Lou <i>et al.</i> , 2008).	10
Figura 2.2: Curativos para feridas A - <i>KytoCe[®]</i> – Fonte: (http://www.medimove.co.uk/promogran-prisma-dressing); B – <i>Algicare[®]</i> – Fonte:(http://portuguese.alibaba.com/product-detail/advanced-silver-calcium-alginate-wound-dressings-with)	14
Figura 2.3: Curativo para queimadura Acticoat™ – Fonte: (Boonkaew <i>et al.</i> , 2014)	15
Figura 2.4: Ressonância magnética do cérebro humano mapeada com nanopartículas fotocromicática	16
Figura 2.5.: Nanosferas de celulose bacteriana de <i>Acetobacter xylinum</i> processada a partir da casca de arroz	18
Figura 2.6: Esquema estrutural: A – lipossomas, B – micela; C – nanopartículas de lipídio sólido e D – nanocápsulas.	20
Figura 2.7 Imagens TEM, A - nanopartículas de quitosano (Ali, Rajendran e Joshi, 2011); B - nanopartículas de quitosano incorporadas com Carvacrol (Hosseini <i>et al.</i> , 2013)	22
Figura 2.8: Esquemática da produção de nanopartículas pelo método da gelificação iônica	25
Figura 2.9: Estrutura química da quitina (A) e quitosano (B)	27
Figura 2.10: A – amostra controlo 100% algodão; B – algodão revestido com quitosano (Cheng <i>et al.</i> , 2014)	28
Figura 2.11: Estrutura molecular da goma arábica (Stephen, Phillips e Williams, 2006).....	29
Figura 2.12: : A – resina do cajueiro; B - biofilme sintetizado com a resina do cajueiro (http://noticias.r7.com/jornal-da-record/videos/pesquisadores-desenvolvem-curativo-natural-e-biodegradavel-com-resina-de-cajueiro).....	30
Figura 2.13. : A – estrutura química do alginato (Saether <i>et al.</i> , 2008); B – nanopartículas de alginato + quitosano (Bernela <i>et al.</i> , 2014)	31
Figura 2.14: A – <i>Mentha x piperita</i> (Hortelã Pimenta); B - <i>Lippia sidoides</i> Cham (Alecrim Pimenta); C - <i>Lippia alba</i> (Erva cidreira) - Fonte: https://www.google.com . (2014).....	32
Figura 2.15 Tricoma capitado na superfície adaxial, confirmando a presença de terpenos (óleo essencial) - Fonte: (Guimarães <i>et al.</i> , 2014) b	34
Figura 2.16: A – árvore de de <i>Copaifera multijuga</i> HayneFonte: A https://www.youtube.com/watch?v=HquO_Ss1mnY e B – autor (2017)	38
Figura 2.17. : Extração do óleo de <i>Copaifera multijuga</i> Hayne – A – perfuração da árvore; B e C – formas de coleta; D, E e F - forma de lacrar: Fonte: compilação de imagens dos https://www.youtube.com/results?search_query=Extra%C3%A7%C3%A3o+%C3%B3leo+de+copa%C3%Adba	40
Figura 3.1: A - amostra do óleo essencial de <i>Copaifera multijuga</i> Hayne,; B - Amostra de quitosano (ChitoClear hqg95-43000)	44
Figura 3.2: Procedimento de imersão utilizado para revestir os materiais têxteis com gel de quitosano	45
Figura 3.3: Processo de síntese: A – início do gotejamento do TPP, B – aspeto final da solução com nanopartículas de quitosano e óleo de <i>Copaifera</i>	47
Figura 3.4: Equipamento <i>Zeta Sizer NSMalvern</i>	48
Figura 3.5: Equipamento tear retilíneo eletrónico da marca STOLL, modelo CMS 320 TC	49
Figura 3.6: Revestimento do material têxtil com gel de quitosano incorporado com nanopartículas de óleo essencial de <i>Copaifera multijuga</i> Hayne	50
Figura 3.7: Sistema de Cromatografia de Gás Multidimensional, MDGC / GCMS-2010 SHIMADZU	51

Figura 3.8: Espectrofotómetro (ATR-FTIR) (AVATAR TM 360)	53
Figura 3.9: Equipamento Frictorq	54
Figura 3.10: Sistema de avaliação FB <i>Kawabata</i> (KES-FB) – módo de rigidez a flexão	55
Figura 3.11: Aparelho <i>Digital thickness gauge</i> para aferição da espessura dos materiais têxteis	55
Figura 3.12: Aparelho utilizado para a medição do cair	56
Figura 3.13: Aparelho Dinamómetro utilizado para a medição da resistência a rotura	57
Figura 3.14: Aparelho Alambeta – medição das propriedades de conforto térmico	58
Figura 3.15: Aparelho para ensaio de permeabilidade ao ar FX 3300 da Textest AG, Suíça	59
Figura 3.16: Aparelho <i>SDL Shirley Vapor Permeability Tester</i> M-261	60
Figura 3.17: Ensaio para capilaridade vertical	61
Figura 3.18: Ensaio para capilaridade dinâmica	62
Figura 3.19: Ensaio para propriedade de absorção de líquido	63
Figura 3.20: Estufa utilizada na avaliação da propriedade de evaporação de líquido	64
Figura 3.21: Analisador termogravimétrico SAT (TGA) HITACHI STA7200	64
Figura 3.22 : Microscopia electrónica de varredura (Módo SEM e STEM)	66
Figura 3.23 : Microscopia óptica - lupa estereoscópica com objetiva 60x	66
Figura 3.24 : Esquema das etapas aplicadas na metodologia laboratorial a partir do desenvolvimento da matriz polimérica	69
Figura 4.1: Gaze de controlo (G0); gaze G1 (0.063 g. quitosano); G2 - (0.100 g. quitosano); G3 - (0.125 g. quitosano); G4 - (0.250 g. quitosano) e G5 (0.500 g. quitosano)	74
Figura 4.2: Gráfico - Propriedades de fricção das amostras de controlo e das revestidas	76
Figura 4.3: Gráfico - Propriedade de resistência térmica das amostras de controlo e revestidas	79
Figura 4.4: Gráfico - Propriedade de condutividade térmica das amostras de controlo e revestidas	79
Figura 4.5: Gráfico - Propriedade do fluxo de calor térmico das amostras de controlo e revestidas	80
Figura 4.6: Gráfico - Propriedade de permeabilidade ao ar para as amostras de controlo e revestidas	82
Figura 4.7: Gráfico - Propriedade de permeabilidade ao vapor de água para as amostras	83
Figura 4.8: Gráfico – Capilaridade vertical no sentido da teia das amostras de controlo e revestidas	85
Figura 4.9: Gráfico – Capilaridade vertical no sentido da trama das amostras de controlo e revestidas	86
Figura 4.10: Gráfico – Capilaridade dinâmica no sentido da teia e trama das amostras de controlo e revestidas	88
Figura 4.11: A - gaze de controlo (G0); B – gaze G3 (0.125 g quitosano); C - diâmetro dos poros de G0 (gaze de controlo) e D - diâmetro dos poros da gaze G3 (0.125 g quitosano)	96
Figura 4.12: A – fibra da gaze controlo; B – fibra da gaze revestida; C – fios gaze controle e D – fios da gaze revestida	97
Figura 4.13: Curva TGA para a amostras A - Gaze Controlo e B – Amostra G3	98
Figura 4.14: A – imagem horizontal da amostra G0; B- Vista superior da amostra G0; C – imagem horizontal da amostra G3 e D – vista superior da amostra G3	100
Figura 5.1: Constituintes maioritários do óleo de copaífera multijuga Hayne, A - β -cariofileno; B - alpha-Bergamoteno e C - α -humuleno	105
Figura 5.2: Termogravimetria do óleo essencial de <i>Copaíba multijuga</i> Hayne	107
Figura 5.3: A - solução de quitosano, B – solução de nanopartículas de quitosano e C – solução de nanopartículas e óleo de Copaífera multijuga Hayne	108

Figura 5.4: distribuição do tamanho e volume das nanopartículas de quitosano na concentração de 0.25 g.....	110
Figura 5.5: Distribuição do potencial zeta das nanopartículas de quitosano na concentração de 0.25 g.....	111
Figura 5.6: Imagens de STEM das nanopartículas de quitosano - A e B 20.000X, C 50.000X e D 100.000X.....	112
Figura 5.7: Distribuição do tamanho e volume das nanopartículas de quitosano com óleo na concentração de 0.25 g.....	114
Figura 5.8: Distribuição do potencial zeta das nanopartículas de quitosano com óleo na concentração de 0.25 g...	115
5.9: Imagens de STEM das nanopartículas - (A) nanopartículas de quitosano e (B) nanopartículas com óleo	116
Figura 5.10: Espectros de FTIR para o quitosano, nanopartículas de quitosano , nanopartículas de quitosano com óleo e o respectivo óleo de <i>Copaífera</i>	117
Figura 5.11: Análise termogravimétrica do quitosano (A), nanopartículas de quitosano (B) e nanopartículas com óleo (C).....	119
Figura 5.12: Curvas DSC do óleo essencial (A), polímero quitosano (B), nanopartículas de quitosano (C) e nanopartículas de quitosano com óleo essencial (D).....	121
Figura 5.13: Curvas DSC do óleo essencial de <i>Copaífera</i> (A), e nanopartículas de quitosano com óleo essencial de <i>Copaífera</i> (B).	122
Figura 6.1: Imagens da malha produzida em estrutura <i>jersey</i> – A - imagem fotográfica e B- Imagem microscópica da malha em estrutura <i>Jersey</i> em objetiva 60x.....	131
Figura 6.2: Amostras das malhas - malha controlo, A e malha funcionalizada com gel de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo essencial de <i>Copaífera multijuga</i> Hayne, B.....	132
Figura 6.3: Imagem SEM - A – fibra da malha de controlo; B – fibra da malha revestida com quitosano; C – malha revestida com nanopartículas de quitosano e D – malha revestida com nanopartículas de quitosano e óleo essencial	133
Figura 6.4: Imagem STEM – nanopartículas no revestimento de quitosano	134
Figura 6.5: Espectros do FTIR para a malha de controlo, malha revestida com quitosano, malha revestida com quitosano, e nanopartículas de quitosano e malha revestida com quitosano e nanopartículas incorporadas com óleo de <i>Copaífera</i>	136
Figura 6.6: Gráfico – Permeabilidade ao vapor de água das malhas de controlo e revestidas	138
Figura 6.7: Gráfico – Propriedades de fricção das malhas de controlo e revestidas	139
Figura 6.8: Gráfico – Propriedades de cair da malha de controlo e revestidas	143
Figura 6.9: A – imagem horizontal da amostra M0; B - Vista superior da amostra M0; C – imagem horizontal da amostra M3 e D – vista superior da amostra M3	144
Figura 6.10: Gráfico – Termogravimetria: A - malha controlo e B – malha revestida com quitosano	146
Figura 6.11: Gráfico – Termogravimetria: A - malha revestida com quitosano e nanopartículas e B – malha revestida com quitosano e nanopartículas com óleo essencial	147
Figura 6.12: Gráfico – Propriedades de capilaridade: sentido da teia das malhas de controlo e revestidas	148
Figura 6.13: Gráfico – Propriedades de capilaridade: sentido da trama das malhas de controlo e revestidas	149
Figura 6.14: Gráfico– Capilaridade dinâmica no sentido da teia e trama das amostras de controlo e revestidas	150
Figura 6.15: Gráfico – libertação controlada a temperatura ambiente: amostras de controlo e revestidas	152
Figura 6.16: Gráfico – libertação controlada a temperatura superficial da pele: amostras de controlo e revestidas .	153
Figura: 7.1: Molde base da T-shirt, A – frente e B – costas	163
Figura: 7.2: Molde da T-shirt, A – frente e B – costas com inclusão das áreas adesivadas	164
Figura: 7.3: Desenho esquemático para vestuário modular; A – vista frontal, B – vista lateral e C - vista das costas	166
Figura: 7.4: Conceito <i>patchwork</i> : A – vista geral tronco e membros e B – vista lateral das área adesivada	167

Figura 7.5: A – queimadura (https://www.pinterest.pt/bebblyanderson/nursing-burns/) e B – ferida crônica (http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp)	168
Figura 7.6: Teste de conceito para o modelo infantil em algodão A – vista frontal, B – vista das costas e C – vista lateral	169
Figura 7.7: Teste de conceito para o modelo unisex adulto em Poliamida, A – vista frontal, B – vista das costas e C –vista lateral	170
Figura 7.8: Teste do vestir para o modelo unissexo adulto em Poliamida, A – união do ombro, B – união das laterais	171
Figura 7.9: Vista interna da união das partes componentes do vestuário para o modelo unissexo adulto em algodão , A – união da lateral , B – união do ombro	171
Figura 7.10: <i>Design</i> visual dos protótipos para modelo unissexo adulto, parte superior - modelo em algodão e parte inferior - modelo em poliamida, A – vista frontal, B – vista lateral e C –vista das costas	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tipos de curativos para feridas, características e aplicações - Fonte (Rajendran e Anand, 2011)	13
Tabela 2.2: Nanopartículas poliméricas, constituinte ativo e aplicação	21
Tabela 2.3: Características de alguns biopolímeros usados no acabamento antimicrobiano de têxteis - Fonte: (Shahid e Mohammad, 2013)	26
Tabela 2.4: Óleos essenciais e suas atividades biológicas	35
Tabela 2.5: Características químicas e de bioatividade de alguns gêneros de <i>Copaífera</i>	37
Tabela 3.1: Materiais utilizados	43
Tabela 3.2: Demonstrativo das condições de varredura no FTIR	52
Tabela 3.3: Valores de referência para a norma FTTS-F-A-004	81
Tabela 4.1: Características da gaze comercial	72
Tabela 4.2: Massa por unidade de superfície e espessura das gazes cirúrgicas revestidas com quitosano	73
Tabela 4.3: Propriedades de rigidez à flexão das gazes cirúrgicas revestidas com quitosano	77
Tabela 4.4: Classificação dos resultados obtidos nos ensaios	89
Tabela 4.5: Critérios de avaliação para seleção do revestimento de quitosano	93
Tabela 4.6: Classificação aplicada para avaliação do programa nas gazes revestidas com quitosano	94
Tabela 4.7: Resultado da avaliação do programa desenvolvido	95
Tabela 4.8: Resultados das propriedades do cair e resistência à rotura	99
Tabela 5.1: Constituintes identificados do óleo essencial de <i>Copaífera multijuga</i> Hayne	106
Tabela 5.2 - Características das nanopartículas para as diferentes razões de quitosano	109
Tabela 5.3: Características das nanopartículas de quitosano com óleo para as diferentes concentrações de TPP	113
Tabela 5.4: Valores da entalpia obtidos no DSC	123
Tabela 5.5: Resultado da atividade antimicrobiana para o óleo essencial de <i>Copaífera multijuga</i> Hayne	124
Tabela 5.6: Resultado da atividade antimicrobiana para as nanopartículas	125
Tabela 6.1: Características da malha	130
Tabela 6.2: Massa por unidade de superfície e espessura das malhas de controle e revestidas	131
Tabela 6.3: Propriedades de conforto térmico das malhas de controle e revestidas	137
Tabela 6.4: Propriedades de resistência a tração e alongamento das malhas de controle e revestidas	141
Tabela 6.5: Propriedades de rigidez a flexão das malhas de controle e revestidas	142
Tabela 6.6: Propriedades de absorção das malhas de controle e revestidas	151
Tabela 6.7: Resultados da avaliação antimicrobiana para as amostras têxteis	155

ABREVIATURAS

DSC	-	Calorimetria Exploratória Diferencial
FTIR	-	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
NP's	-	Nanopartículas
OE	-	Óleo Essencial
PDI	-	Índice de Polidispersão
CS	-	Solução de Nanopartículas de Quitosano
CSNP'sOE	-	Solução de Nanopartículas de Quitosano com Óleo Essencial
TGA	-	Análise Termogravimétrica
TPP	-	Tripolifosfato de Sódio
MIC	-	Concentração inibitória mínima
SEM	-	Microscopia Eletrônica
STEM	-	Microscopia Eletrônica de Transmissão
CFU	-	Unidade de Formação de Colônias
CLSI	-	Instituto de Normas Clínicas e de Laboratório
SDB	-	<i>Sabouraud Dextrose Broth</i>
CO	-	Algodão
G	-	Gaze
M	-	Malha
GC-MS	-	Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa
IR	-	Índices de Retenção
DLS	-	Espalhamento Dinâmico de Luz

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo mostrar as informações iniciais do trabalho de tese, nomeadamente são apresentados o seu enquadramento, a motivação, os seus objetivos, a metodologia adotada e a estrutura da tese. São informações que permitem compreender a lógica do *Design* aplicado para levar a cabo a realização deste trabalho.

1.1 Enquadramento do Trabalho

As plantas medicinais têm sido utilizadas com finalidade terapêutica pelo ser humano, em geral, para a cura de diversas enfermidades (Rossato Badke *et al.*, 2012). Os óleos essenciais extraídos de plantas medicinais e aromáticas possuem propriedades biológicas que são utilizadas a muitos anos (Bussata *et al.*, 2007). A sua atividade bacteriostática e ou bactericida é principalmente exercida por compostos terpenoides (Burt, 2004). A composição de um óleo essencial pode ser modificada por aspectos desde o modo de extração, a fatores do ambiente onde a planta esta inserida (Silva *et al.*, 2011).

O gênero *Copaífera* destaca-se entre as espécies vegetais produtora de óleos (Veiga Junior *et al.*, 2007). Conhecida popularmente como copaiba, as suas árvores produzem um óleo essencial, que apresenta propriedades de interesse para as áreas de conhecimento da medicina, industrial e cosmética, destacando-se as ações antimicrobiano, antiinflamatória, antisséptica, antitumoral e cicatrizante, dentre outras (Garcia e Yamaguchi, 2012).

Na medicina popular, o óleo-essencial de *Copaífera* é aplicado principalmente como antiinflamatório, cicatrizante local, como diurético, expectorante, antimicrobiano, leishmanicida, larvicida, antitumoral, assim como no tratamento de dor (Leandro *et al.*, 2012). As funções citadas como, antiinflamatória, cicatrizante local e antimicrobiano são requeridas no processo de recuperação em pessoas que sofrem de ferimentos em grandes áreas do corpo, sejam provocados por feridas crônicas ou por queimaduras.

As nanopartículas têm uso generalizado na entrega de fármacos, suas aplicações terapêuticas vão desde terapias aplicadas ao cancro, atividades antimicrobianas, transporte de vacina, transporte de genes e

aplicação específica no local para evitar os efeitos colaterais indesejáveis (Lamprecht e Benoit, 2006.; Cheng *et al.*, 2010; Ozay *et al.*, 2010).

A maioria das nanopartículas poliméricas são biodegradáveis e biocompatíveis (Sahoo e Labhasetwar, 2005). Para além disso, também apresentam um bom potencial para modificação de superfície e funcionalização, fornecendo excelente controlo farmacocinético, sendo adequadas para encapsular e entregar uma infinidade de agentes terapêuticos. As nanoesferas por exemplo, têm uma estrutura semelhante a uma matriz, onde os compostos ativos podem ser adsorvidos (Yang *et al.*, 2009).

Nos têxteis médicos, a tecnologia micro/nanoporosa por exemplo, é aplicada em conjunto com a tecnologia de revestimento de produtos têxteis, onde fornece inúmeras aplicações médicas. Estes tecidos flexíveis de camada micro/nanoporosa podem suportar diferentes requisitos para entrega de fármacos, com alta flexibilidade e excelente resistência mecânica. Esta é uma tecnologia que pode ser empregada para gerar diferentes membranas poliméricas e ou composta (Stylios, 2005).

A utilização de bionanomateriais, como as nanopartículas, tem sido investigada em vários ramos da área médica, uma vez que são sistemas transportadores de substâncias ativas, constituídas por polímeros biodegradáveis, representando uma interessante via tecnológica para a utilização de óleos essenciais, o que possibilita a produção de produtos biotecnológicos, com ação eficaz para a atividade a qual se destina. Desta forma, o objetivo deste trabalho é produzir um nanomaterial, nomeadamente nanopartículas incorporadas com o óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, destinadas para funcionalização de têxteis com atividade antimicrobiana para aplicação em pacientes com feridas.

1.2 Motivação

Os óleos essenciais apresentam vantagens e perspectivas promissoras para sua utilização, existindo fatores tecnológicos que dificultam o seu o emprego e comercialização como a baixa solubilidade, a oxidação e o odor. Estes fatores devem ser solucionados antes da utilização efetiva desses compostos (Dias *et al.*, 2012).

O Brasil possui uma vasta reserva de plantas medicinais, as quais não foram completamente avaliadas, tanto química, como também farmacológica (Wagner, 2009). Estas condições permitem às atividades

de pesquisas descobrir novos produtos naturais biologicamente ativos e, que possam ser utilizados no desenvolvimento de novos medicamentos (Balunas e Kinghorn, 2005).

As feridas causadas por queimaduras, por exemplo, são a causa de 300 mil mortes por ano em todo o mundo, segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS). A referida organização aponta também que este tipo de ferida é a segunda maior causa de morte registrada na infância em países como o Brasil e Estados Unidos.

Constatou-se, através de entrevistas com profissionais da área da saúde, que apresentaram informações relativas às queixas dos pacientes da área de queimados, onde os mesmos reclamavam do desconforto gerado pelos medicamentos depositados na pele. O enfaixamento por ligadura também é nomeado como uma das causas, de forma que os profissionais da área despreendem um tempo demasiado para enfaixar o local da ferida, quando esta cobre uma grande área do corpo. Para além disso, os pacientes reclamam da compressão demasiada elevada no enfaixamento e, que o mesmo, muitas vezes se desfaz com os movimentos realizados.

Considerando toda a importância e a biodiversidade da flora no Brasil, assim como de outras partes do mundo, existe a necessidade de verificar as propriedades biológicas do óleo essencial *de Copaifera multijuga* Hayne na aplicação têxtil, voltadas para o uso médico, tendo em vista as pesquisas demonstrando suas propriedades, para além disso é uma planta que pode ser encontrada em grande parte do território brasileiro, sendo também uma árvore que fornece uma grande quantidade de óleo ao ano, o que a torna economicamente viável. Para isso, os nanomateriais desenvolvidos, nanopartículas, serão incorporados numa matriz polimérica para serem depositados na superfície do substrato têxtil, de forma que possam ser aferidas as suas propriedades, permitindo verificar a sua eficácia na ação prevista.

Justifica-se a proposta de trabalho na área da saúde, em específico na área de cuidados de pacientes com feridas crônicas e ou ocasionadas por queimaduras, uma vez que a utilização destes materiais apresentará uma importante contribuição para melhoria da saúde dos mesmos, possibilitando uma cura em menos tempo, mais conforto por parte do paciente. Sendo assim, será apresentado também uma proposta de vestuário modular que possa substituir a ligadura. Também é justificável a sua aplicação nos substratos têxteis, pois apresenta atividades como antimicrobiano, cicatrizantes, anti-inflamatória que representará a etapa-chave na obtenção de um têxtil para a produção de um vestuário multifuncional, a ser ensaiado com mais de uma propriedade, nomeadamente as antimicrobianas, gestão da humidade, conforto térmico, atrito, absorção de líquidos e não apenas com uma única propriedade inserida nele.

1.3 Objetivos

Espera-se, com a presente proposta, contribuir para o avanço do conhecimento na aplicação de nanomateriais em têxteis, obtidos a partir da biodiversidade vegetal, explorando ao nível molecular, as fontes naturais vegetais do Brasil.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho, é desenvolver nanomateriais, especificamente nanopartículas, à base do óleo essencial obtido a partir das espécies de plantas da família Ferbaceae, a *Copaífera multijuga* Hayne, para incorporação em têxteis destinados a pacientes acometidos com feridas em grandes áreas do corpo. Espera-se que estas nanopartículas possam melhorar o desempenho dos têxteis no que se refere sua aplicação, gestão da cura de feridas.

Os objetivos específicos de maneira a cumprir com o objetivo geral já referido, incluem:

1. Produzir nanopartículas poliméricas de quitosano incorporadas com o óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne;
2. Desenvolver uma matriz polimérica para revestimento do têxtil a ser produzido;
3. Funcionalizar o material têxtil produzido, através da incorporação das nanopartículas com propriedades sinérgicas para atuar como barreira a microrganismos causadores de infecções, auxílio na recuperação de enfermidades, especificamente em feridas;
4. Confeccionar malha com estrutura que permita otimizar a funcionalidade dos nanomateriais incorporados nos produtos têxteis através da matriz polimérica;
5. Avaliar as propriedades dos materiais produzidos, matriz polimérica de quitosano, nanopartículas e malha funcionalizada em termos de propriedades de conforto térmico, antimicrobianas, gestão da humidade, físicas;
6. Propor um conceito de vestuário modular através da técnica *Patchwork*, confeccionando um protótipo têxtil multifuncional para a utilização em pacientes com feridas.

1.4 Metodologia Adotada

Tendo em consideração o exposto nos objetivos, o método enquadrado na aplicação da pesquisa será o dedutivo, com aplicação de ensaios laboratoriais. Justifica-se a sua aplicação, pois a utilização do mesmo corresponde ao preenchimento da lacuna referente ao conhecimento a ser obtido para a produção das

nanopartículas do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, pois muitos óleos são utilizados apenas como redutores no processo ou em conjugações com nanogéis.

Para a análise dos dados da pesquisa a ser aplicada no desenvolvimento do trabalho, aborda-se a pesquisa laboratorial, composta de dados objetivos. Com diferentes tipos de dados a serem tratados, permitirá também qualificar os tipos de informações que se encontram na categoria de dados quantificáveis, sendo medidos numericamente, o que contemplará os resultados obtidos nos testes objectivos laboratoriais.

A metodologia a ser aplicada para o desenvolvimento do plano de trabalho está dividida em seis fases, de forma a levar a cabo os objetivos inicialmente propostos. As fases são assim descritas:

- Primeira fase - pesquisa bibliográfica, onde serão levantados tanto os dados teóricos para o desenvolvimento do trabalho, como também o ganho teórico aprofundado de conhecimento nas áreas de estudos contempladas no trabalho, sendo esta etapa realizada no período cursivo, nas pesquisas e horas de estudo destinadas à realização do trabalho conducente à tese;
- Segunda fase - constará da pesquisa de campo para obtenção de óleo essencial para produção das nanopartículas. Será realizada nesta etapa a caracterização química do óleo e sua bioatividade, no que respeita à inibição da proliferação dos microrganismos;
- Terceira fase - desenvolvimento da matriz polimérica de quitosano, produção das concentrações testes e aplicação do revestimento no tecido de referência, uma gaze em tafetá;
- Quarta fase – síntese das nanopartículas e aferição das suas propriedades em termos de morfologia, físicas e químicas, assim como, as suas propriedades antimicrobianas;
- Quinta fase – produção do têxtil em estrutura de malha, seleção da estrutura, funcionalização, promovendo um conceito de multifuncionalidade da malha e aferição das suas propriedades em termos de conforto térmico, gestão da humidade, físicas e bioatividade;
- Sexta fase – apresentação de uma proposta para enfaixamento de pacientes com feridas, sejam de origem crônica ou por queimaduras em áreas de larga extensão no corpo humano. A proposta visa demonstrar um conceito de enfaixamento através da técnica *patchwork* na produção de malhas.

1.5 Estrutura da Tese

A estrutura da tese engloba oito capítulos, que incluem a Introdução, Estado da Arte, Materiais e Métodos, Desenvolvimento da Matriz Polimérica, Síntese das Nanopartículas, Funcionalização do Material Têxtil, Proposta de um Conceito para Enfaixamento e Conclusões e Perspectivas Futuras. De seguida, apresenta-se uma breve descrição de cada capítulo:

- **Capítulo 1: Introdução** – onde se apresenta o enquadramento, os objetivos, a metodologia e a estrutura da tese;
- **Capítulo 2: Estado da Arte** – definições, aplicações dos nanomateriais e dos biomateriais na área da saúde, formas de extração dos óleos essenciais, aplicação dos óleos essenciais;
- **Capítulo 3: Materiais e Métodos** – são apresentados neste capítulo, onde consta os materiais e a metodologia utilizada para levar a cabo a caracterização dos biomateriais, síntese das nanopartículas e produção do têxtil;
- **Capítulo 4: Desenvolvimento da Matriz Polimérica de Quitosano** – neste capítulo são apresentados os resultados referentes a produção e, os ensaios para seleção da matriz polimérica de quitosano em gaze com estrutura tafeta, para ser funcionalizada com as nanopartículas;
- **Capítulo 5: Síntese das Nanopartículas Biopoliméricas** – o capítulo apresenta os resultados obtidos com o método de síntese de nanopartículas de quitosano, a gelificação iónica, caracterização das nanopartículas incorporadas com óleo de *Copaífera multijuga* Hayne e apresentação dos resultados dos ensaios antimicrobianos para os nanomateriais produzidos;
- **Capítulo 6: Avaliação Objetiva do Desempenho da Malha Funcional** – são apresentados os resultados referentes à produção da malha, sua funcionalização com a matriz polimérica de quitosano incorporada com as nanopartículas e, a sua caracterização em termos de conforto térmico, características físicas e de bioatividade;
- **Capítulo 7: Proposta de *design* do Vestuário Modular para Pacientes com Feridas** – este capítulo apresenta um conceito para uma nova proposta de enfaixamento, que será destinado a pacientes com feridas em áreas extensas do corpo, assim como o modelo do primeiro protótipo;
- **Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas Futuras** - são apresentadas neste capítulo as conclusões obtidas com a realização do trabalho e, descreve as propostas para os trabalhos futuros.

A estrutura concebida para este trabalho de tese encontra-se disposta na Figura 1.1.

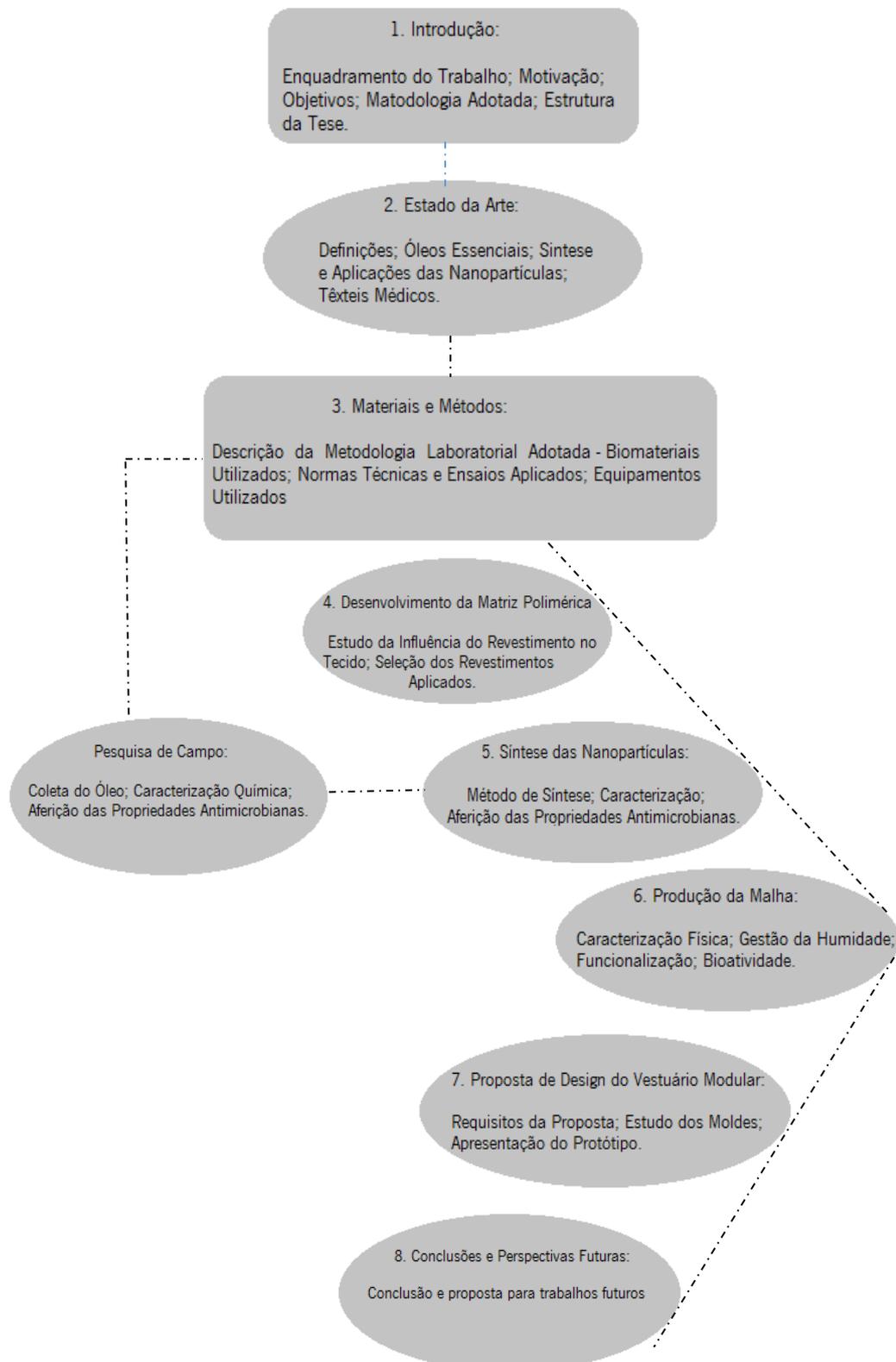


Figura 1.1: Estrutura da tese.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será apresentado uma revisão da literatura a respeito dos materiais que são o foco de estudo do trabalho. O capítulo inicia-se com uma descrição sobre os têxteis médicos e exemplifica a sua aplicação em feridas. Posteriormente são relatados assuntos a respeito da nanotecnologia, as formas de obtenção de nanopartículas poliméricas e suas aplicações. Em seguida são relatadas as formas de aplicação dos óleos essenciais quando incorporados às nanopartículas. No capítulo também é mostrado exemplos de substratos têxteis com óleos essenciais e biomateriais aplicados na área da saúde.

2.1 Têxteis Médicos

Devido a aplicações inovadoras na área da saúde, os têxteis médicos têm-se desenvolvido a um ritmo acelerado, com conquistas em campos tais como controlo de infeção, materiais de barreira, produtos para cuidados de feridas e dispositivos médicos. Por exemplo, algumas décadas atrás, apenas alguns tipos de curativos para feridas não tradicionais (em oposição aos tradicionais como algodão, peles e gazes) estavam disponíveis no mercado de produtos para saúde (Petruyte e Petruilis, 2011).

As principais propriedades dos têxteis destinados para aplicações médicas são, flexibilidade para se adequar ao corpo, conforto ao toque, suavidade e aceitabilidade dos têxteis por parte do paciente (Jones e Wise, 2005). As propriedades de cicatrização, antimicrobianas, antioxidantes são exemplos de funcionalidades que podem ser incorporadas nos produtos têxteis destinados à área da saúde. De acordo com Anita *et al* (2010), as propriedades nos tecidos são melhoradas para proteger os utilizadores da propagação de microrganismos e contaminação. A funcionalização que possibilita mais valia para os têxteis médicos deve ser estendida a fungos, leveduras e outros microrganismos, mas também deve permitir-se ser utilizada na recuperação de enfermidades.

A escolha do material para penso é crucial, pois sua interação com a ferida pode influenciar significativamente o processo de cicatrização (Chen e Chiang, 2010; Klode *et al.*, 2011; Lalani e Liu, 2012). A gaze de algodão é amplamente utilizada para fins higiénicos devido à sua suavidade natural, alta

higroscopicidade e propriedades de retenção de calor (Katayama, Zhao, Yonezawa e Iwai, 2012). Portanto, a gaze de algodão é um material natural, que atende a todos os requisitos para um bom curativo para feridas (Salah, Ghoul e Roudesli, 2016).

Materiais têxteis destinados para área médica, como as feridas, apresentam funcionalidades que provêm não somente dos beneficiamentos. Os curativos para feridas, por exemplo, segundo James (2011), são fabricados por meio de uma bi-camada de malha de polietileno revestida de prata e de alta resistência com um núcleo de poliéster adsorvente de rayon, mantendo assim, uma efetiva atividade antimicrobiana. Também foram desenvolvidos curativos para feridas que combinam uma membrana nanofibrosa de poliuretano e nanofibras de fibroína de seda, produzidas através da tecnologia eletrospinning. Estes materiais são caracterizados por uma ampla gama de distribuição para o tamanho dos seus poros, alta porosidade e alta relação superfície-volume, que é importante para a exsudação do líquido da ferida, evitando a dessecação da ferida e prevenindo infecções por microrganismos exógenos.

No trabalho de pesquisa realizado por Lou *et al.*, (2008), foi mostrado que o aumento da concentração de quitosano proporciona poros com menor diâmetro como pode ser visto na figura 2.1, em A uma concentração de 1% em massa de quitosano e em B, 2% em massa, o que causa modificação de propriedades como a de permeabilidade do vapor de água. Isto proporciona um micro ambiente com maior humidade, importante característica para aplicação de revestimento com este tipo de material para aplicação nos têxteis médicos.

Na Figura 2.1, pode ser visualizada a morfologia longitudinal de membranas produzidas com quitosano.

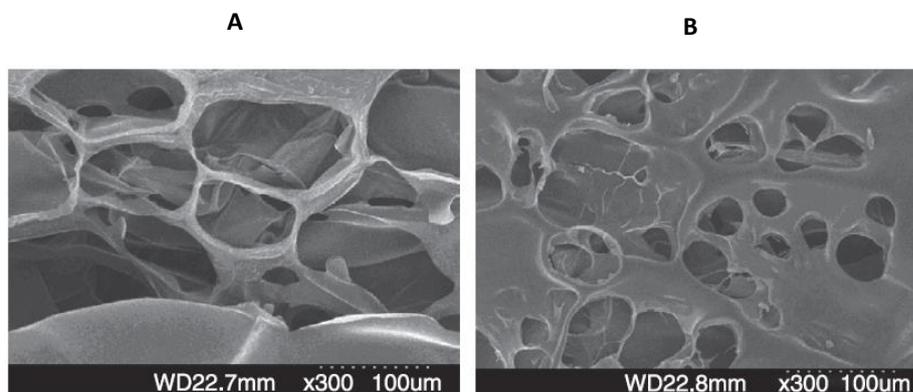


Figura 2.1: Morfologia das membranas produzidas com quitosano - (A) 1% em massa, (B) 2% em massa -

Fonte: (Lou *et al.*, 2008).

As aplicações dos têxteis multifuncionais no campo médico são geradas a partir das necessidades da prática, assim como da evolução contínua da ciência médica. Um produto destinado aos cuidados para a pele deve conceder conforto, privacidade e proteção da pele. A performance de um produto destinado aos cuidados com a pele é avaliada por inúmeros fatores, deve ser compatível, biodegradável, não tóxico e ter eficiência (Bansal *et al.*, 2011).

Modificações na superfície dos materiais têxteis são de grande importância e, tornaram-se um componente essencial na funcionalização dos têxteis, de forma a proporcionar propriedades adicionais. Para, além disso, o desenvolvimento de fibras com diâmetros cada vez mais reduzidos proporcionou também o desenvolvimento de acabamentos na escala nano (Vihodceva, 2012). Várias tecnologias podem ser usadas para promoção da adesão superficial de revestimentos das nanopartículas em fibras, em compósitos, polímeros e nanofibras (Yi e Yoo, 2010; Silva *et al.*, 2012).

Soluções para resolver questões complexas relativas à criação de têxteis com propriedades de conforto e com qualidades de proteção, necessitam de um trabalho interdisciplinar, incluindo cientistas de materiais fibrosos, têxteis e vestuário, além de pessoal médico e *designers* (Podpovitny *et al.*, 2008).

2.1.1 Tipos de Pensos para Cuidados com Feridas

A pele é muitas vezes lesada por traumas físicos e danos à pele iniciam uma série de eventos complicados e processos de reparo, terminando com restabelecimento completo da integridade do tecido danificado e restauração desta barreira funcional (Raic *et al.*, 2014; Harmon *et al.*, 2011). Um tipo de curativo pode não ser apropriado para todas as feridas. O penso ideal para feridas deve proporcionar uma série de vantagens que incluem cicatrização rápida, prevenir ou combater a infecção, absorver exsudatos, odor, isolamento térmico e permitir a troca gasosa e fluida (Jones, Grey e Harding, 2006).

Os curativos para feridas são classificados de várias maneiras e, dependendo da sua função na ferida podem ser: desbridamento, antibacteriano, oclusivo, absorvente e de aderência (Boateng *et al.*, 2007). São ainda classificados em curativos primários, secundários e de ilha (Eccleston, 2007). Os curativos primários caracterizam-se pelo contato físico com a superfície da ferida, enquanto os secundários cobrem o curativo primário. Os denominados curativos de ilha possuem uma região absorvente central que é cercada por uma

porção adesiva. Outros critérios de classificação incluem curativos tradicionais, curativos modernos e avançados, produtos de substituição da pele e dispositivos de cicatrização de feridas (Morgan, 2009).

As feridas crônicas, por exemplo, como as úlceras causadas por diabetes localizadas na perna, são duradouros e não sofrem o processo gradual de cura, permanecendo na fase inflamatória. O curativo mediado pela impregnação de uma droga de diferentes intervenções farmacológicas é uma abordagem eficaz para alcançar uma resposta rápida com relação a cura (Pawar, Tetteh e Boateng, 2013).

A cicatrização de feridas depende não apenas da medicação, mas também do uso de técnicas adequadas para aplicação de curativos e dos materiais adequados utilizados na produção destes produtos. Estes curativos devem ser de fácil manuseamento e indolor na sua remoção. Eles devem ser capazes de criar o melhor ambiente para cicatrização de feridas e devem ser projetados para reduzir o tempo de enfaixamento, exigindo menos mudanças de curativo (Rajendran e Anand, 2011).

A tabela 2.1 mostra vários tipos de curativos e suas aplicações, como pode ser visto, existem diversos tipos de curativos disponíveis para a gestão da cura em diferentes tipos de feridas.

Tabela 2.1: Tipos de pensos para feridas, características e aplicações - Fonte (Rajendran e Anand, 2011).

Tipo de curativo e nomes comerciais	Características e aplicação
Curativos de baixa aderência: <i>Adaptic, Release, Melolin, Telfa, Skintact, Mepore, Primapore, Tricotex, NA Ultra, Jelonet, Paranet, Paratulle, Unitulle, Vasaline gauze, Inadine, Sofra-Tulle, Silicone NA, Mepitel, Metalline.</i>	Redução da adesão às feridas, causa menos trauma
Filmes semipermeável: <i>Mefilm, Tegaderm, Bioclusive, Cutifi Im, Epi View, Opsite Flexigrid.</i>	Feridas ligeiramente exsudadas, úlceras de pressão superficial, curativo primário e curativo secundário em combinação com alginatos e hidrogéis
Curativos com adsorção de odor: <i>Actisorb Plus, Carbonet, Kaltocarb, Metrotop, Cliniflex.</i>	Para feridas que produzem um indesejável odor
Curativos hidrocoloide: <i>Aquacel, Granuflex, Comfeel, Combiderm, Cutinova Foam, DuoDerm, Tegasorb, Hydrocoll.</i>	Feridas com exsudação leve a média. Não é adequado para feridas infectadas
Hidrogéis: <i>AquaForm, Sterigel, Purilon Gel, Intrasite Gel, Granugel Hydrocolloid Gel.</i>	Feridas secas e necróticas. Excesso de feridas e feridas granuladas. Não é adequado para feridas infectadas e muito exsudativas
Revestimentos de espuma de poliuretano: <i>Allewyn, Tielle, Lyofoam, Sterigel, Nu-Gel, Purilon Gel, Intrasite Gel, Granugel, Flexipore, Spyrosorb.</i>	Feridas com exsudação leve a média. Não recomendado para feridas com superfícies secas
Curativos de alginato: <i>Sorbsan, Tegagel, Kaltostat, Algosteril, Algisite, Algoderm, Melgisorb, Kaltogel, Tegagel, Algosteril and Comfeelseasorb.</i>	Curativo primário para feridas médias e muito exsudativas. Não sendo adequado para feridas secas
Curativos de Alginato-colágeno: <i>Fibracol</i>	Adequado para úlceras no pé e úlcera da pressão do calcanhar

Existem outros inúmeros curativos no mercado da saúde que são destinados aos tratamentos de feridas. *KytoCel®* (Aspen Medical) é um exemplo de curativo com características altamente absorventes e composto por fibras de quitosano, um não tecido produzido pelo processo de cardação. Estas fibras ligam-se com o exsudato da ferida para absorção e retenção do seu líquido. Produzida também pelo processo de cardação, a gaze da marca *Melgisorb (Molnlycke Health Care)* é destinada para úlceras de pressão profunda e exsudativa, pioderma gangrenoso diabético e feridas com sangramento, sendo composta por fibra de

alginato. O curativo *Matriz Promogran Pirsma*, com composição de celulose regenerada oxidada, 45%, e Colágeno, 55%, promove ligação com as metaloproteases, criando um ambiente no leito da ferida que protege os fatores de crescimento, acelerando a cicatrização. A marca OEM (China) desenvolveu um curativo de alginato com prata, denominado *Algicare*, o referido material promove a absorção do exsudato e, os íons de prata são libertados no contato do exsudato com a ferida.

Na Figura 2.2, apresentam-se exemplos destes tipos de curativos.

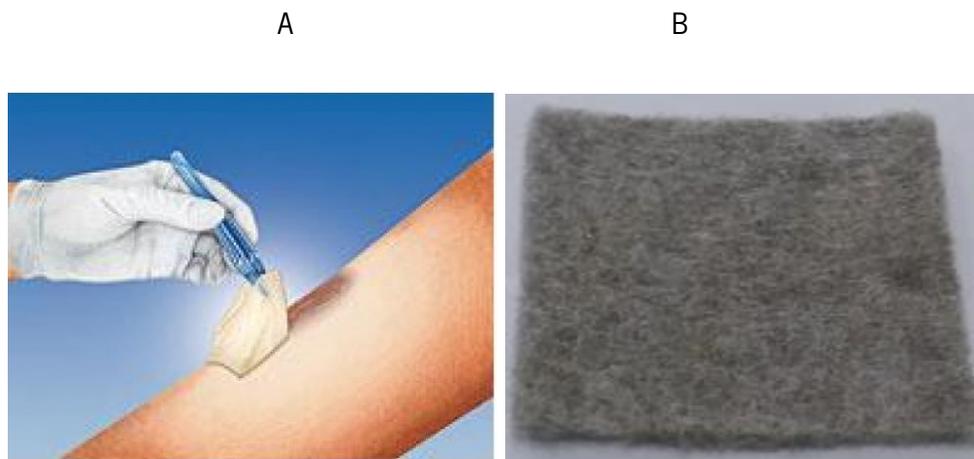


Figura 2.2: curativos para feridas A - KyoCel® – Fonte: (<http://www.medimove.co.uk/promogran-prisma-dressing>); B – *Algicare*® – Fonte:(<http://portuguese.alibaba.com/product-detail/advanced-silver-calcium-alginate-wound-dressings-with>).

Para feridas ocasionadas por queimaduras, o *Acticoat™*, uma gaze produzida pela Smith e Nephew (Hull, UK), caracteriza-se por possuir um núcleo de poliéster absorvente laminado entre duas camadas externas de malha de polietileno revestida com prata. Apresentou inibição para os microrganismos *P. aeruginosa* e *C. albicans* (Boonkaew *et al.*, 2014). A Figura 2.3 mostra a referida gaze.



Figura 2.3: curativo para queimadura Acticoat™ – Fonte: (Boonkaew *et al.*, 2014).

2.2 Nanotecnologia

Os fundamentos da nanotecnologia encontram-se no desenvolvimento de técnicas e de ferramentas adequadas para posicionar átomos e moléculas em locais previamente estabelecidos, de maneira a obter estruturas e materiais de interesse específico. Para tanto, tendo sido constantemente desenvolvidos instrumentos adequados para trabalhar nessa escala microscópica (Riboldi, 2009).

A nanotecnologia como ciência caracteriza-se pelo trabalho com materiais na escala nanométrica, nm, sendo definida como, “o design, caracterização, produção e aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas pela manipulação controlada do tamanho e forma na escala nanométrica (1-100 nm) que produz estruturas, dispositivos e sistemas com pelo menos uma característica com propriedade nova ou superior”. (Bawa *et al.*, 2007).

O ramo da nanotecnologia denominado de nanomedicina pode ser amplamente definido, segundo Boisseau e Loubatonb (2011), como “a completa monitorização, controlo, construção, reparação, defesa e melhoria de todos os sistemas biológicos humanos, trabalhando desde o nível molecular utilizando dispositivos de engenharia e nanoestruturas, em última análise, para atingir benefícios médicos”. Segundo os referidos autores, os nanomateriais devem ser produzidos à nanoescala para incluir componentes ativos ou objetos na gama de dimensões a partir de um nanómetro. Estes podem ser incluídos num microdispositivo que tenha uma interface macro ou num meio ambiente biológico. O foco, no entanto, é sempre promover nano-

interações dentro do quadro de um dispositivo maior ou diretamente dentro de um sistema sub-celular ou celular. A Figura 2.4 mostra como o cérebro humano pode ser mapeado através desta tecnologia.

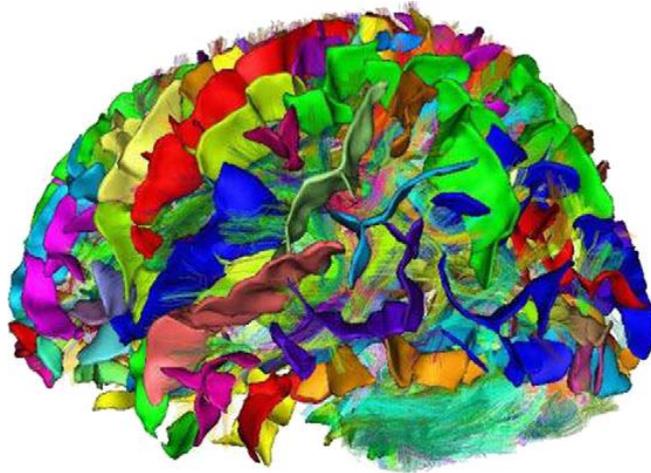


Figura 2.4: Ressonância magnética do cérebro humano mapeada com nanopartículas fotocromáticas

Fonte: Boisseau e Loubatonb (2011).

O facto acima exposto revela que os bionanomateriais podem ser utilizados para o auxílio, tanto no diagnóstico médico, como no tratamento de enfermidade num dado paciente. Como exemplo, nanopartículas fotocromáticas podem ser utilizadas para diagnóstico da imagem, no cérebro, auxiliando na identificação do cancro ou no diagnóstico de uma parte do cérebro que esteja danificada.

No setor têxtil, a pesquisa está voltada principalmente para o uso de nanomateriais durante a fabricação dos materiais têxteis, de forma a produzir nanoestruturas com funções especiais ou com propriedades melhoradas (Joshi, Bhattacharyya, 2011). A inclusão de nanomateriais nos substratos têxteis pode ser feita através da adição, à estrutura da fibra, durante o fabrico dos mesmos ou em tratamentos de superfície e revestimentos (Horrocks, 2011).

Tecidos com propriedades de libertação controlada de medicamentos são utilizados na área médica. Conforme Perelshtein *et al.*, (2008) e Wollina *et al.*, (2003), os tecidos podem ser tratados com agentes ou medicamentos bioativos na presença de modificadores físicos ou químicos adequados, para unir covalentemente porções bioativas. Em geral, os tecidos terão medicamentos que são fisicamente absorvidos ou adsorvidos, revestidos, encapsulados ou covalentemente conjugados no tecido. Possuem uma estrutura porosa e uma resistência adequada para a variedade de aplicações biomédicas, para além das propriedades

de libertação de fármacos. Tecidos funcionalizados com medicamentos são popularmente usados em ligaduras bioativas, substitutos de enxertos de pele artificiais, esponjas para a reparação e regeneração de tecidos, aromaterapia e outras aplicações. Nanopartículas de prata são amplamente utilizadas nos curativos para feridas devido à sua atividade antibacteriana (Tian *et al.*, 2007).

2.2.1 Nanobiotecnologia

A nanobiotecnologia é uma área da nanotecnologia que une a ciência dos materiais com as ciências biológicas, permitindo desenvolver produtos que ultrapassam em muito as limitações de custo e de manufatura, quando comparados aos métodos produtivos convencionais, sendo que a nanobiotecnologia envolve a compreensão dos fenômenos biológicos, no que se refere as propriedades físico-químicas das biomoléculas na escala nano (Faria-Tischer, Tischer, 2012).

Na bionanotecnologia, sistemas biológicos tão variados como vírus, complexos de proteínas, vesículas lipídicas e células artificiais, estão sendo desenvolvidos para aplicações na área médica, engenharia civil e na ciência dos materiais (Doll *et al.*, 2013).

Os blocos de construção biológicos, que se auto-montam em estruturas supramoleculares predeterminadas são de interesse considerável na biotecnologia bionanitária, onde a capacidade de controlar a forma, tamanho, geometria e química da superfície é crucial para a produção de materiais avançados com propriedades personalizadas (Seeman, 2010). O colágeno e elastina proteínas teciduais são feitas de fibras de dimensões menores que micrômetros, sendo assim, com a utilização da bionanotecnologia, portanto, pode-se imitar a função biológica das proteínas. Estes materiais podem ser utilizados na engenharia de tecidos e, para além disso, podem ser funcionalizados quimicamente para promover a regeneração tecidual. As fibras nanométricas artificiais têm uma grande aplicação potencial no campo dos biomateriais e engenharia de tecidos (Ou e Hosseinkhani, 2014).

Com relação à nanobiotecnologia, Thompsom (2011) relata que esta poderá suprir demandas de produtos em diferentes áreas da saúde, como, por exemplo, a criação de sistemas revolucionários de transporte de fármacos programáveis em escala molecular, poderão também ser criadas linhas de montagem molecular modeladas nos ribossomas (ribossomas sintéticos), sistemas de detecção de biomarcadores, nanossensores, biochips e copolímeros que auxiliam na restauração de lesões.

No trabalho de Goelzer *et al.* (2009), são apresentadas nanocápsulas da ordem dos 200 nm, produzidos com biomateriais, nomeadamente nanoesferas de celulose bacteriana de *Acetobacter xylinum* processada a partir da casca de arroz, a partir da fermentação da mesma em processo enzimático pela *G. xylinum* e cuja finalidade se destina à incorporação de compostos ativos que podem ser utilizados na indústria farmacêutica. Na Figura 2.5 apresenta-se as referidas nanocápsulas.

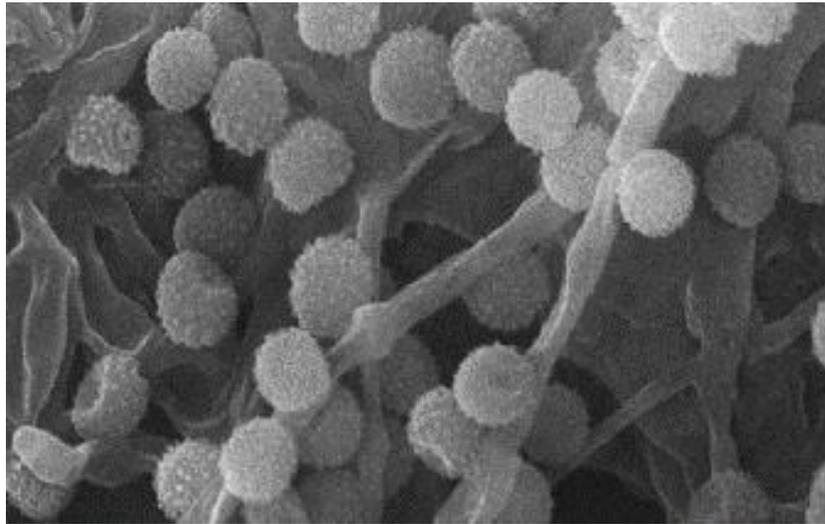


Figura 2.5: Nanoesferas de celulose bacteriana de *Acetobacter xylinum* processada a partir da casca de arroz Fonte: Goelzer *et al.*, (2009).

A nanobiotecnologia atende os requisitos de produtos em diferentes áreas, como, por exemplo, o desenvolvimento de sistemas para transporte de fármacos programável a nível molecular, cujas estruturas e movimentações estão baseadas no ADN. São possibilidades que a nanobiotecnologia pode auxiliar a concretizar, permitindo importantes avanços na medicina terapêutica e também na medicina preventiva (Thompson, 2011).

2.2.2 Nanomateriais

Os nanomateriais são sintetizados e modificados para aumentar o seu desempenho em vários processos tecnológicos e industrializados (Eriksson *et al.*, 2009). Atualmente são produzidos de diferentes fontes, dependendo das suas aplicações potenciais e, sendo que, a sua composição difere de acordo com a sua formulação (Faddeel, Garcia-Bennett, 2010). Para John, (2009), as aplicações potenciais para os nanomateriais são diversas e de natureza interdisciplinar, ou seja, não se limitam a exercer apenas uma única função.

Em sua recomendação a Comissão Europeia define nanomaterial como “um material natural, incidental ou fabricado, que contém partículas num estado desagregado ou na forma de um agregado ou de um aglomerado, e em cuja distribuição número-tamanho 50% ou mais das partículas têm uma ou mais dimensões externas na gama de tamanhos compreendidos entre 1nm e 100 nm.”

Segundo Freeman *et al.*, (2008), na classe de nanomateriais incluem-se as nanopartículas, nanofibras, nanofios, nanofilmes, nanotubos, nanocristais, etc. Podem ser produzidos por técnicas como deposição química em fase de vapor, electrospinning, separação de fases, decapagem química (*etching*), processos de automontagem, deposição de filmes finos, nanoimpressão, fotolitografia e litografia por feixe de eletrões ou litografia de nanoesferas, entre outros.

Observa-se que um grande número de nanomateriais como nanopartículas, nanogeis, nanotubos, nanocápsulas, entre outros, podem ser utilizados na saúde em suas mais diversas áreas. De acordo com Steiniger *et al.*, (2004), os nanomateriais portadores de drogas farmacológicas atualmente estão em desenvolvimento para novas e mais eficazes modalidades de entrega de medicamentos. Alguns deles incluem dendrímeros, micelas e nanopartículas lipídicas sólidas. Destacam-se, por exemplo, as matrizes lipídicas sólidas estabilizadas por agentes tensioativos que proporcionam libertação controlada de fármacos.

Para Kuroda *et al.*, (2009), as micelas também se destacam, pois possuem uma estrutura núcleo-*shell*, sendo compostas por polímeros de bloco anfifílico. Segundo o autor, a utilização do fármaco quimioterapêutico (SN-38) incorporado em micelas foi destinado para o tratamento com glioblastoma em camundongos, apresentando efeito para atividade antitumoral.

Com a utilização da segmentação seletiva para entrega de fármacos, objetiva-se minimizar a entrega de fármaco em locais não intencionais, aumentando assim a segmentação das drogas ao reduzir a sua

toxicidade. Métodos para segmentação seletiva de nanopartículas carregadas de fármacos, incluindo o uso de sistemas magnéticos externos ajudam a direcionar as partículas em uma estratégia chamada de segmentação magnética (Arruebo *et al.*, 2007). O uso de luz (terapia fotodinâmica) ou calor também podem ser utilizados para controlar a entrega de fármacos por nanopartículas (Wieder *et al.*, 2006).

Na Figura 2.6 são apresentadas diferentes estruturas para nanopartículas transportadoras de ativos, que podem ser destinadas a combater por exemplo, células tumorais. Salienta-se que podem ser destinadas também à aplicação em outras terapias.

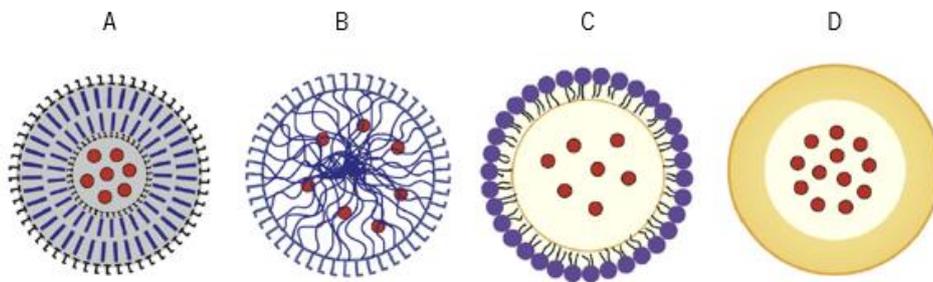


Figura 2.6: Esquema estrutural: A – lipossomas, B – micela; C – nanopartículas de lipídio sólido e D – nanocápsulas

Fonte: Béduneau, Saulnier e Benoit (2007).

2.2.3 Nanopartículas Poliméricas

Conforme Aouada, (2009), as nanopartículas poliméricas podem ser nanocápsulas e nanoesferas, que se diferenciam entre si quanto à sua composição e organização estrutural. As nanocápsulas são formadas por um invólucro polimérico ao redor de um núcleo oleoso. As nanoesferas não apresentam óleo na sua composição, sendo formadas por uma matriz polimérica sólida, sem a diferenciação entre núcleo e superfície, apresentando uma matriz homogênea.

Nanopartículas poliméricas têm atraído atenção especialmente nas indústrias farmacêuticas, biomedicas, cosméticas e indústrias alimentares, devido às suas características funcionais (Rothenfluh *et al.*, 2008; Acosta, 2009). As nanopartículas são utilizadas como encapsulantes ou invólucro para proteger compostos bioativos do contato direto com condições adversas, que possam alterar suas propriedades, como por exemplo, luz, calor e oxigênio (Jang e Lee, 2008).

Polímeros como o ácido polilático, policaprolactona, poliglicólico, colágeno, polianidridos, quitosana, albumina e gelatina são os mais utilizados na síntese de nanopartículas polimérica e, em geral, são produzidas através da dispersão dos polímeros pré-formados e, por polimerização de monômeros. (Vrignaud, Benoit e Saulnier, 2011; Domingo e Saurina, 2012).

Na Tabela 2.2 podem ser visualizadas algumas nanopartículas poliméricas incorporadas com biomateriais, óleos essenciais, assim como, as suas aplicações.

Tabela 2.2: Nanopartículas poliméricas, constituinte ativo e aplicação.

Tipo de Nanopartículas	Concentração	Óleo Essencial/ constituente	Bioatividade	Referências
Lipídica	1,6 mg/mL	<i>Origanum dictamnus</i>	Listeria monocytogenes	Gortzi <i>et al.</i> (2007)
Lipídio Sólido	0,18 mg/cm ² ; 25 µg/mL	<i>Artemisia arborescens</i>	Herpes Simplex Virus 1 (HSV-1)	Lai <i>et al.</i> (2006); Karamodini <i>et al.</i> (2011)
	125 µg/mL	<i>Prunus dulcis</i>	<i>C. albicans</i>	Cerreto <i>et al.</i> (2013)
	7,8 µg/mL; 500 µg/mL	Óleo de Copaiba	<i>Candida krusei</i> , <i>C. parapsilosis</i> ; <i>Trichophyton rubrum</i>	Svetlichny <i>et al.</i> (2015)
Quitosano	0,257 mg/mL	Carvacrol	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>B. cereus</i>	Keawchaoon e Yoksan (2011)
	500 mg/mL	Tomilho	<i>Aspergillus flavus</i>	Khalili <i>et al.</i> , (2015)
Quitosano e ácido cinâmico	800 ppm	<i>Menta piperita</i>	<i>Aspergillus flavus</i> .	Beyki <i>et al.</i> , (2014)
Alginato/caju	4,4% massa	<i>Lippia sidoides</i>	Larvicida	Oliveira <i>et al.</i> , (2014)

Nanopartículas podem ser destinadas para veiculação de fármacos como as proteínas, vacinas, peptídeos, fármacos hidrofílicos e lipofílicos, pois possibilitam o aumento da sua estabilidade, em fluidos biológicos, diminuindo assim os efeitos colaterais, para além disso, possui baixo custo de armazenamento (López-León *et al.*, 2005).

Pesquisas demonstram que o polímero quitosano é versátil, uma vez que pode ser conjugado com diversos nanomateriais. Archana *et al.*, (2013), comprovou a eficácia do processo de cicatrização *in vivo* de nanopartículas poliméricas de quitosano conjugadas com poly (N-vinylpyrrolidone) e nanopartículas de titânio. Rajendran *et al.*, (2013) revelou no seu estudo que nanopartículas de quitosano e alginato de sódio incorporadas com *O. sanctum* atuaram como agentes de controlo biológico em tecidos contra as bactérias *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*.

Na Figura 2.7 são apresentadas imagens TEM de nanopartículas de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com ativo, carvacrol.

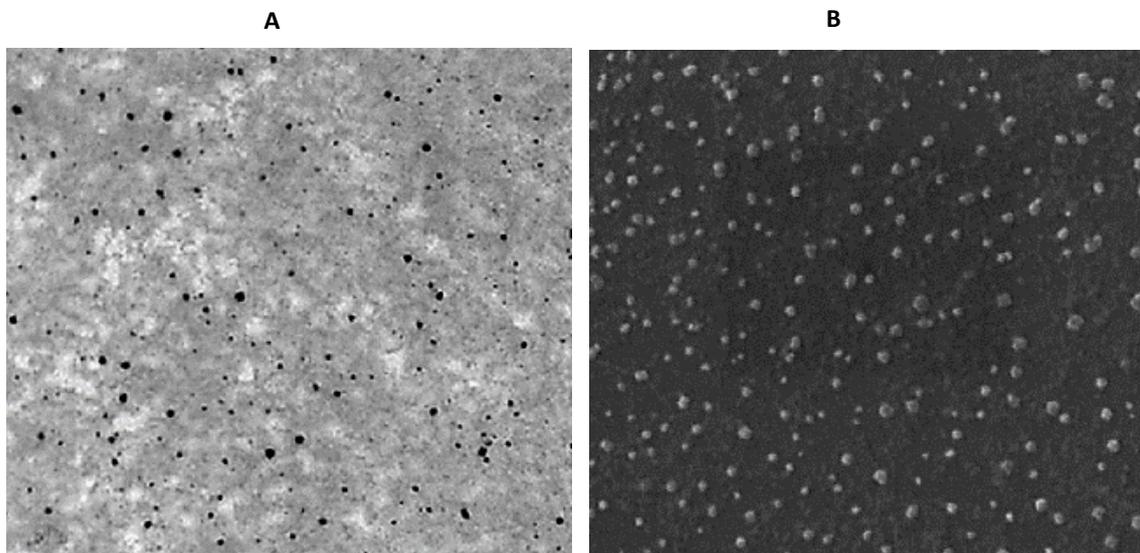


Figura 2.7: Imagens TEM, A - nanopartículas de quitosano (Ali, Rajendran e Joshi, 2011); B - nanopartículas de quitosano incorporadas com Carvacrol (Hosseini *et al.*, 2013).

2.3 Técnicas para Produção de Nanopartículas Poliméricas

A utilização de nanopartículas poliméricas, como sistema de libertação controlada de fármacos por exemplo, são de grande aplicação, uma vez que atuam na distribuição de uma substância ativa, melhorando a sua eficácia, permitindo o aumento da sua concentração no sítio-alvo, o que faz reduzir a sua toxicidade, possibilitando assim, mais eficácia do sistema na distribuição de um fármaco (Sundar *et al.*, 2010). Para além disso, são utilizadas como veiculação de proteínas, peptídeos, fármacos hidrofílicos, lipofílicos e vacinas, pois contribuem para a estabilidade do fármaco em fluidos biológicos, sendo o seu armazenamento de baixo custo, assim como diminui os efeitos colaterais (López-León *et al.*, 2005).

O tipo de polímero a ser escolhido, assim como o método de preparo das nanopartículas devem ser formas de escolha criteriosas, conforme Dasha *et al.*, (2007) os materiais utilizados na sua produção podem interferir nas características como morfologia, potencial zeta, resistência físico-química, entre outros. Para Peres, (2012), o processo de síntese das nanopartículas poliméricas deve ser realizado, tendo em consideração a razão ativo/polímero, de forma a obter uma alta taxa de encapsulação e baixa toxicidade.

2.3.1 Nanoprecipitação

A nanoprecipitação também é chamada pelo método de deslocamento de solventes. Envolve a reciprocidade de um polímero pré-formado a partir de uma solução orgânica e, a difusão do solvente orgânico no meio aquoso, na presença ou ausência de um tensoativo. O polímero é dissolvido num solvente miscível com água de polaridade intermediária, levando à precipitação de nanoesferas. Esta fase é injectada numa solução aquosa agitada contendo um estabilizador como surfactante. A deposição de polímero na interface entre a água e o solvente orgânico, causada pela rápida difusão do solvente, leva à formação instantânea de uma suspensão coloidal, posteriormente a separação de fases é realizada com um solvente totalmente miscível, que também é um não solvente do polímero (Guterres *et al.*, 2007).

2.3.2 Dispersão de Polímeros Pré-formados

O método de dispersão de polímeros pré-formados é utilizado por exemplo, para síntese de nanopartículas de PLA e PCA. A referida técnica pode ser empregada ainda por evaporação do solvente ou por difusão do solvente, ambas as formas de síntese podem ser utilizadas para substâncias hidrofílicas ou hidrofóbicas.

No método por evaporação do solvente é utilizado a homogeneização para síntese das nanopartículas. O polímero é dissolvido em um solvente juntamente com o ativo, a mistura sofre emulsificação em solução aquosa, formar-se uma solução com um agente tensoativo, para formar a emulsão contendo as nanopartículas. Para o método por difusão do solvente, aplica-se um solvente miscível em água juntamente com um outro solvente não miscível. A difusão das duas fases conduz a formação das nanopartículas (Geckeler, 2011).

2.3.3 Gelificação Iônica

As nanopartículas poliméricas produzidas através deste método são preparadas usando polímeros hidrofílicos biodegradáveis, tais como o quitosano (Dustgania *et al.*, 2008). No caso da utilização do polímero quitosano, o método envolve uma mistura de duas fases aquosas, das quais uma contem o polímero quitosano e a outra, um tripolifosfato de sódio (TPP). Neste método, o grupo amina com cargas positivas do quitosano interage com tripolifosfato carregado negativamente, quando este é inserido por gotejamento numa solução de quitosano, formando assim as nanopartículas. A gelificação iônica envolve o material em transição de líquido para gel devido a condições de interação iônica à temperatura ambiente. Esta técnica envolve agitação à temperatura ambiente, de uma fase alcalina com pH 7-9 contendo tripolifosfato de sódio numa fase ácida, pH 4-6 contendo quitosano (Aouada, 2009; Rejinold *et al.*, 2011; Ajun *et al.*, 2009).

As nanopartículas de quitosana/TPP podem ser produzidas com variações nas condições do processo, tais como a concentração de quitosano, razão em massa de quitosano/TPP e de pH (Nasti *et al.*, 2009). A Figura 2.8 mostra a forma de produção do referido método.

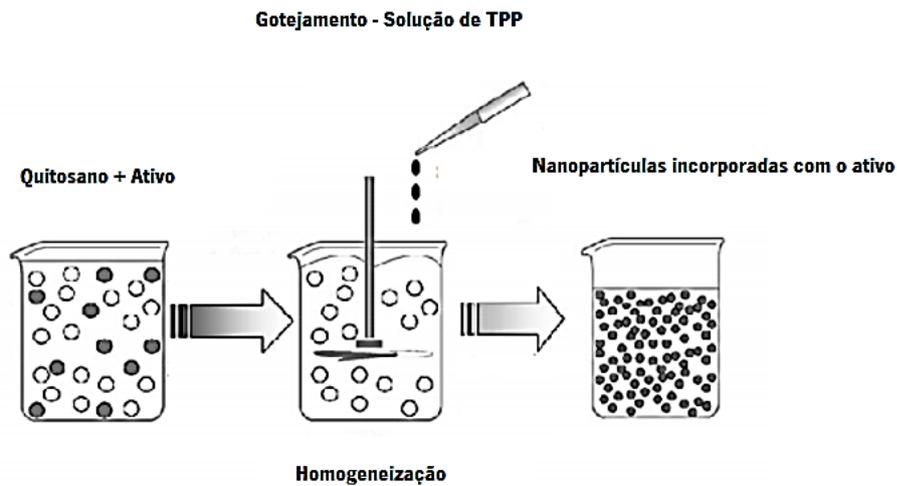


Figura 2.8: Esquematização da produção de nanopartículas pelo método da gelificação iônica

Fonte: (Nagavarma *et al.*, 2012).

2.4 Biopolímeros

Ao longo dos últimos anos, tem ocorrido um enorme direcionamento para o uso de biopolímeros em diferentes campos de aplicação. A sua abundância, biocompatibilidade, biodegradabilidade e, portanto, segurança ecológica são fatores considerados positivos para a sua aplicação (Prashanth e Tharanathan, 2007).

Muitos produtos têxteis médicos modernos são feitos de componentes de fibras poliméricas e, das suas estruturas modificadas. A palavra “biomateriais” é uma combinação da palavra grega “bios” (tudo a ver com a vida) e “materiais” (incluindo substâncias ou componentes com certas propriedades que são usadas como entrada na produção ou na fabricação). Os biomateriais podem ser definidos simplesmente como materiais naturais ou fabricados (feitos pelo homem) que compõem toda ou parte de uma estrutura viva ou dispositivo biomédico. Assim, os biomateriais são essencialmente utilizados e adaptados para aplicações médicas (Petrulyte e Petrusis, 2011).

Nos acabamentos têxteis, por exemplo, a incorporação de polissacarídeos naturais é um conceito utilizado, que foi introduzido nos últimos anos. As suas propriedades únicas podem ser aplicadas em diferentes áreas de aplicação, como desodorizantes (Sricharussin *et al.*, 2009), repelentes de insetos (Abdel-Mohdy *et al.*,

2008), retardadores de fogo (El-Shafei, ElShemy e Abou-Okeil, 2015), bloqueadores de UV (Ibrahim *et al.*, 2010) e como acabamentos antimicrobianos (Fiorani *et al.*, 2014).

Na Tabela 2.3 são apresentadas as características de alguns biopolímeros usados no acabamento antimicrobiano em têxteis.

Tabela 2.3: Características de alguns biopolímeros usados no acabamento antimicrobiano de têxteis – Fonte: (Shahid e Mohammad, 2013).

Biopolímero	Fonte de extração	Características
Quitosano	Crustáceos e fungos	Biocompatível, biodegradável, antimicrobiano, atividade antiestática, não tóxico, propriedade quelante, propriedade desodorizante, capacidade de formação de filme, reatividade química, natureza polielectrolítica, capacidade de melhoria do tingimento, custo-efetividade, propriedades espessantes, atividade de cicatrização de feridas
Ciclodextrina	Amido	Natureza ecológica, transporte de drogas, liberação lenta de fragrâncias, capacidade de solubilização, facilidade de produção, custo-eficácia e atividade quelante.
Sericina	Bicho da seda (<i>Bombyx Mori</i>)	Biocompatível, biodegradável, resistência UV, resistente à oxidação, capacidade de retenção de umidade, propriedades antibacterianas, gelificantes e propriedades de adesão.
Alginato	Algas marinhas	Alta capacidade de absorção de umidade, biocompatibilidade, capacidade de cicatrização de feridas, atividade antibacteriana.

2.4.1 Quitosano

O quitosano (CS), um polímero de longa cadeia linear, é um polissacarídeo constituído por unidades de N-acetil-D-glicosamina e D-glicosamina, unidas através de ligações β -1,4. A sua cadeia polimérica é composta por três grupos funcionais, um grupo amino e dois grupos, um hidroxilo primário e outro secundário nas

posições dos carbonos C-2, C-3 e C-6 respectivamente. (Cavalcanti *et al.*, 2005; Yoshimura *et al.*, 2005). É derivado da quitina, que é amplamente distribuída na natureza como componente estrutural de exoesqueletos de crustáceos e insetos, em diatomáceas e algas marinhas, assim como está presente também, em algumas paredes celulares de fungos. A quitina é um polissacárideo linear insolúvel constituído por unidades repetidas de N-acetil-D-glucosamina, ligados através de ligações glicosídicas β - (1 \rightarrow 4) (Gao, Cranston, 2008).

Na Figura 2.9, visualiza-se, conforme destaca Younes e Rinaudo (2015), as estruturas químicas da quitina e do quitosano.

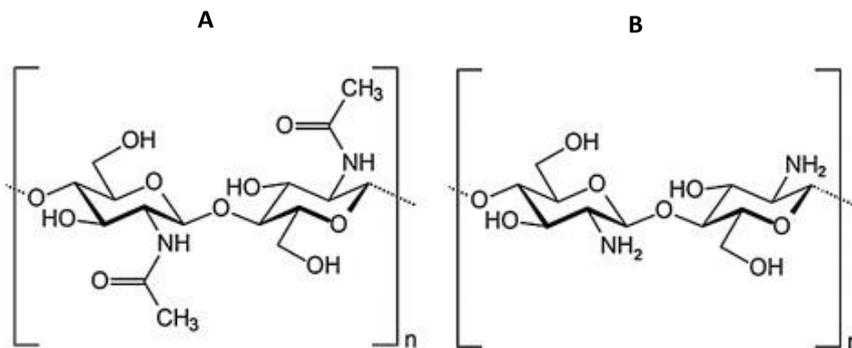


Figura 2.9: Estrutura química da quitina (A) e quitosano (B).

No campo dos biomateriais, o quitosano tornou-se o foco graças às suas propriedades antibacterianas satisfatórias, biocompatibilidade, biodegradabilidade, propriedades hemostáticas e não toxicidade (Chen *et al.*, 2006). Pode ser utilizado como material para curativo devido à sua promoção da proliferação de fibroblastos, síntese de colágeno, granulação e vascularização (Croisier e Jérôme, 2013).

As soluções de quitosano apresentam propriedades bactericidas e bacteriostáticas, geralmente atribuídas à condição de ser um polímero catiónico. O seu mecanismo está ligado as suas cadeias carregadas positivamente, que atuam na superfície da parede das bactérias, induzindo mudanças da permeabilidade na parede da membrana de microrganismos (Goy *et al.*, 2009) e, formar uma camada impermeável ao redor da célula, bloqueando assim o transporte de solutos essenciais para a célula (Campos *et al.*, 2008).

O quitosano e seus derivados são utilizados como biomateriais numa grande quantidade de aplicações que vão desde farmacêutica, cosmética, biomédica, alimentação, agricultura, papel e têxtil. No campo têxtil, as aplicações do quitosano estão principalmente relacionadas com suas propriedades antimicrobianas, sendo um biocida de amplo espectro com alta eficácia antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, bem como fungos e leveduras (Kong *et al.*, 2010).

Por causa de suas propriedades biológicas, o quitosano pode ser utilizado, sob a forma de hidrogéis ou de andaimes porosos, para inúmeras aplicações médicas como engenharia de tecidos ou administração de fármaco (Céline *et al.*, 2013). No entanto, o curativo é uma das aplicações médicas mais promissoras para materiais como o quitosano, que demonstraram promover a regeneração do tecido cutâneo por meio de um aumento da proliferação celular (Zhou *et al.*, 2008).

Os curativos comerciais preparados a partir de quitina ou quitosano são principalmente sob as formas de filmes e ou fibras secas (Jayakumar *et al.*, 2011). Contudo, Boucard *et al.*, (2007) e Ribeiro *et al.*, (2009) especificam que os hidrogéis físicos de quitosano, constituídos apenas por quitosano e água, podem ser aplicados no tratamento de queimaduras, devido à sua capacidade de promover a proliferação celular, em particular, por um controle de humidade na superfície da ferida.

Na Figura 2.10 pode ser observado o aspeto do filme de quitosano após aplicação do revestimento em tecido de algodão.

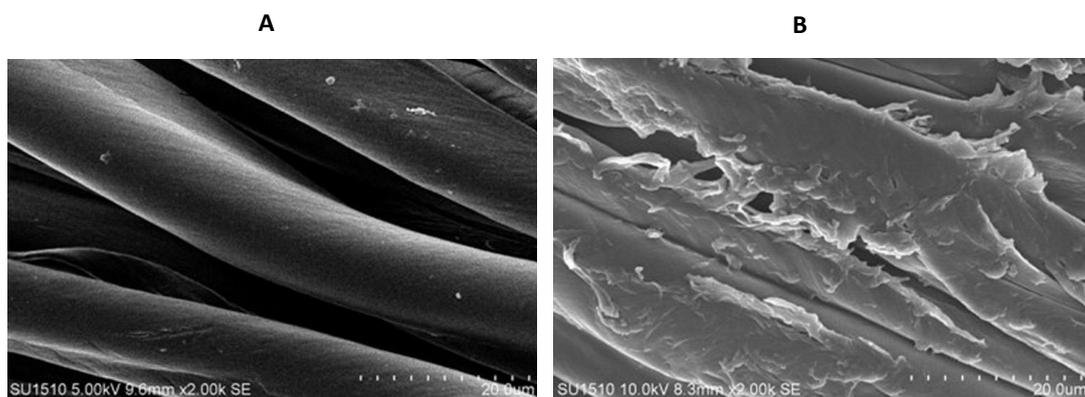


Figura 2.10: A – amostra controlo 100% algodão; B – algodão revestido com quitosano (Cheng *et al.*, 2014).

2.4.2 Goma Arábica

Goma arábica é um biopolímero aniônico, utilizado como emulsificante, espessante e estabilizante em alimentos e cosméticos, composto por macromoléculas com predominância de carboidratos, como D-galactose, L-arabinose, L-ramnose, derivados de ácidos como os D-glicurônico e 4-O-metil-D-glicurônico e seus respectivos sais metálicos. Extraída de espécies de árvores como a Acácia senegal e Acácia seyal, a sua capacidade de formação de filmes deve-se as unidades polissacarídicas ligadas a uma cadeia polipeptídica (Li *et al.*, 2011).

Sendo um biopolímero estabilizador é aplicado em diversas sínteses de nanomateriais como nanopartículas de prata (Gils, Rayb e Sahoo, 2010) nanopartículas de ouro (Devi *et al.*, 2017), nanopartículas de zinco (Fardood *et al.*, 2017). Para além disso, também é utilizado em conjunto na síntese de nanopartículas de quitosano (Sakloetsakun *et al.*, 2016) e, com alginato para encapsulação de óleo essencial (Oliveira *et al.*, 2008). A Figura 2.11 mostra a estrutura molecular da goma arábica.

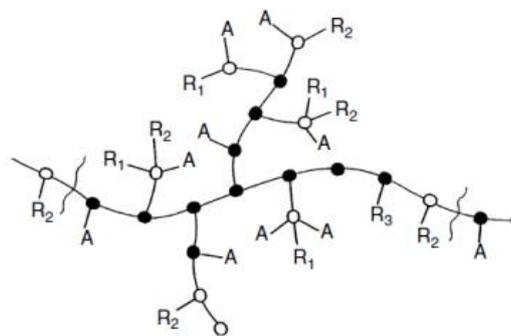


Figura 2.11: Estrutura molecular da goma arábica (Stephen, Phillips e Williams, 2006).

2.4.3 Goma do Cajueiro

A goma do cajueiro é processada através da resina extraída do tronco da árvore *Anacardium occidentale* L., originário da região nordeste do Brasil, o polímero é um hétéro polissacarídeo (Lima *et al.*, 2001). Apresenta aplicações diversas, sendo utilizada na indústria de alimentos como agente espessante e gelificante. A goma do cajueiro apresenta aplicações diversas na indústria alimentícia atuando como agente espessante e

gelificante, por exemplo. Além disso, também é utilizada como agente aglutinante de comprimidos e cápsulas na indústria farmacêutica (Campos *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2012). Para além disso pode ser ainda utilizada em formulações com quitosano.

Apresenta características favoráveis para utilização como biomaterial, embora, seja solúvel em água, o que dificulta a sua aplicação na síntese de nanopartículas, sendo necessário alterar a sua polaridade com tratamento químico, possibilitando a ligação de grupos hidrofóbicos através do processo de acetilação, de maneira que possa ser aplicada na síntese de nanopartículas poliméricas (Pitombeira *et al.* 2015). Ainda segundo o autor, a goma do cajueiro acetilada (GCA), apresenta eficácia para a síntese de nanopartículas destinadas a libertação controlada de fármacos, como a indometacina.

A Figura 2.12 apresenta o resultado de pesquisas para o desenvolvimento de um biofilme proveniente da resina do cajueiro com aplicação destinada para curativo.



Figura 2.12: A – resina do cajueiro; B - biofilme sintetizado com a resina do cajueiro (<http://noticias.r7.com/jornal-da-record/videos/pesquisadores-desenvolvem-curativo-natural-e-biodegradavel-com-resina-de-cajueiro>).

2.4.4 Alginato

O alginato é um polissacarídeo obtido de algas marinhas sendo muito aplicado em estudos nas áreas de engenharia de tecidos e, na síntese de materiais utilizados no processo de libertação controlada de bioativos (Wiegand e Hipler, 2010). O alginato de uso comercial é obtido das algas marrons, pertencente as espécies *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* e *Macrocystis pyrifera* (George e Abraham, 2006). Sendo um

copolímero linear de aniões, a sua fórmula estrutural apresenta os compostos (1,4) β -D-manuronato (M) e α -L-guluronato (G) (Saether *et al.*, 2008).

As características principais deste polímero são a sua capacidade de absorção e retenção de água, suas propriedades gelificantes e, propriedades estabilizantes. À sua estrutura linear, assim como a sua alta massa molar, possibilita a formação de filmes e fibras resistentes no estado sólido (Rinaudo, 2008). O alginato pode ser utilizado na produção de diversos produtos destinados para a área da saúde. No trabalho realizado por Bueno *et al.*, (2014) são apresentadas membranas lamelares densas de alginato-quitosano, produzidas para utilização como curativos em lesões da pele e, nanopartículas para liberação de fármacos, como a estreptomicina (Chopra *et al.*, 2012).

A Figura 2.13 apresenta a estrutura química do alginato e, nanopartículas de alginato conjugadas com quitosano.

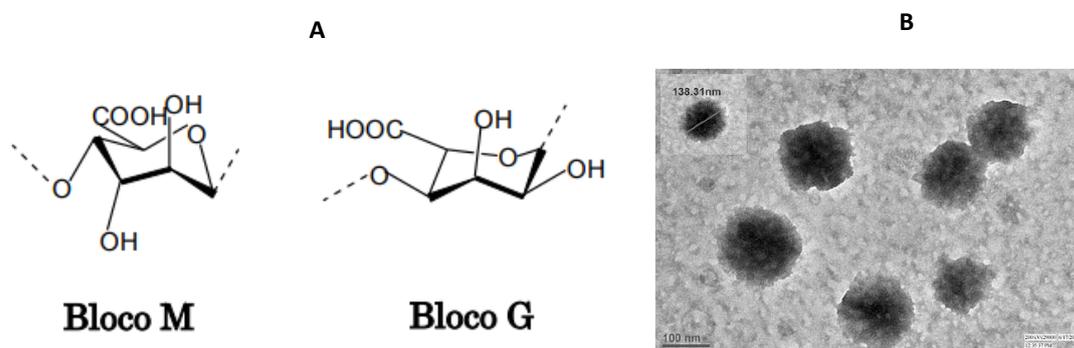


Figura 2.13: A – estrutura química do alginato (Saether *et al.*, 2008);

B – nanopartículas de alginato + quitosano (Bernela *et al.*, 2014).

2.5 Plantas Medicinais

O uso de plantas medicinais para cura de qualquer doença é uma prática muito antiga levada a cabo pelo ser humano. Muito embora tenham propriedades terapêuticas reconhecidas, também possuem propriedades tóxicas (Bochner *et al.*, 2012). As plantas são, praticamente, fontes inesgotáveis de compostos biologicamente ativos, seus compostos bioativos têm sido amplamente utilizadas pelas indústrias

farmacêuticos, de alimentos e cosméticos (Belščak-Cvitanović *et al.*, 2011; Gou, Zou e Ahn, 2011). Os fitoquímicos podem representar adjuvantes promissores para antibióticos, promovendo sinergia entre metabolitos de plantas e antibióticos (Hemaiswarya *et al.*, 2008).

As plantas medicinais são utilizadas na medicina tradicional como agentes antimicrobianos, ressalta Correa-Royero, (2010), existindo a necessidade de aferir o potencial desses materiais, medir a grau mínimo de inibição de microrganismos, complementa Dimer *et al.*, (2013). Necessita-se também de aferir propriedades como as de cicatrização, antitumoral, analgésicas, entre outras. Vallhov *et al.*, (2006) afirma que o efeito das nanopartículas produzidas com constituintes biológicos dependerá muito da sua composição química. A Figura 2.14 apresenta plantas medicinais utilizadas na indústria farmacêutica e cosmética



Figura 2.14: A – *Mentha x piperita* (Hortelã Pimenta); B - *Lippia sidoides* Cham (Alecrim Pimenta); C - *Lippia alba* (Erva cidreira) - Fonte: <https://www.google.com>. (2014).

2.5.1 Óleos Essenciais

Conforme a ISO 9235:1997, “os óleos essenciais são obtidos de partes de plantas através da destilação por arrasto com vapor d’água, bem como podem ser obtidos por processamento mecânico dos pericarpos de frutos cítricos (*Rutaceae*)”. Os seus compostos, estão quimicamente na classe dos terpenos, que são os principais constituintes químicos de plantas odoríferas utilizadas na medicina, indústria farmacêutica e até na culinária.

Os óleos essenciais e os seus extratos são considerados como compostos que constituem importantes fontes de moléculas biologicamente ativas e, uma fonte económica com mais valia, também são providos de propriedades inseticida, herbicida e fungicida (Magalhães *et al.*, 2013). Dentre muitos óleos essenciais com propriedades biológicas, por exemplo, pode ser destacado o cravo *Eugenia caryophyllata*, que apresenta propriedades anestésicas, analgésicas locais, anti-inflamatórias e efeitos antibacterianos (Hemaiswarya, 2009).

O óleo essencial de limão (*Citrus limon L.*) tendo como principais constituintes o limoneno, β - pineno, γ - terpineno e citral (neral e geranial). Este óleo essencial possui constituintes como o limoneno e o citral, com atividade antibacteriana sobre as bactérias *Escherichia coli* e *Stafilococcus aureus* já constatada em muitos estudos, bem como de repelência a insetos (Misharina e Samusenko, 2008). Ressalta-se também que as substâncias maioritárias existentes nos óleos essenciais nem sempre são as responsáveis pelas propriedades que estes demonstram (Bandoni, Czepak, 2008).

Bodini *et al.*, (2009) e Khan *et al.*, (2009) demonstraram em seus estudos a atividade inibitória do extrato do condimento alho nos microrganismos *Escherichia coli*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Chromobacterium violaceum* e *Pseudomonas chlororaphis*, onde constataram o seu poder inibitório referente ao desenvolvimento desses microrganismos. Os óleos essenciais com princípio antimicrobiano, em específico, antibacteriano, tornam-se um importante mecanismo para a redução de virulências e patogenicidade de bactérias.

Com relação à síntese dos óleos essenciais, esta encontra-se associada com a presença de estruturas secretoras especializadas, que são divididas em estruturas de secreção internas (cavidades e os canais secretores) e externas (os tricomas glandulares) (Svoboda e Greenaway, 2003). Segundo Turner *et al.* (2000), as estruturas anatómicas responsáveis pela produção dos óleos essenciais denominam-se tricomas. Ainda segundo o autor, plantas como a menta possuem até três tipos de tricomas.

Lawrence (2006) especifica que essas estruturas responsáveis pela efetiva produção do óleo essencial são chamados de tricomas glandulares, estando localizados na epiderme das folhas e, que cada um é formado por oito células secretoras. Na Figura 2.15 pode ser observado a anatomia da referida célula juntamente com a presença de óleo essencial.

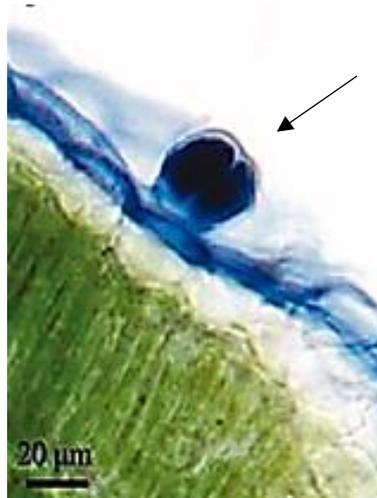


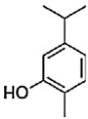
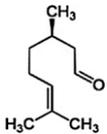
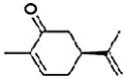
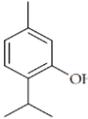
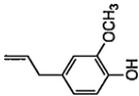
Figura 2.15: Tricoma capitado na superfície adaxial, confirmando a presença de terpenos (óleo essencial) - Fonte: (Guimarães *et al.*, 2014).

Devido à sua composição química complexa, muitas vezes composta por mais de 100 compostos terpênicos diferentes, os óleos essenciais possuem um amplo espectro de atividade biológica e antimicrobiano (El Asbahani *et al.*, 2015).

Alguns OEs contêm outras classes de moléculas oxigenadas como os fenilpropanóides e seus derivados. São encontrados em casca de canela e cravo (Barceloux, 2008). Alguns terpenos são potentes drogas contra doenças como o cancro (Ebada *et al.*, 2010), malária (Parshikov, Netrusov, 2012) e outros mostram propriedades inseticidas (Rossi *et al.*, 2012).

Na Tabela 2.4, são destacados os componentes majoritários de diversas plantas e sua atividade biológica:

Tabela 2.4: Óleos essenciais e suas atividades biológicas.

Gênero	Principal constituinte - estrutura molecular	Atividade biológica	Referencias
<i>Citrus limon</i>	D-Limoneno 	Antifúngico, Antioxidante	Singh <i>et al.</i> , (2010)
<i>Origanum vulgare ssp. Hirtum</i>	Carvacrol 	Antimicrobiano	Cantalino Santos <i>et al.</i> , (2011)
<i>Thymus maroccanus</i>		Antimicrobiano Anti-inflamatório	Lima <i>et al.</i> , (2013)
<i>Cymbopogo</i>	Citronelal 	Inseticida, Antifúngico Antimicrobiano Antioxidante	Singh <i>et al.</i> , (2012)
<i>Mentha spicata</i>	Carvone 	Antiespasmódico, Antimicrobiano Anti-hipertensivo	Esfandyari- Manesh <i>et al.</i> , (2013); Muruganathan, (2013)
<i>Lippia sidoides</i> Cham	Timol 	Antimicrobiano Cicatrizante	Garmus <i>et al.</i> , (2015)
<i>Eugenia Caryophyllata</i>	Eugenol 	Antifúngico Antibacteriano	Ghosh <i>et al.</i> , (2014)

2.5.2 Gênero *Copaífera*

A *Copaífera* é uma árvore pertencente à família das *Leguminosae Juss.* São identificadas 72 espécies, das quais 16 são encontradas no Brasil. Entre as espécies de *Copaíferas* mais comuns no Brasil, estão: *C. officinalis* L., *C. reticulata* Ducke, *C. multijuga* Hayne, *C. confertiflora* Bth, *C. langsdorffii* Desf, *C. coriacea* Mart., *C. cearensis* Huber ex Ducke (Junior, Pinto, 2002). Ainda segundo o autor, o óleo de copaíba é extraído do tronco da árvore, sendo encontrado em canais secretores denominados de esquizógenos.

O óleo de copaíba caracteriza-se por uma parte sólida, uma resina não volátil, que é constituída por ácidos terpênicos, que representa cerca de 55 a 60% do óleo, sendo o óleo essencial, composto por sesquiterpenos oxigenados, álcoois, e hidrocarbonetos sesquiterpênicos (Junior, Pinto, 2002).

As propriedades e a concentração dos terpenos no óleo de copaíba pode variar dependendo das mudanças sazonais, mas estão sempre presentes. Alguns dos constituintes ativos no óleo de copaíba são β -bisabolol, um agente anti-inflamatório e β -cariofileno, um composto bactericida e anti-inflamatório (Bonan *et al.*, 2015).

Na Tabela 2.5 são apresentadas as características de alguns dos gêneros de *Copaíferas*.

Tabela 2.5: Características químicas e de bioatividade de alguns gêneros de *Copaifera*.

Espécie	Constituintes Maioritários	Atividade Biológica	Referência
<i>Copaifera reticulata</i> Ducke	β -bisaboleno, <i>trans</i> - α -bergamoteno, β -selineno, α -selineno	¹ Antimicrobiano ² Cicatrização ³ Antinflamatório	¹ Zoghbi <i>et al.</i> , (2009) ² Guimaraes-Santos <i>et al.</i> , (2012) ¹ Ziech <i>et al.</i> , (2013) ^{1,3} Bardaji., (2016)
<i>Copaifera</i> spp	β -cariofileno, α -bergamoteno, α -cariofileno, β -bisaboleno	¹ Antimicrobiano ² Antinflamatório ³ Antileishmania	³ Soares <i>et al.</i> , (2013) ¹ Bonan <i>et al.</i> , (2015) ² Vargas, (2015)
<i>Copaifera officinalis</i>	α -copaeno, β -cariofileno, β -bisaboleno, α -zingibereno	¹ Antimicrobiano ² Antileishmania	¹ Santos <i>et al.</i> , (2012) ² Santos <i>et al.</i> , (2013) ¹ Vaucher <i>et al.</i> , (2015)
<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	β -cariofileno, α -humuleno, α -bergamoteno, α -copaeno	¹ Antinflamatório ² Antimicrobiano ³ Antinociceptivo	^{1,3} Matos Gomes <i>et al.</i> , (2010) ² Dias <i>et al.</i> , (2012) ¹ Lucca <i>et al.</i> , (2015) ² Morelli <i>et al.</i> , (2015)
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	β -cariofileno, γ -muuroleno, β -elemeno, bergamoteno	¹ Cicatrização ² Antimicrobiano ³ Antinflamatório ⁴ Antileishmania	³ Gelmini <i>et al.</i> , (2013) ¹ Masson-Meyers <i>et al.</i> , (2013) ⁴ Santos <i>et al.</i> , (2013) ² Pieri <i>et al.</i> , (2014)
<i>Copaifera duckei</i> Dwyer	Caur-16-eno-19-oic, β -bisaboleno, β -selineno	¹ Embriotoxicidade ² Antinflamatório	¹ CR Rodrigues <i>et al.</i> , (2014) ² Carvalho <i>et al.</i> , (2005)
<i>Copaifera cearensis</i> <i>Huber ex Ducke</i>	β -cariofileno, α -copaeno, δ -cadineno, β -bisaboleno	¹ Antimicrobiano ² Antinflamatório	² Veiga-Junior <i>et al.</i> , (2007) ¹ Santos <i>et al.</i> , (2008)

2.5.3 *Copaífera multijuga* Hayne

A *Copaífera multijuga* Hayne é uma árvore grande, que pode chegar a 36 metros de altura, caracteriza-se por ter uma copa densa e casca lisa (0,5 cm - 2,0 cm de espessura), com fuste reto (diâmetro entre 40 a 50 cm), diferenciando-se das espécies do mesmo gênero por apresentar as suas flores maiores, brancas e pelo tamanho dos folíolos e dos frutos. Quanto às características físicoquímicas, o óleo-resina da *Copaífera multijuga* Hayne é descrito como um líquido transparente, viscoso e fluido, com cheiro forte, sabor acre e amargo, porém sua constituição química tanto qualitativa como quantitativa varia de acordo com a procedência da árvore de copaíba e do tipo de solo onde foi cultivada (Mendonça e Onofre, 2009; Barbosa *et al.*, 2012).

Na Figura 2.16, pode ser visto o aspeto da árvore de *Copaífera multijuga* Hayne utilizada no presente trabalho.



Figura 2.16: árvore de de *Copaífera multijuga* Hayne

Fonte: A https://www.youtube.com/watch?v=HquO_Ss1mnY.

O gênero *Copaífera multijuga* Hayne é típica das regiões central e oeste da Amazônia. A árvore em particular produz cerca de sete litros de óleo-resina por ano, sendo considerado um ótimo fator a nível de viabilidade econômica em termos da aplicação para fins medicinais (Veiga-Junior *et al.*, 2006). Apresenta propriedades biológicas consideradas importantes para a área da saúde como: antitumoral (Lima *et al.*, 2003),

antimicrobiano (Mendonça e Onofre, 2009). Antiinflamatória (Veiga-Junior *et al.*, 2007; Kobayashi *et al.*, 2011), antinociceptivo (Matos Gomes *et al.*, 2007) e antileishmânia (Santos *et al.*, 2008).

2.5.4 Técnica de Extração do Óleo Resina de *Copaífera*

As técnicas para extração dos óleos essenciais apresentam variações, observando-se que a de hidrodestilação por arraste a vapor se apresenta como uma das mais usadas (Pereira *et al.*, 2006; Lima *et al.*, 2006; Roswalka *et al.*, 2008). Sendo uma técnica que não utiliza solvente, não existe portanto, a produção de resíduos pesados e junto com a prensagem, são técnicas não poluentes.

A extração por prensagem é outra técnica utilizada normalmente para obtenção de óleo essencial de frutos cítricos como a lima e a laranja, realizada normalmente pela prensagem a frio do pericarpo (Bizzo *et al.*, 2009). A extração através de fluido supercrítico é caracterizada pelo uso de solventes supercríticos. O solvente mais utilizado é o dióxido de carbono. O CO₂ tem baixa toxicidade e baixo custo, não é inflamável. Além disso, o CO₂ tem condições críticas leves (T_c = 304,15 K, P_c = 7,38 MPa), que o tornam adequado para o processamento de compostos termodegradáveis como ácidos graxos polinsaturados (Rubio-Rodríguez *et al.*, 2008).

A Figura 2.17, apresenta a forma de coleta utilizada para o óleo resina das árvores do gênero *Copaífera*. Observa-se que, a forma de extração difere das convencionalmente utilizadas para a coleta de óleos e extratos. Contudo, após a coleta do óleo, sua parte sólida, a resina, em geral, é separada do óleo essencial por meio da hidrodestilação.



Figura 2.17: Extração do óleo de *Copalifera multijuga* Hayne – A – perfuração da árvore;

B e C – formas de coleta; D, E e F - forma de lacrar: Fonte: compilação de imagens

https://www.youtube.com/results?search_query=Extra%C3%A7%C3%A3o+%C3%B3leo+de+copa%C3%ADba.

2.6 Considerações Finais

Muitas tecnologias relacionadas com as áreas da saúde, em âmbito mundial, estão sendo desenvolvidas, como no caso das inovações do uso da nanobiotecnologia aplicada ao desenvolvimento de medicamentos, cosméticos e de sistemas de liberação controlada, a serem aplicados na saúde humana de uma forma geral. Os nanobiomateriais são considerados foco para o desenvolvimento de pesquisas na área da saúde como biofármacos e biomarcadores e, em muitas outras possíveis aplicações, uma vez que estão disponíveis de forma ampla na natureza.

A incorporação dos óleos essenciais em materiais transportadores é viável. Sendo a nanotecnologia uma possibilidade para atingir esse fim, uma vez que oferece meios para direcionar seletivamente terapias, com aplicação em cancro ou inflamação, por exemplo. Nanopartículas poliméricas apresentam consideráveis características pois permitem uma ampla incorporação de materiais orgânicos e inorgânicos. O quitosano apresenta-se como um biomaterial de ampla utilização, para além disso como pode ser visto na literatura, existe a possibilidade de ser conjugado com outros biopolímeros, de forma a promover ação sinérgica, sendo amplamente utilizado na síntese de nanopartículas, nanogéis, nanocápsulas e é possível sua aplicação em uma vasta gama de materiais como revestimento, que não só os têxteis.

Os óleos essenciais são utilizados desde a antiguidade para uso em terapias diversas. Pode dizer-se que a sua vantagem reside no fato do óleo ser formado por diversos constituintes químicos, como o timol, carvacrol, mentol, limoneno, entre outros, o que pode proporcionar a um tipo de óleo essencial características diversas como hidratação, antioxidante, cicatrização, atividade antimicrobiana, entre outras. O gênero de planta *Copaifera* apresenta-se como uma opção viável, em termos de fornecimento quantitativo de material, pois sua capacidade de produção de óleo é considerável e, como pode ser visto na literatura reportada é comprovada sua ação antimicrobiana.

Em relação aos têxteis médicos, em específico os têxteis destinados a curativos para feridas como, gazes, esponja, filmes, estes podem ser desenvolvidos com aplicação de propriedades antimicrobianas, incorporando agentes inorgânicos como a prata, o zinco, assim como biomateriais, os óleos essenciais que apresentem propriedades para a referida aplicação e o quitosano.

Tal como discutido anteriormente, os óleos essenciais podem facilmente ser incorporados em quitosano, assim como em ou outros biopolímeros como o alginato, o que faz aumentar a sua capacidade antimicrobiana para feridas. Contudo, o desenvolvimento destes tipos de materiais requer o conjunto de propriedades que não só as de combate a microrganismos. O conceito de multifuncionalidade é amplamente utilizado, assim, um têxtil direcionado para aplicação em feridas deve possuir também características de absorção, hidratação, transporte de exsudato, entre outras. A multifuncionalidade como conceito pode ser trabalhada com a aplicação da nanobiotecnologia.

O capítulo fornece um contributo, no que concerne à aplicação de vários materiais naturais como óleos essenciais, o quitosano, o alginato, entre outros, destinados a gestão da cura para diferentes tipos de feridas. Verifica-se que existem uma gama variada de curativos, desde estruturas têxteis como o tafetá, não tecidos e membranas, sendo estes funcionalizados também com uma grande variedade de nanomateriais. Contudo, deve ser levado em consideração a ação específica para o tipo de tratamento e, os materiais a serem aplicados. Como foi reportado cada tipo de ferida precisa de um curativo apropriado.

Deve-se levar em consideração o conhecimento levantado a respeito dos óleos essenciais, torna-se importante, uma vez que são constituídos por diferentes constituintes químicos, sendo necessário estudá-los e conhecer suas propriedades, para que possa ser dado um direcionamento mais apropriado para aplicação das nanopartículas com óleo essencial nos têxteis médicos.

CAPÍTULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo descreve a metodologia experimental, no que concerne à caracterização dos materiais desenvolvidos e utilizados no presente trabalho. São mostrados os materiais, equipamentos, procedimentos e normas técnicas utilizados. Técnicas para aferição das propriedades como gestão da humidade, cromatografia gasosa, conforto térmico, capilaridade, atrito, rigidez à flexão, entre outras descritas, foram adotadas para caracterização dos materiais.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho estão dispostos juntamente com os seus fornecedores no Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Materiais e reagentes utilizados.

Materiais		Fornecedor
Extrato	Óleo de <i>Copaifera multijuga</i> Hayne	Cedido pelo LAGO – Universidade Federal do Piauí-BR, proveniente da Empresa Buriti Comercial LTDA.
Biomaterial	Quitosano (ChitoClear hqg95-43000)	Primex – Islândia
Materiais têxteis	Gaze	Marca Wells - Estrutura tafetá - 100% algodão (CO)
	Fio de algodão	S.A - 24 Ne, 3 cabos, 100% Algodão
Reagentes Químicos	Ácido acético	JMS - LDA
	Tripolifosfato de Sódio	ACROS ORGANICS
	Tween 60	ACROS ORGANICS

Na figura 3.1 estão dispostos o óleo essencial para o desenvolvimento das nanopartículas. O óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne foi coletado pelo método de perfuração no tronco da árvore em Jaci Paraná – Rondônia, Brasil, sendo fornecido pela Empresa Buriti Comercial LTDA. O quitosano (ChitoClear hqg95-43000) como informado na Tabela 3.1 foi fornecido pela Primex – Islândia.

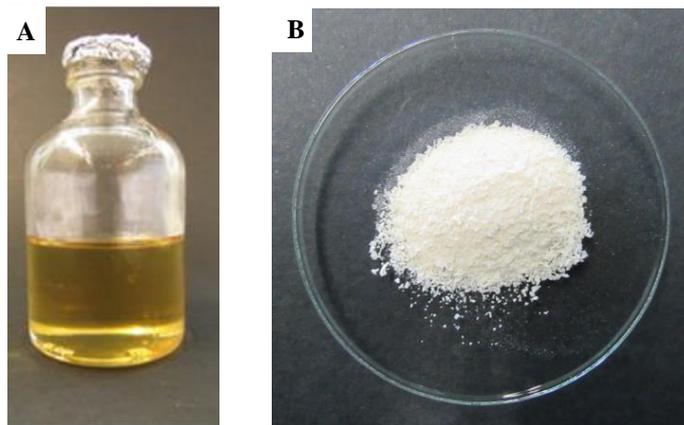


Figura 3.1: A - amostra do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne.; B - Amostra de quitosano (ChitoClear hqg95-43000).

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimento para Produção do Gel de Quitosano e Revestimento dos Materiais Têxteis

Primeiramente foi realizado um estudo preliminar, no que concerne a produção do gel de quitosano e sua aplicação no tecido de referência, uma gaze em debuxo tafetá. Utilizou-se como base de dados os trabalhos desenvolvidos por Dash *et al.*, (2011); Nawalakhe *et al.*, (2013); Podrepsek, Knez e Leitgeb, (2013) e Cheng *et al.*, (2014). Após análise dos referidos trabalhos, foram selecionadas as condições para preparação das amostras do gel de quitosano.

Inicialmente as quantidades de 0,500, 0,250, 0,125, 0,100, 0,063 g de quitosano (CS) foram dissolvidos em 100 ml de água destilada com 1% de ácido acético. As soluções foram agitadas a 300 rpm durante 60 min a temperatura ambiente.

O materiais têxtil, a gaze em tafetá foi revevestida pelo método de imersão simples na posição vertical nas respectivas soluções de CS. Após a seleção da melhor concentração de CS, a malha em *jersey*, foi revestida também na solução de CS e posteriormente na solução de CS com as nanopartículas de quitosano. Cada material foi mergulhado na solução CS à temperatura ambiente por um período de 5 minutos. A secagem ocorreu na posição horizontal em estufa durante 50 min, à uma temperatura de 50 °C para as soluções de CS . A Figura 3.2 mostra o procedimento utilizado para revestir os materiais têxteis.



Figura 3.2: Procedimento de imersão utilizado para revestir os materiais têxteis com gel de quitosano.

3.2.2 Síntese das Nanopartículas de Quitosano

Neste estudo preliminar, utilizou-se a técnica de gelificação iônica para o processo de síntese das nanopartículas de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo essencial. O método

executado e descrito nesta pesquisa foi elaborado através da análise dos métodos de sínteses descritos por Calvo *et al.*, (1997); Chen *et al.*, (2009); Kunjachan, Jose e Lammers, (2014) e Neves *et al.*, (2014). Tendo como objetivo inicial, avaliar a influência das proporções do polímero (Chitosan DDD 85%, ChitoClear hq 95-43000, Mw = 350 kDa) na formação das nanopartículas e determinar a melhor proporção para incorporação do óleo essencial.

Primeiramente foram preparadas soluções com 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00 g de quitosana dissolvidas em 100 mL de ácido acético a 0,17 M, sob agitação magnética nas seguintes condições: temperatura ambiente, 60 minutos de agitação a 300 rpm. Após a dissolução, as soluções foram filtradas e aplicou-se, posteriormente, 30 minutos de sonificação em temperatura ambiente. Feito o referido procedimento, partiu-se para o ajuste de pH, estando inicialmente indicados em 3,6, 3,2, 3,4 e 35,5 respectivamente. Ajustou-se o pH das soluções para 4,5 com solução de NaOH 0.17 M. Em seguida, preparou-se uma solução de Tripolifosfato de Sódio (TPP) em água destilada, aplicando-se 1 mg/mL sob agitação magnética a 200 rpm, em temperatura ambiente por um período de 30 min.

O processo de síntese das nanopartículas dividiu-se em duas etapas, na primeira etapa produziu-se apenas as nanopartículas de quitosana nas concentrações anteriormente citadas, adotando-se o seguinte procedimento: i) 10 mL de solução de Tripolifosfato de Sódio (TPP) foram gotejadas a uma razão de 1 gota por segundo em 30 mL da solução quitosano com 0.15 g de Tween 60, sendo a mesma agitada por um período de 60 min, em temperatura ambiente e submetida a agitação magnética de 1000 rpm. Para a síntese das nanopartículas com adição do óleo essencial, foi seguido o procedimento:

- i) Foram adicionados 0.30 g de óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, 0.15 g de Tween 60 em 30 mL da solução de quitosano sob agitação magnética a 300 rpm, durante 30 min à temperatura ambiente;
- ii) 10 mL de solução de TPP foram gotejados a uma razão de 1 gota por segundo em 30 mL na solução de quitosano e a mesma foi submetida a agitada magnética de 1000 rpm por um período de 60 min.

Após a finalização dos procedimentos, aplicou-se centrifugação em cada uma das soluções preparadas nas condições de 5000 rpm durante 10 minutos. Posteriormente realizou-se secagem das amostras em estufa durante 24 horas a temperatura de 20 °C. Ao fim deste procedimento aplicou-se 3 lavagens nas nanopartículas com água destilada, seguindo as mesmas condições de centrifugação e secagem. A Figura 3.3 ilustra o procedimento para síntese das nanopartículas.

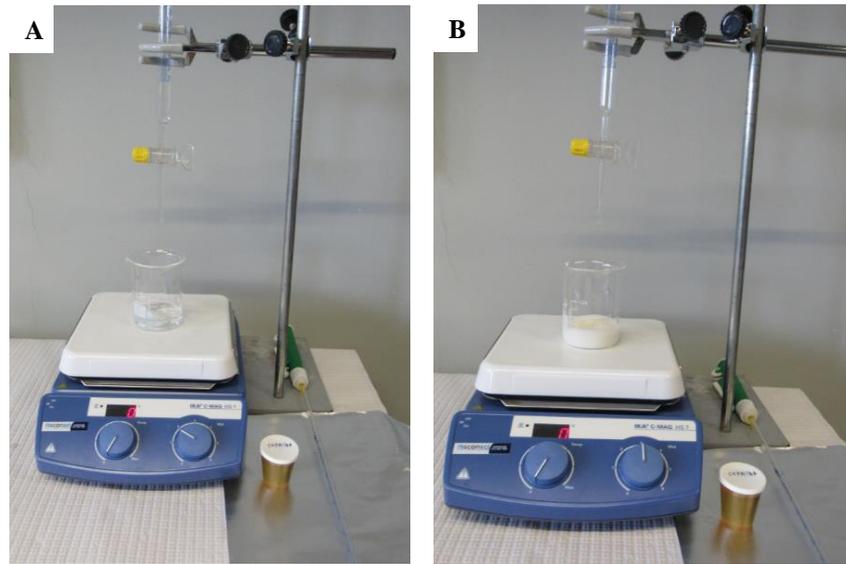


Figura 3.3: A - processo de síntese: A – início do gotejamento do TPP,
B – aspeto final da solução com nanopartículas de quitosano e óleo de *Copaifera*.

3.2.3 Caracterização das Nanopartículas

A caracterização das nanopartículas foi feita com base na distribuição de tamanho, polidispersão (PDI) e no potencial zeta (mV) obtidos por DLS. O tamanho das nanopartículas foi medido através do diâmetro hidrodinâmico, determinado por espalhamento de luz dinâmica, detectado num ângulo de 90° e a 25°C . Os dados foram coletados em triplicata, média de três leituras, num equipamento *Zeta Sizer NSMalvern* do Laboratório de Bioprocesso e Biotecnologia no Departamento de Engenharia Biomédica da Uminho PT.

A Figura 3.4 apresenta o tipo de equipamento utilizado para aferição das propriedades do potencial zeta, polidispersão e diâmetro.



Figura 3.4: Equipamento *Zeta Sizer NSMalvern*.

3.2.4 Produção da Malha

Neste trabalho, os procedimentos para produção da malha de algodão com estrutura *Jersey* foi realizado em um tear retilíneo eletrónico da marca STOLL, modelo CMS 320 TC, sendo esta etapa de produção executada no Laboratório de Processos Têxteis da Universidade do Minho. As seguintes características técnicas foram utilizadas para a produção da malha no referido tear:

- Jogo: 10 agulhas por polegada;
- Laçada: normal;
- Velocidade de 0.4;
- Tiragem: 8;
- NP: 13;
- Bancadas: Duas bancadas posicionadas em “V”;
- 1 carro;
- Agulhas do tipo lingueta.

A figura 3.5 mostra o tipo de tear utilizado na produção da malha em *Jersey*.



Figura 3.5: Equipamento tear retilíneo eletrônico da marca STOLL, modelo CMS 320 TC.

3.2.5 Processo de Seleção do Revestimento Polimérico

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento dos testes laboratoriais se caracterizam por dados diferenciados, demonstrando que mais de uma concentração apresentava resultados indicativos como a de melhor rendimento para aquela propriedade. Nesse sentido, desenvolveu-se um programa a partir do *software MatLab R2014a*® para auxiliar na seleção da melhor concentração de quitosano, de maneira obter a amostra de referência com as melhores condições para aplicação do revestimento. A descrição do programa desenvolvido é apresentado no Anexo 3.

3.2.6 Funcionalização dos Materiais Têxteis

Os materiais têxteis foram funcionalizados através do processo de imersão simples, de forma a ser aplicado um revestimento de CS. O procedimento adotado foi executado em duas etapas. i) acrescentou-se 0.100 g de nanopartículas na concentração de gel de quitosano selecionada, aplicando agitação

magnética de 300 rpm por um período de 30 minutos, para dispersão das nanopartículas na solução; ii) Procedeu-se com a imersão do material têxtil na posição vertical por um período de 5 minutos e, posterior secagem na posição horizontal em estufa, durante 24 horas a uma temperatura de 20 °C. A figura 3.6 mostra o processo de funcionalização do têxtil com o gel de quitosano incorporado com as nanopartículas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne.



Figura 3.6: Revestimento do material têxtil com gel de quitosano incorporado com nanopartículas de óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne.

3.3 Análise Química do Óleo Essencial de *Copaífera multijuga* Hayne

3.3.1 Cromatografia Gasosa por GC-MS

A identificação dos componentes do óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne foi realizada comparando-se os índices de retenção, interpretação do seu padrão de fragmentação e dos respectivos espectros de massa, comparação com a base de dados do sistema de análise (considerando-se apenas os espectros com igual ou maior similaridade a 95%) e com dados da literatura. A solução padrão de n-alcenos (C8-C20) foi utilizada para o cálculo do índice de Kovats, e este valor foi comparado ao descrito na literatura (Adams 2007, Costa *et al.*, 2010).

A análise do óleo essencial foi realizada num Sistema de Cromatografia de Gás Multidimensional, MDGC/GCMS-2010 SHIMADZU. Para a cromatografia dos componentes foi utilizado na primeira dimensão (FID) uma coluna de elite marca Perkin Elmer com 30 cm de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 μ espessura do filme. Utilizou-se N_2 como gás transportador com um fluxo de 1.0 mL/min, temperatura do injecto 260 °C, a coluna foi programada com uma temperatura inicial de 50 °C (1 min) seguida por um aumento de 5 °C/min até 180 °C (2 min), depois 10 °C/min, até atingir 225 °C (5 min).

Na segunda dimensão utilizaram-se colunas e métodos de análise semelhantes, GC-MS. As condições de MS foram: ionização por impacto de elétrons (70 eV) e analisador quadrupolo; velocidade de exploração 1000; os fragmentos encontrados na gama de 45 a 650 Da. A Figura 3.7 apresenta o equipamento utilizado no ensaio.

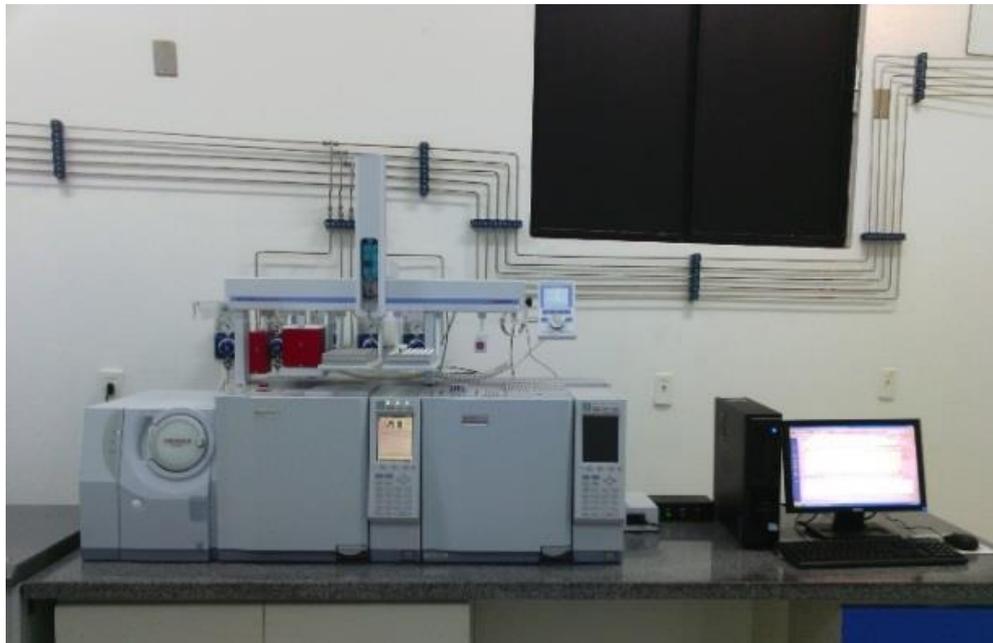


Figura 3.7: Sistema de Cromatografia de Gás Multidimensional, MDGC / GCMS-2010 SHIMADZU.

3.3.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR

As estruturas químicas das amostras foram caracterizadas utilizando um espectrofotômetro (ATR-FTIR) (AVATAR TM 360). Cada espectro foi adquirido no modo de transmitância através de uma célula de cristal ZnSe ATR por acumulação de 256 varreduras. Preparou-se pastilhas de KBr contendo 2% (p/p) de amostra para o quitosano, seca em estufa a temperatura de 60 °C, assim como para as nanopartículas de quitosano e para as amostras têxteis sem revestimento e com revestimento. Para as nanopartículas de quitosano e a malha incorporadas com óleo, estas foram previamente secas em estufa a uma temperatura de 18 °C. Os espectros no infravermelho foram obtidos na faixa espectral de 400 a 4000 cm^{-1} .

As análises das estruturas químicas das amostras dos biomateriais para os espectros do FTIR foram realizadas nas condições estabelecidas no Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Demonstrativo das condições de varrimento no FTIR.

Amostra	Condições de Varrimento
Óleo Essencial - <i>Copaifera multijuga</i> Hayne	32 <i>scans</i> com resolução de 4 cm^{-1}
Quitosano	
Nanopartículas de quitosano	
Nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo essencial de <i>Copaifera multijuga</i> Hayne	
Materiais Têxteis: gaze e malha em 100% CO	32 <i>scans</i> com resolução de 8 cm^{-1}

A Figura 3.8 mostra o aparelho utilizado para a Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR



Figura 3.8: Espectrofotómetro (ATR-FTIR) (AVATAR TM 360).

3.4 Caracterização Física dos Materiais Têxteis

3.4.1 Propriedades de Fricção dos Materiais Têxteis

O atrito superficial das amostras foi medido pelo dispositivo FRICTORQ (Universidade do Minho, Portugal) na condição padrão de 20 ± 2 °C e $65 \pm 2\%$ de humidade relativa. Frictorq é baseado num movimento rotativo e medição do torque de reação de fricção. O princípio baseia-se num corpo superior em forma de anel com sensores, que desliza contra uma amostra têxtil no plano inferior. O aparelho realiza um movimento circular numa área da amostra em torno de um eixo vertical a uma velocidade angular constante, durante um período de 20 segundos. O coeficiente de atrito cinético é então proporcional ao torque medido por meio de um sensor de torque de alta precisão, o que permite verificar qual material têxtil apresenta maior ou menor atrito. Todas as experiências foram replicadas 5 vezes, e os dados são relatados com média e desvio padrão, onde determina-se qual das amostras apresentará maior atrito em contato com a pele. A Figura 3.9 mostra o equipamento de ensaio de fricção.



Figura 3.9: Equipamento Frictorq.

3.4.2 Propriedades de Rigidez à Flexão dos Materiais Têxteis

O sistema de avaliação FB Kawabata (KES-FB) foi utilizado para medir a flexibilidade dos materiais têxteis. A propriedade de flexão também é um determinante crítico para direcionar a aplicação do têxtil. Segundo Jayakumar *et al.*, (2011), a rigidez da flexão de um tecido é uma propriedade mecânica importante que influencia a sua formabilidade e, as propriedades de conforto em várias aplicações médicas. Conforme Peiffer e Takatera, (2016), os parâmetros obtidos pelo método KES-FB, nomeadamente a rigidez de flexão (B) por unidade de largura em $\text{Nm}^2 \text{m}^{-1}$ é calculada como a rigidez média de flexão de duas inclinações e, o valor de histerese de flexão (2HB) em Nm m^{-1} é obtido pela leitura da largura de histerese na curvatura ± 1 . A rigidez de flexão representa a resistência do tecido contra a flexão e a histerese de flexão é considerada como uma medida da habilidade dos tecidos de recuperar.

Os ensaios foram realizados nas condições de temperatura de 20 ± 2 °C e $65\% \pm 2\%$ de humidade relativa, aplicando-se estas condições para as gazes e malhas. O processo faz aferição da rigidez à flexão no sentido da teia e da trama. As amostras foram produzidas com parâmetros exigidos pelo sistema, sendo utilizadas dimensões de $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$. Os dados obtidos a partir das curvas de histerese foram exibidos de acordo com o sistema de avaliação *Kawabata* para cada amostra. Todas as experiências foram replicadas 5 vezes, e os dados são relatados com média e desvio padrão. A Figura 3.10 mostra o aparelho utilizado no ensaio.



Figura 3.10: Sistema de avaliação FB *Kawabata* (KES-FB) – módulo de rigidez a flexão.

3.4.3 Espessura dos Materiais Têxteis

A caracterização dessa propriedade foi realizada de acordo com a Norma – NP EN ISO 5084: 1999. Utilizou-se o aparelho *Digital thickness gauge* para aferição da espessura dos materiais têxteis, as amostras controlo e as amostras revestidas. Para o experimento foram replicadas 10 vezes, os dados são relatados com média e desvio padrão. A Figura 3.11 apresenta o aparelho para aferição da espessura dos materiais têxteis.

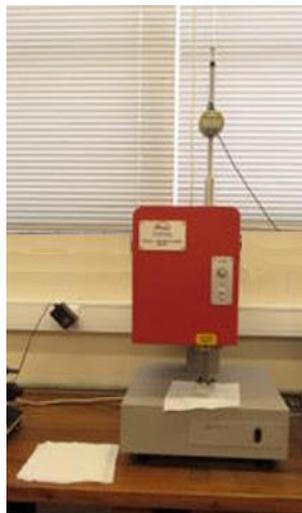


Figura 3.11: Aparelho *Digital thickness gauge* para aferição da espessura dos materiais têxteis.

3.4.4 Propriedades do Cair dos Materiais Têxteis – Drapeabilidade

O teste da propriedade do cair ou drape foi realizado mediante a aplicação da norma AFNOR – G07 – 109. Utilizou-se o aparelho de medição do cair para aferição da propriedade dos materiais têxteis, as amostras controle e as amostras revestidas foram ensaiadas em condições de temperatura de 20 ± 2 °C e 65 ± 2 de humidade relativa. O ensaio exprime a forma como o tecido e a malha se ajustam a uma superfície, sob a ação do seu próprio peso em termos de suavidade e rigidez. Para realização do teste as 5 amostras foram cortadas em formato circular padronizado de 30 cm². A amostra é fixada no aparelho na posição 0, aguarda-se 15 min de repouso e, inicia-se o movimento circular para com aproximação da aste, verificar a distância em cm. O cálculo do coeficiente do cair (F) é dado usando a média do raio obtida nos 16 pontos de medição do aparelho, sendo expresso pela fórmula:

$$F = d^2 - 225/400$$

d = média dos diâmetros medido no aparelho

F = é expresso na razão $0 < F < 1$, onde 0 - muito suave; 1 - muito rígido

Na Figura 3.12 é mostrado o aparelho para medição do cair.



Figura 3.12: Aparelho utilizado para a medição do cair.

3.4.5 Propriedades de Resistência a Rotura

O objetivo do ensaio consiste em aferir a resistência a rotura das amostras controle e revestidas. Os ensaios foram realizados em concordância com a norma EN 2062, em condições de temperatura de 20 ± 2 °C e $65\%\pm 2$ de humidade relativa.. As amostras foram preparadas na dimensão de 7x2.5 cm, sendo que cada amostra foi ensaiada 10 vezes, e os dados são apresentados com a média e o seu desvio padrão. A Figura 3.13 mostra o dinamómetro utilizado.



Figura 3.13: Aparelho Dinamómetro utilizado para a medição da resistência a rotura.

3.5 Propriedades de Conforto Térmico dos Materiais Têxteis

3.5.1 Propriedades Térmicas

As propriedades de conforto térmico, nomeadamente a condutividade térmica, resistência térmica e fluxo de calor das amostras, foram medidas no instrumento Alambeta (Sensora, República Checa), sendo os ensaios realizados de acordo com a norma ISO EN 31092-1994, em condições de temperatura de 20 ± 2 °C e $65\%\pm 2$ de humidade relativa. O Alambeta baseia-se no princípio de medição da energia térmica que passa pelo substrato têxtil ensaiado, devido à diferença de temperatura entre a placa de medição inferior (22 °C) e a de medição superior (32 °C). A placa quente entra em contacto com a amostra a uma

pressão de 200 Pa. Logo que a placa toca a amostra, a quantidade de energia térmica transferida da superfície quente para a superfície fria através do substrato têxtil é detectada e, processada para calcular os parâmetros térmicos da mesma. O ensaio tem como objetivo mostrar o poder de isolamento térmico dos materiais têxteis. Uma média de 10 leituras foram aferidas para cada amostra e os seus dados são relatados com média e desvio padrão. O aparelho pode ser visto na Figura 3.14.



Figura 3.14: Aparelho Alambeta – medição das propriedades de conforto térmico.

3.5.2 Propriedade de Permeabilidade ao Ar

Os ensaios de permeabilidade ao ar das amostras têxteis foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 9237: 1997. Utilizou-se uma área de 20 cm² para cada uma das amostras e uma pressão diferencial de 50 Pa. A permeabilidade ao ar é a velocidade do ar que passa perpendicularmente através de uma área conhecida sob uma pressão de ar prescrita entre as duas superfícies de um material. A permeabilidade ao ar foi medida num aparelho de teste de permeabilidade ao ar FX 3300 da Textest AG, Suíça. Este ensaio objetiva mostrar a permeabilidade ao ar das amostras, qual amostra apresentará maior passagem de ar pelos seus poros, o que permite indicar qual têxtil terá melhor sensação de fresco.

As medições foram efectuadas na condição padrão de 20 ± 2 °C e 65 ± 2 de humidade relativa, aferidas em 10 leituras em áreas diferentes e, os dados são relatados com média e desvio padrão. A Figura 3.15 mostra o aparelho utilizado no ensaio.



Figura 3.15: Aparelho para ensaio de permeabilidade ao ar FX 3300 da Textest AG, Suíça.

3.5.3 Permeabilidade ao Vapor de Água

A permeabilidade ao vapor de água foi medida no aparelho SDL Shirley Vapor Permeability Tester M-261, de acordo com a norma BS 7209-1990. De acordo com o padrão britânico, a amostra de teste é selada sobre um recipiente aberto para o referido ensaio contendo água destilada e o conjunto é colocado numa atmosfera controlada a 20 ± 2 °C e 65 ± 2 de humidade relativa. Após um período de 1 hora para estabelecer o equilíbrio do gradiente de pressão de vapor de água através da amostra, após o procedimento relatado as amostras são pesadas novamente 24 h depois. O ensaio objetiva mostrar qual amostra apresenta maior ou menor grau de permeabilidade ao vapor, desta forma indentifica-se qual amostra apresenta maior humidade. Todas as experiências foram replicadas 5 vezes e, os dados são

coletados e apresentados com a média e o desvio padrão. A Figura 3.16 mostra o aparelho utilizado no ensaio.



Figura 3.16: Aparelho SDL Shirley Vapor Permeability Tester M-261.

3.6 Propriedades Gestão da Humidade dos Materiais Têxteis

3.6.1 Capilaridade Vertical – *Wicking*

Os testes são realizados em ambiente controlado de 20 ± 2 °C e $65\% \pm 2$ de humidade relativa. As amostras têxteis são cortadas nas dimensões de 20 cm x 2,5 cm, no sentido da teia e da trama. São suspensas verticalmente com a sua extremidade inferior, 3 cm, mergulhada num reservatório de água destilada. Na extremidade inferior de cada amostra foi fixado um grampo de 1,2 g para assegurar que a extremidade inferior fique submersa na água destilada. O movimento de ascensão do líquido foi monitorizado durante um período de 10 min, registrando-se o nível de ascensão do líquido a cada 1 min. As medições realizadas para ambos os sentidos são replicadas 5 vezes, sendo os seus dados coletados e apresentados como média e respectivo desvio padrão. O ensaio objetiva mostrar qual a velocidade de transporte de líquido no têxtil. As medidas da velocidade de dispersão no *wicking* vertical foram interpretadas de acordo com a norma FTTS-F-A-004, estando os valores de referência dispostos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Valores de referência para a norma FTTS-F-A-004.

Altura de molhagem (mm)	Grau	Classificação
Igual ou superior a 100	3	Excelente
Entre 50 e 100	2	Bom
Inferior a 50	1	Suficiente

Na Figura 3.17 é mostrado o ensaio para aferição da propriedade da capilaridade vertical.

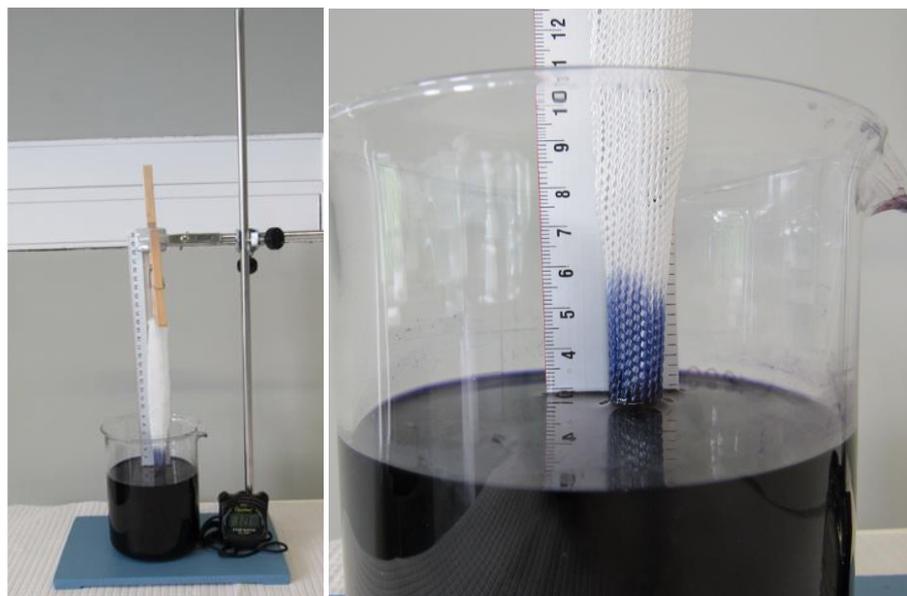


Figura 3.17: Ensaio para capilaridade vertical.

3.6.2 Capilaridade Dinâmica – *Wicking*

A captação de água nas amostras também foi monitorizada utilizando o teste de capilaridade vertical. Para o referido ensaio foram utilizadas as mesmas dimensões de corte para as amostras e o mesmo tempo de monitoragem da capilaridade vertical, assim como as condições de temperatura e humidade

relativa do ar. Utilizou-se um recipiente com água destilada em massa de 200 g e, com auxílio de uma balança, a massa, em g, de água transportada na atividade de capilaridade vertical, foi registada ao fim de 10 minutos. O ensaio tem como objetivo mostrar qual a quantidade de massa em g de líquido é transportada no têxtil. Todas as amostras foram replicadas 5 vezes, e os dados são apresentados com a média e o seu desvio padrão. Na Figura 3.18 é mostrado o ensaio para a propriedade da capilaridade dinâmica.



Figura 3.18: Ensaio para capilaridade dinâmica.

3.6.3 Absorção de Líquidos

O ensaio foi realizado de acordo com a Norma EN 14697. As amostras foram cortadas nas dimensões de 10 cm², enumeradas e posteriormente registadas o peso em seco, depois acondicionadas durante 24 horas em ambiente controlado de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\%\pm 2$ de humidade relativa. Preparou-se um gobelé com 1 litro de água destilada. O procedimento consta da imersão da amostra durante 5 minutos, após o tempo regista-se o peso e a amostra é colocada para secar na posição vertical durante 3 minutos para eliminação do excesso de líquido, voltando a ser pesada novamente para o registo da absorção da

quantidade de líquido por parte das amostras. O ensaio tem como objetivo mostrar qual a capacidade de absorção de líquido por parte do material têxtil, no intervalo de tempo estabelecido. Na Figura 3.19 é mostrado o ensaio para a propriedade de absorção de líquido.

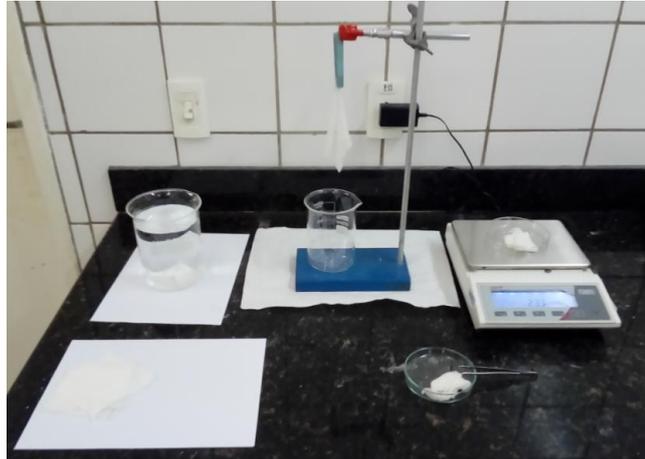


Figura 3.19: Ensaio para propriedade de absorção de líquido.

3.6.4 Propriedades de Evaporação da Humidade

Os ensaios para evaporação da humidade foram realizados a duas temperaturas diferentes. Primeiramente, em temperatura nas condições de ambiente controlado de 20 ± 2 °C e 65 ± 2 de humidade relativa. Em segundo lugar, o ensaio foi feito em ambiente simulando a temperatura de 36 °C, temperatura estimada da superfície do corpo humano, para medir a taxa de evaporação, realizada com auxílio de uma estufa e com ventilação interna. Seguiu-se o procedimento conforme norma interna do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho. O ensaio tem como objetivo mostrar a capacidade de secagem do material têxtil quando ainda em contato com a pele. As amostras foram cortadas na dimensão de 10 cm². A figura 3.20 mostra o equipamento utilizado no ensaio.



Figura 3.20: Estufa utilizada na avaliação da propriedade de evaporação de líquido.

3.7 Propriedades Térmicas dos Biomateriais

3.7.1 Análise Termogravimétrica (TGA)

As curvas termogravimétricas TG foram obtidas em STA através de um analisador termogravimétrico SAT (TGA) HITACHI STA7200 com um programa de temperatura de 30-600 °C, taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e vazão de 50 mL min⁻¹, sob atmosfera de nitrogênio. As análises foram aplicadas para: quitosano, óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, nanopartículas de quitosano, nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo, gaze controle, gaze revestida na concentração selecionada de quitosano, malha controle, malha revestida com a concentração de quitosano selecionada e na malha revestida com as nanopartículas produzidas. A figura 3.21 mostra o equipamento.



Figura 3.21: Analisador termogravimétrico SAT (TGA) HITACHI STA7200.

3.7.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas para o DSC foram obtidas através do STA, um analisador termogravimétrico SAT (TGA) HITACHI STA7200 com um programa de temperatura de 30-600 °C, taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e vazão de 50 mL min⁻¹, sob atmosfera de nitrogênio. As análises foram aplicadas para: quitosano, óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, nanopartículas de quitosano, nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo, gaze controlo, gaze revestida na concentração selecionada, malha controlo, malha revestida com a concentração de quitosano selecionada e malha revestida com as nanopartículas sintetizadas.

3.7.3 Eficiência da Incorporação do Óleo nas Nanopartículas de Quitosano

Neste ensaio para medir a eficiência, foi utilizado o STA, sendo que o cálculo da eficiência foi realizado mediante a análise do procedimento adotado e descrito por Sánchez-Silva *et al.*, (2010); Bao *et al.*, (2011); Sari, Alkan e Altintas, (2014) e Silva, (2015). As curvas de DSC foram obtidas conforme descrição no item 3.7.2. Para realizar o teste térmico, primeiramente as nanopartículas com óleo foram secas em estufa, numa temperatura de 18 °C durante 24 h conforme Hsieh, Chang e Gao, (2006). Segundo, foram pesadas quantidades do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne e, das nanopartículas incorporadas com o referido óleo. Seguiu-se o programa de temperatura de 30-600 °C, taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹.

A temperatura de fusão e a entalpia dos biomateriais são obtidas e, o cálculo da eficiência é feito com o valor das entalpias dos materiais aplicadas na fórmula:

$$E(\%) = \frac{\Delta H_{NPP} - \Delta H_{OE}}{\Delta H_{OE}} \times 100$$

Onde: ΔH_{NPP} - valor da entalpia para às nanopartículas incorporadas com o óleo

ΔH_{OE} - valor da entalpia atribuída ao óleo

3.8 Análise Microscópica dos Biomateriais

As análises morfológicas dos materiais, a gaze em tafetá e a malha revestidas e de controlo, foram realizadas em Microscopia Electrónica de Varredura (SEM). As imagens das nanopartículas foram obtidas em SEM no modo STEM. As imagens de microscopia óptica da malha para o calculo dos diâmetros dos poros foram obtidas em lupa estereoscópica com objetiva 60x. As Figuras 3.22 e 3.23 mostram os equipamentos utilizados na microscopia electrónica e na microscopia óptica, respetivamente.



Figura 3.22 : Microscopia electrónica de varredura (Módo SEM e STEM)



Figura 3.23 : Microscopia óptica - lupa estereoscópica com objetiva 60x

3.9 Ensaio Microbiológicos dos Materiais

3.9.1 Concentração Inibitória Mínima para o Óleo Essencial de *Copaífera multijuga* Hayne - (MIC)

Os microrganismos utilizados no ensaio foram as bactérias *S. aureus* (ATCC 25923), *E. coli* (ATCC 25922) e a levedura *C. albicans* (ATCC 10231). A solução de reserva do óleo essencial (10 000 µg/mL) foi preparada em DMSO, seguido de diluição em água estéril até uma concentração final de 1,024

$\mu\text{g/mL}$. As concentrações mínimas de inibição (MIC) dos óleos essenciais para as diferentes cepas microbianas foram determinadas utilizando o ensaio de microdiluição (CLSI, 2013), utilizou-se caldo BHI e suspensões bacterianas de aprox. 105 CFU/mL e soluções do óleo variando de 8 a 512 $\mu\text{g/mL}$. As placas de microtitulação foram incubadas a 37 °C durante 24 h, depois adicionando-se 20 μL de resazurina (0,01% p/v em água destilada estéril) a cada *ependorf* para detectar o crescimento bacteriano (Hussain *et al.*, 2011) pela mudança na cor de azul para rosa. As MICs foram definidas como a menor concentração na qual nenhum crescimento bacteriano foi observado. A inibição do crescimento bacteriano foi confirmada transferindo uma alíquota de cada poço da placa de microtitulação de teste MIC para uma placa de petri contendo BHIA e verificando a viabilidade celular após incubação a 37 °C por 24 h. Os ensaios foram realizados em três medições, triplicata.

O ensaio antifúngico foi realizado pelo método de microdiluição em SDB concentrado duplamente com suspensão de fermento de 105 CFU/mL e soluções do óleo variando de 8 a 512 $\mu\text{g/mL}$. As placas de microtitulação foram incubadas a 37 °C, durante 48 h. A MIC foi definida como a menor concentração de óleo essencial capaz de inibir o crescimento visível. A inibição do crescimento fúngico foi confirmada transferindo uma alíquota de cada poço da placa de microtitulação de teste MIC para uma placa de petri contendo SDA e verificando a viabilidade celular após incubação a 37° por 48 h. Os ensaios foram realizados em três medições, triplicata.

3.9.2 Concentração Inibitória Mínima das Nanopartículas – (MIC)

A MIC para as soluções de nanopartículas foi determinada também utilizando o ensaio de microdiluição (CLSI, 2013) para as bactérias, assim como o método de microdiluição em SDB para a levedura. Para manter a padronização dos resultados, as quantidades em termos de suspensão dos CFU e as diluições das soluções de nanopartículas foram mantidas conforme Perry *et al.*, (2011). Os ensaios foram realizados em três medições, triplicata.

3.9.3 Ensaio Antimicrobianos nos Materiais Têxteis

O método utilizado neste ensaio foi o AATCC 100-2012, utilizado para determinar a atividade antimicrobiana das amostras têxteis de controlo e funcionalizadas. O método consiste na inoculação da

amostra a ser testada junto ao meio de cultura dos microrganismos, após 24 horas é feita a retirada da amostra e comparada a redução no número de colônias entre os tecidos tratados e não tratados após a incubação. O meio de diluição foi caldo nutritivo e o neutralizador foi hidróxido de sódio 1 N, utilizou-se suspensões para as bactérias e a levedura a serem testadas de aprox. 10⁵ CFU/mL. As amostras dos têxteis foram padronizadas em 3 cm². Os ensaios foram realizados em triplicado e os resultados são expressos como percentagem de redução dos microrganismos (R%).

3.10 Considerações Finais

Os parâmetros de deposição desempenham um papel crucial na definição das propriedades do revestimento, sendo que o processo ideal é aquele que proporciona boa qualidade, como uma superfície revestida de forma homogênea e, com excelente adesão ao substrato (Ching *et al.*, 2014).

As nanopartículas incorporadas com o óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne aplicadas, juntamente com o revestimento de quitosano, proporcionará mais valia ao material têxtil, dotando o referido material das funcionalidades necessárias para a aplicação a qual é destinado, como as antimicrobianas, baixo atrito, absorção de exsudato, entre outras. Com a aplicação das nanopartículas incorporadas com o óleo essencial, juntamente com o revestimento de quitosano, poderá ocorrer modificação nas propriedades do material têxtil de referência. Desta forma, o plano experimental, visa possibilitar uma melhor seleção para o conjunto de materiais, nanopartículas incorporadas com óleo e revestimento, a serem depositados na superfície do material têxtil, de maneira que possam atingir os objetivos estipulados neste trabalho.

A Figura 3.24 ilustra a sequência das etapas do trabalho a partir do desenvolvimento da matriz polimérica.

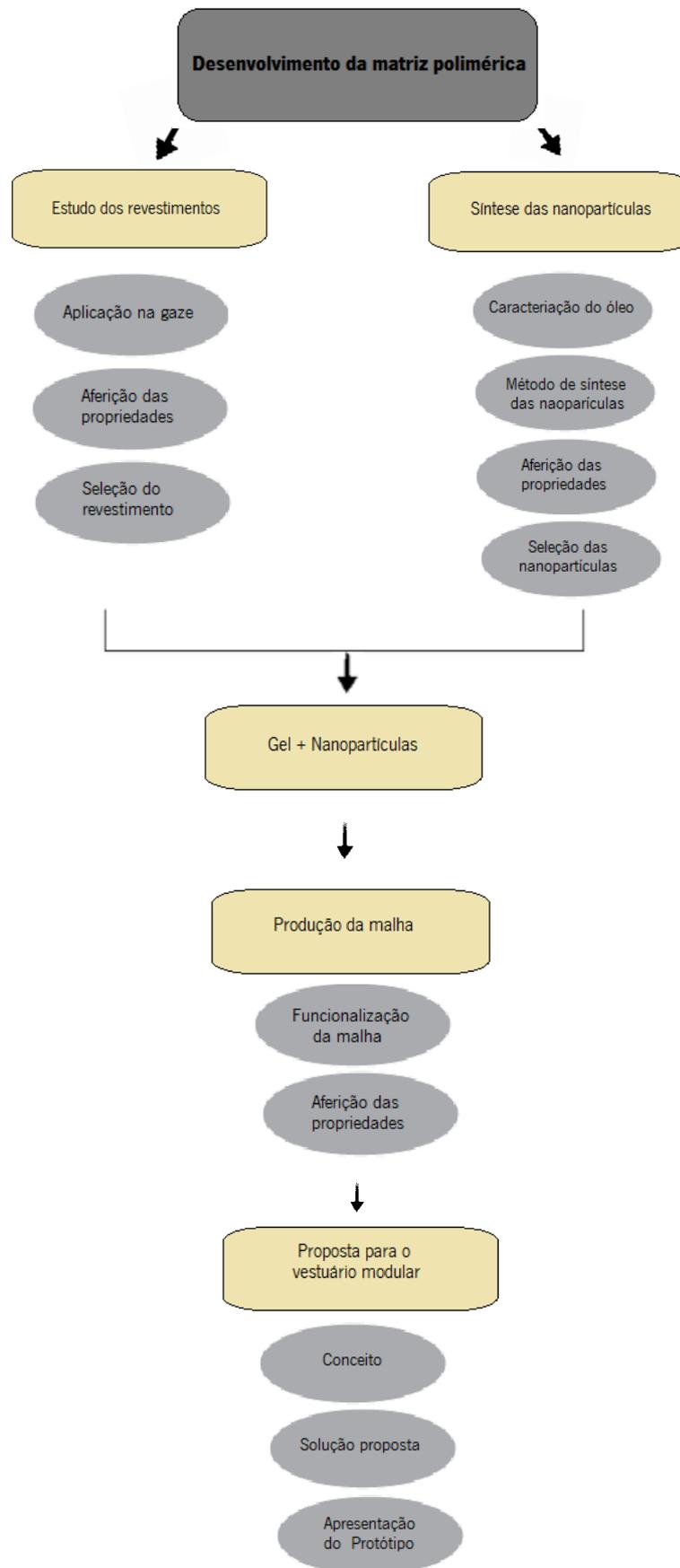


Figura 3.24: Esquema das etapas aplicadas na metodologia laboratorial a partir do desenvolvimento da matriz polimérica.

CAPÍTULO 4

4. DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ POLIMÉRICA DE QUITOSANO

Neste capítulo são mostradas às aplicações dos revestimentos de quitosano nas quantidades de 0,063, 0,100, 0,125, 0,250 e 0,500 g. Os revestimentos foram aplicados em um tecido de referência, nomeadamente uma gaze em debuxo tafeta, 100% algodão (CO). O objetivo foi verificar qual a influência destes revestimentos sobre as propriedades do tecido em termos de: propriedades de conforto térmico, rigidez à flexão, atrito e gestão da humidade. Os resultados dos ensaios demonstraram que as alterações nas propriedades citadas são influenciadas, pela quantidade de quitosano aplicado no revestimento.

4.1 Revestimento Polimérico de Quitosano

Quando a pele é danificada por um trauma, abrasão, queimaduras ou úlceras, problemas são originados tais como, exsudatos excessivos, distúrbios do sistema imunológico e infeções bacterianas. Nestas ocasiões, os pensos para feridas são necessários para proteger a pele lesada. Os materiais destinados a curar feridas devem ser suaves e capazes de preservar a humidade, prevenir infeções bacterianas, acelerar a cicatrização das lesões, parar o sangramento e diminuir a dor (Wang *et al.*, 2012).

O quitosano pode ser utilizado como material de cura para feridas, uma vez que promove a proliferação de fibroblastos, síntese de colagénio, granulação e vascularização (Muzzarelli, 2009; Croisier e Jérôme, 2013). Quando utilizado no curativo de feridas, o quitosano pode ser aplicado de diferentes formas, nomeadamente: como esponja (Patel *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2013), nanopartículas (Sandri *et al.*, 2013; Abdelgawad, Hudson e Rojas, 2014; Junge *et al.*, 2015), hidrogel (Zhang *et al.*, 2015; Anjum *et al.*, 2016; Tsai *et al.*, 2016), membrana (Nordback, *et al.*, 2015), revestimento (Bais *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2014) e fibra (Zhou *et al.*, 2013).

Por ser um polissacarídeo catiónico com excelentes propriedades de formação de película (Sánchez-González *et al.*, 2010), a aplicação do quitosano em revestimentos adequados para têxteis funcionais deve apresentar espessura reduzida. Desta forma, as propriedades têxteis como a espessura, resistência a tração, flexibilidade, não são influenciadas (Varesano *et al.*, 2011). Cateteres revestidos de quitosano e

quitosano modificado apresentaram coeficientes de fricção menor em comparação com os não revestidos, proporcionando menor atrito (Niemczyk, El Fray e Franklin, 2015).

A utilização de revestimentos de quitosano funcionalizados com nanopartículas de prata (Tripathi, Mehrotra e Dutta, 2011; Sharma *et al.*, 2012), nanopartículas de titânio (Dai *et al.*, 2011) e zinco (Bajpai, Chand e Chaurasia, 2010), aumenta consideravelmente sua atividade antimicrobiana. Segundo Anghel *et al.*, (2012), materiais biológicos provenientes de óleos essenciais como o eugenol e limoneno são aplicados para funcionalização de têxteis devido as suas propriedades antiaderentes da magnetita e, a atividade microbicida do eugenol e do limoneno, apresentando propriedades antimicrobianas significativas contra agentes patogênicos bacterianos implicados na etiologia das infecções em feridas cutâneas.

Como referido, a seleção do polímero quitosano para o desenvolvimento da matriz polimérica, foi embasado nas suas características reportadas pelos estudos científicos. Nesta fase, objetiva-se desenvolver uma matriz de revestimento com o polímero quitosano, de forma que possa ser funcionalizada posteriormente com as NP's de quitosano com óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne. De referir que as propriedades pretendidas com aplicação do revestimento de quitosano para a gaze, nomeadamente são: baixo atrito, transporte e absorção de fluidos, baixa rigidez a flexão e manutenção de um microclima húmido.

Utilizou-se para aplicação do revestimento de quitosano uma gaze cirúrgica da marca *Wells®*, 100% algodão em estrutura tafetá, visto que este tipo de têxtil é ainda amplamente empregado no enfaixamento de feridas, sendo um material de baixo custo de aquisição. As características apresentadas no Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características da gaze comercial em algodão estrutura tafetá.

Parâmetros	Unidades	Valores
Massa linear dos fios de trama	Ne	24
Massa linear dos fios de teia	Ne	29
Massa por unidade de superfície	[g/m ²]	240
Espessura	[mm]	0,31
Contextura	N.º fios/cm ²	7
	N.º passagens/cm ²	7

Espera-se com aplicação do revestimento, potencializar as propriedades requeridas para a utilização do tecido. Com o plano experimental realizado nesta fase é pretendido efetuar o levantamento das características referentes as propriedades físicas, de conforto térmico e de gestão da humidade. Fatores considerados importantes para determinação da seleção da concentração mais adequada do revestimento e, sua posterior funcionalização através da aplicação das nanopartículas.

4.2 Estudo do Revestimento e Influência nas Características da Amostra Têxtil

Verifica-se nos dados da Tabela 4.2, que todas as gazes de algodão, após revestidas com o gel de quitosano, apresentaram um aumento na espessura e na sua massa por unidade de área. Os resultados mostram um aumento linear crescente para a massa por unidade de superfície e para a espessura em todas as amostras. Quando se realiza uma comparação entre as amostras em estudo, verifica-se que a amostra **G5**, revestida com 0,500 g de quitosano foi a que obteve maiores valores em ambos os parâmetros e **G1**, amostra revestida com 0,063 g do referido polímero, obteve os menores valores. Para a amostra **G5** os resultados apresentaram um aumento de 5,8% na sua massa por unidade de superfície e 34% na sua espessura com relação a amostra controle **G0**, os resultados estão dentro do esperado, visto que foi aplicado na referida amostra um revestimento com 0,500 g de quitosano. Observa-se também que a amostra **G1** obteve um aumento de 1,60 % na massa por unidade de área e 8,80% para espessura.

Tabela 4.2: Massa por unidade de superfície e espessura das gazes cirúrgicas revestidas com quitosano.

Amostras	Quitosano (g)	Massa por unidade de superfície (g/m ²)	Varição da massa (%)	Espessura (mm)	Varição da espessura (%)
Gaze controlo - G0	-	24,3 ± 0,20	-	0,31 ± 0,01	-
Gaze + revestimento - G1	0,063	24,7 ± 0,20	1,60	0,34 ± 0,03	8,80
Gaze + revestimento - G2	0,100	25,1 ± 0,10	3,10	0,35 ± 0,01	11,40
Gaze + revestimento - G3	0,125	25,2 ± 0,40	3,50	0,38 ± 0,03	18,90
Gaze + revestimento - G4	0,250	25,6 ± 0,30	5,00	0,41 ± 0,03	24,30
Gaze + revestimento - G5	0,500	25,8 ± 0,20	5,80	0,47 ± 0,03	34,00

Em termos percentuais, o aumento da espessura nas amostras, é devido à aplicação do revestimento polimérico, mostrando-se com maior ênfase em detrimento da massa por unidade de área. Os revestimentos aplicados proporcionarão alterações nas propriedades de permeabilidade ao ar, capilaridade, rigidez a flexão, entre outras.

Na Figura 4.1 são mostradas a gaze de controlo e revestidas com as quantidades em massa de quitosano apresentadas na tabela 4.2. Verifica-se que a partir da aplicação das quantidades de quitosano, não é possível verificar visualmente que as amostras apresentam diferenças.

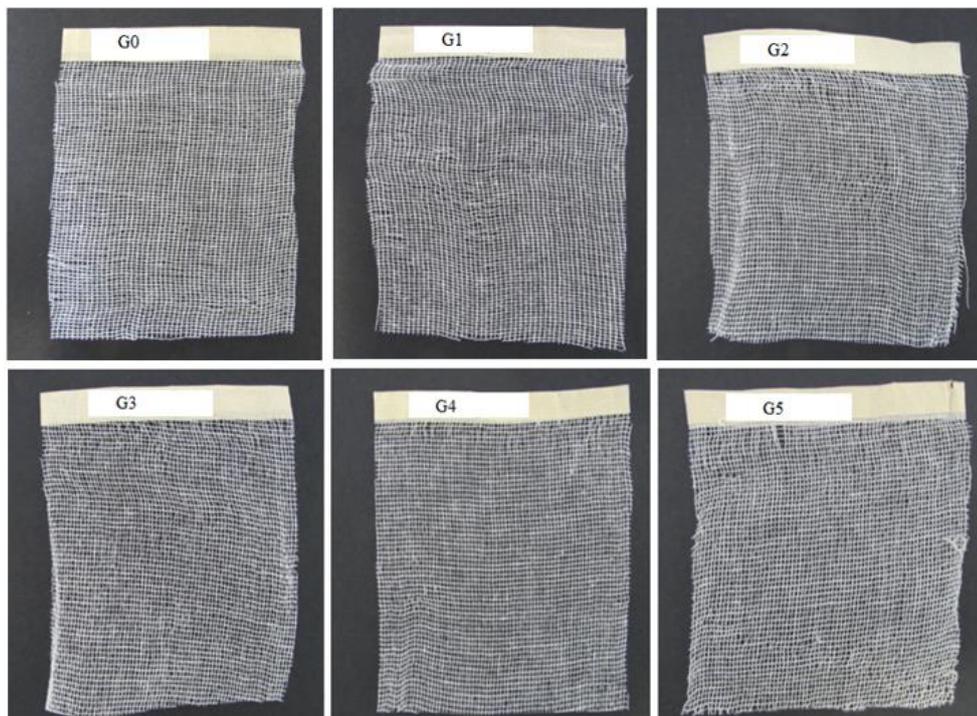


Figura 4.1: Gaze de controlo (G0); gaze G1 (0,063 g. quitosano); G2 - (0,100 g. quitosano); G3 - (0,125 g. quitosano); G4 - (0,250 g. quitosano) e G5 (0,500 g. quitosano).

4.3 Análise das Propriedades Físicas das Amostras Revestidas

4.3.1 Avaliação Objetiva das Propriedades de Atrito

A qualidade da superfície dos têxteis pode interferir diretamente na integridade da pele. Nos materiais têxteis, a fricção e a pressão são as forças principais (Wollina, Abdel-Naser e Verma, 2006), sendo que a fricção entre o tecido e a pele suada apresenta-se de forma mais elevada (Bartels, 2011). A pele

humana tem o seu coeficiente de atrito elevado com a hidratação da mesma (Gerhardt *et al*, 2008). Podem surgir forças de fricção na superfície da pele durante as transferências de pacientes imobilizados, sendo provocadas em áreas anatómicas da pele com proeminências ósseas, quando estes se encontram numa superfície inclinada (Atiyeh e Hayek, 2005). O quitosano atua como um revestimento lubrificante, reduzindo acentuadamente o coeficiente de atrito entre a pele e a superfície. (Niemczyk, Fray, Franklin, 2015). Rotaru *et al.*, (2013), em sua pesquisa com têxteis hospitalares, apresenta resultados de coeficiente de fricção de 0,327 em média para um têxtil na condição de seco com composição, 100% algodão, relatando também um aumento considerável do coeficiente de fricção quando húmido para o mesmo têxtil.

Gerhardt *et al.*, (2013), mostra em seu trabalho, relativo a curativos, que os têxteis em poliéster que foram testados, apresentaram coeficiente de fricção quando seco entre 0,22 e 0,25, em condições húmidas, os coeficientes de fricção medidos apresentaram resultados entre 0,46 e 0,47. Ainda faz referência à diminuição dos coeficientes de fricção, ao relatar que quando os curativos foram funcionalizados com fitoterápicos, seus coeficientes de fricção sofreram redução para 0,20 e 0,42, seco e húmido respetivamente.

Na Figura 4.2, são apresentados os resultados obtidos para a propriedade de fricção das amostras na condição de seco, com a aplicação do revestimento de quitosano. Observa-se que todas as amostras revestidas apresentaram um menor coeficiente de fricção com relação a amostra de controlo, **G0**. Numa análise geral das amostras testadas, o coeficiente de menor fricção foi obtido na amostra **G5**, 0,500 g de quitosano com 0,21, portanto, a de maior concentração, obtendo uma redução de 24,20 % no seu coeficiente de fricção, sendo a amostra com revestimento que apresentará objetivamente menor atrito.

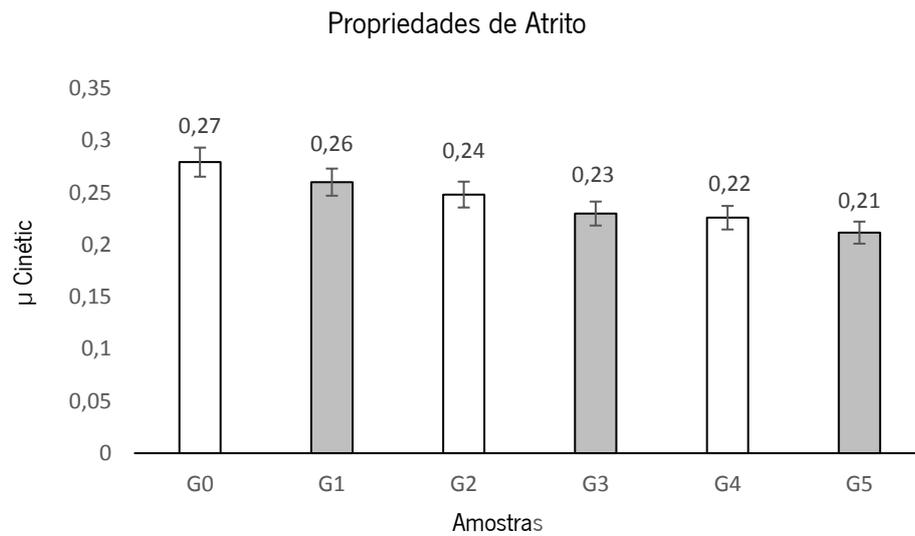


Figura 4.2: Gráfico - Propriedades de fricção das amostras de controlo e das revestidas.

O coeficiente de maior fricção dentre as amostras revestidas foi obtido pela amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, a de menor quantidade em g, com uma redução de 6,90% no seu coeficiente de atrito em comparação com a amostra controlo, significando um registo de maior grau de atrito entre as amostras revestidas. Verifica-se também, que a redução do coeficiente de fricção mostra-se numa escala descendente, indo da amostra de menor quantidade em g de quitosano para a de maior quantidade. Conclui-se do estudo, que a amostra revestida, com menor grau de atrito relativamente a esta propriedade foi a amostra **G5** a com maior grau de atrito a amostra **G1**.

Os resultados mostram que as amostras **G3**, **G4** e **G5**, apresentam coeficientes de fricção conforme os padrões reportados na literatura citada. Verifica-se pelos resultados dispostos, que a propriedade de baixa fricção do revestimento de quitosano tem uma relação direta com a quantidade aplicada, quanto maior a concentração, menor o coeficiente de fricção, conseqüentemente menor será o atrito entre o têxtil e a pele.

4.3.2 Avaliação do Comportamento em Flexão

Propriedades como as de manuseamento e de drapeamento estão diretamente ligadas às propriedades de flexão dos tecidos. Para além disso, o tecido é um material anisotrópico e, portanto, as suas propriedades devem ser consideradas em todas as direções (Peiffer, Kim, Takatera, 2017). Um têxtil

rígido apresenta uma elevada rigidez quando aplicada uma força de flexão, visto que um têxtil macio ou mesmo ténue, apresenta baixa rigidez a uma força de flexão aplicada. A maciez do tecido também está ligada às características de flexão do material em todas as direções (Bartels, 2011). O aumento da espessura e do peso de um tecido está diretamente relacionado com a sua rigidez à flexão, uma propriedade mecânica importante, uma vez que influencia no seu manuseio, na sua formabilidade e, nas propriedades de conforto em várias aplicações médicas (Jayakumar *et al.* 2011).

Na tabela 4.3, são demonstrados os dados obtidos com relação às variações do coeficiente de rigidez à flexão no sentido da teia e da trama. Ressalta-se que como observado na caracterização, os fios de teia possuem um menor diâmetro com relação aos de trama. Todas as gazes cirúrgicas de algodão revestidas com quitosano mostram um aumento na sua espessura e no peso e, conseqüentemente, na sua propriedade de resistência a flexão. Verifica-se também na Tabela 4.3, as variações do coeficiente de rigidez à flexão (B) e do momento de flexão (2HB) para as diferentes concentrações de quitosano aplicadas, que também aumentam em detrimento da aplicação do revestimento em concentrações mais elevadas do polímero.

Tabela 4.3: Propriedades de rigidez à flexão das gazes cirúrgicas revestidas com quitosano.

Amostras	Teia		Trama	
	B (gf cm ² cm ⁻¹)	2HB (Nm/m)	B (gf cm ² cm ⁻¹)	2HB (Nm/m)
G0	0,0074 ± 0,001	0,0086 ± 0,002	0,0082 ± 0,007	0,0065 ± 0,004
G1	0,0133 ± 0,005	0,0103± 0,003	0,0118 ± 0,003	0,0082 ± 0,002
G2	0,0217 ± 0,001	0,0205 ± 0,003	0,0163 ± 0,002	0,0135 ± 0,001
G3	0,0220 ± 0,009	0,0230 ± 0,007	0,0280 ± 0,006	0,0280 ± 0,009
G4	0,0678 ± 0,018	0,0665 ± 0,017	0,0631 ± 0,009	0,0672 ± 0,010
G5	0,1831 ± 0,040	0,1740± 0,046	0,0742 ± 0,010	0,0989 ± 0,029

A rigidez à flexão da amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, aumentou cerca de 24,6 e 20,2 vezes em B e 2HB no sentido da teia respetivamente, com relação à amostra controlo **G0**, com B apresentando um coeficiente de rigidez à flexão 5% superior a 2HB. Para o sentido da trama, a referida amostra, apresentou um acréscimo no coeficiente de rigidez à flexão de 9 e 15,2 vezes em B e 2HB, respetivamente, com B apresentando um coeficiente de rigidez à flexão 25% inferior a 2HB. Portanto, sendo assim considerada

a amostra revestida com maior grau de rigidez, resultado obtido com um acréscimo de 34% na sua espessura e de 5,8% na sua massa por unidade de superfície após o revestimento.

Com um aumento de 8,80 % na espessura e de 1,60% na massa por unidade de superfície, a amostra **G1** (0,063 g de quitosano) apresentou a menor rigidez à flexão em comparação com as demais amostras revestidas. Embora para a referida amostra esta propriedade apresente um aumento de 80% no coeficiente de rigidez à flexão do tecido em B de 16,30% em 2HB no sentido da teia quando comparada com a amostra de controlo, **G0**, A amostra obteve um coeficiente de rigidez à flexão de 30,50% e 20,70% superior em B e 2HB no sentido da trama, respetivamente, com B apresentando um coeficiente de rigidez à flexão de 30,50% superior em relação a 2HB.

4.4 Análise das Propriedades de Conforto Térmico

4.4.1 Avaliação das Propriedades Térmicas

A principal contribuição para o isolamento térmico fornecido por um material têxtil, é a sua capacidade de retenção do ar na estrutura do material (Song *et al*, 2011). A estrutura das fibras e dos fios componentes do tecido, determinam a distribuição do volume de ar nos interstícios, influenciando assim a porosidade da estrutura do tecido, o que afeta fortemente a sua permeabilidade (Stanković, Popović, Poparić, 2008). Em tecidos secos, como as gazes cirúrgicas avaliadas, o isolamento térmico depende essencialmente da espessura e, em menor grau, da construção do tecido e condutividade das fibras. A resistência térmica aumenta à medida que a espessura do tecido aumenta (Alay, Alkan e Göde, 2012). Para além disso, qualquer superfície que tenha contato com a pele, tem o potencial de alterar o microclima (Zhong *et al*, 2006; Zhong *et al*, 2008).

Nas Figuras 4.3 e 4.4 estão dispostos os resultados obtidos para às amostras referentes as propriedades de resistência térmica e de condutividade térmica, respetivamente. A resistência térmica da amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, foi superior quando comparada com as restantes amostras revestidas, para além disso a sua condutividade obteve o menor resultado. A amostra **G5** registou um aumento na espessura de 34% após aplicação do revestimento de quitosano com relação a amostra de controlo, **G0**. Os resultados demonstram uma diferença de 14,80% maior para a resistência térmica e de 8,30% menor para a propriedade de condutividade térmica, o que torna a amostra com maior potencial de isolamento térmico, promovendo um microclima de maior humidade entre a pele e o tecido. Numa observação

conjunta dos dados, o menor poder de isolamento térmico para as amostras revestidas pertence a **G1**, que possui a propriedade de resistência térmica menor e a de condutividade térmica maior, entre as amostras revestidas, ou seja, a amostra **G1** é a que poderá apresentar um microclima com menor humidade. Todas as amostras revestidas obtiveram valores que as permitem apresentar um comportamento térmico de maior poder de isolamento em comparação com a amostra controlo, **G0**.

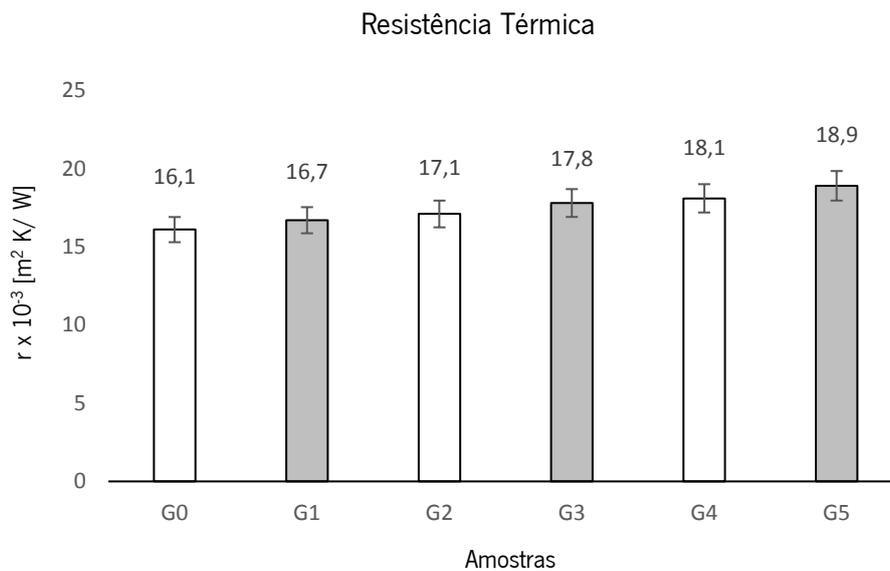


Figura 4.3: Gráfico - Propriedade de resistência térmica das amostras de controlo e revestidas.

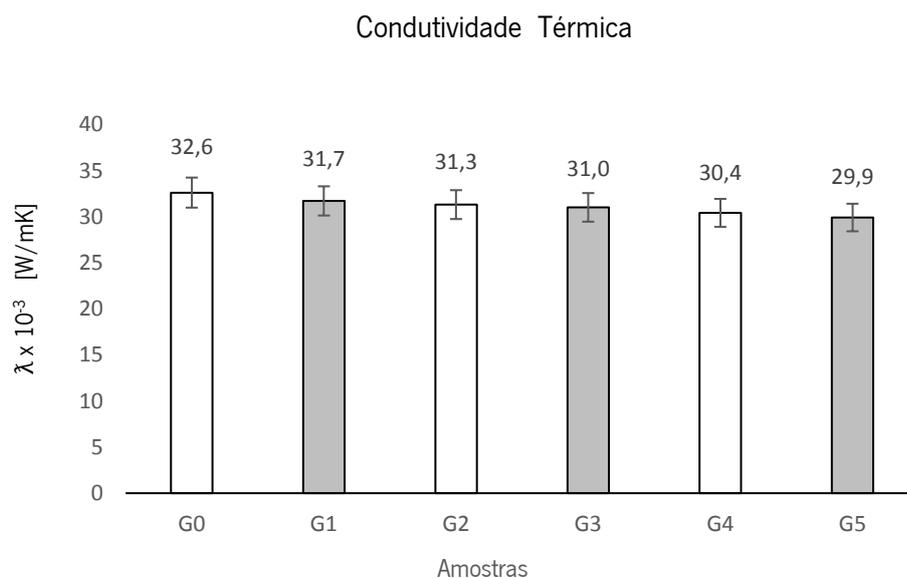


Figura 4.4: Gráfico - Propriedade de condutividade térmica das amostras de controlo e revestidas.

A Figura 4.5 apresenta os resultados obtidos para a análise do fluxo térmico das amostras em estudo. O fluxo de calor térmico da amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, é o menor para as amostras revestidas com quitosano, apresenta uma percentagem de 17% menor para o fluxo de calor em comparação com amostra de controlo **G0**, objetivamente confere a essa amostra promover uma maior sensação térmica de calor, pois a propagação do calor gerado na área entre o tecido e a pele será mais lenta, possibilitando assim microclima mais húmido. A amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, obteve o maior resultado, portanto permitirá uma propagação do calor de forma mais rápida, gerando assim uma menor sensação térmica de calor dentre as amostras revestidas.

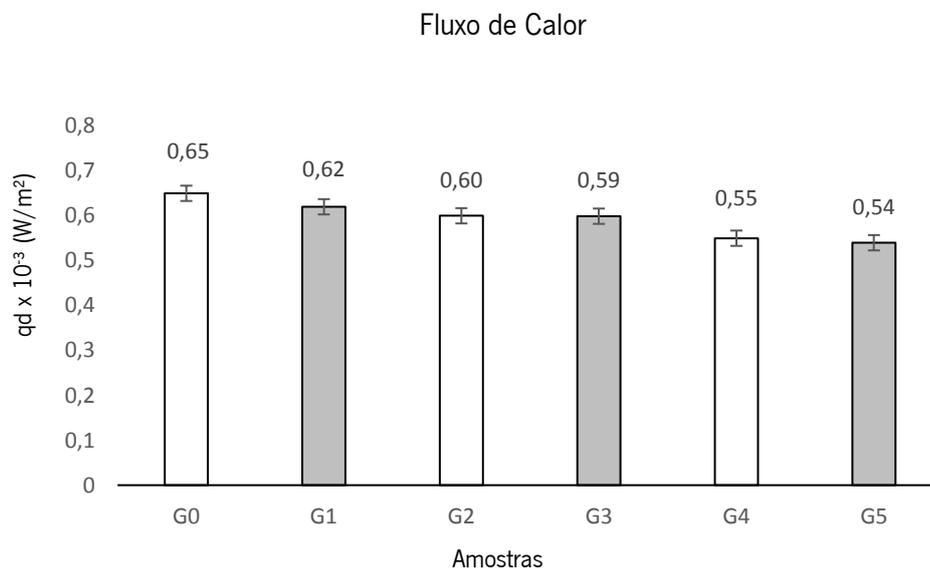


Figura 4.5: Gráfico - Propriedade do fluxo de calor térmico das amostras de controlo e revestidas.

É possível verificar que para as propriedades de conforto térmico, a espessura obtida pelas amostras após o processo de revestimento, foi um fator importante para promover uma maior capacidade de isolamento térmico, o que a princípio vai gerar um microclima com maior humidade, fator importante para o processo de cicatrização das feridas.

4.4.2 Avaliação da Permeabilidade ao Ar

A retenção de calor é uma das propriedades que os pensos destinados às feridas devem conter, uma vez que mantêm um ambiente húmido e, facilitando desta forma o processo de cicatrização (Broussard, Powers, 2013). Contudo, a permeabilidade ao ar é um dos parâmetros mais importantes para pensos destinados a feridas. Sendo definida como o volume de ar que passa num determinado período de tempo através de uma área conhecida de um tecido a uma diferença de pressão definida (Onofrei, Rocha, Catarino, 2011). Variáveis de produção do tecido, como a torção do fio e a densidade do tecido podem ter um efeito sobre a permeabilidade do ar causando uma alteração no comprimento e área dos percursos de fluxo de ar através do tecido (Raja *et al*, 2015).

Um penso médico deve ser permeável aos gases para evitar a maceração e proporcionar conforto aos pacientes, mas uma permeabilidade ao ar excessiva, permite a secagem da ferida, causando efeito negativo sobre a cicatrização (Stanković, Popović, Poparić, 2008). Nos curativos à base de fibras, a permeabilidade ao ar é principalmente afetada pela porosidade, uma vez que, por razões óbvias, a passagem de ar através de um tecido só pode ter lugar nos espaços entre as fibras e fios (Kanakaraj, Ramachandran, 2015).

Como pode ser observado nos dados da Figura 4.6, existe uma diminuição na permeabilidade ao ar para todas as amostras revestidas, o que implica também uma menor porosidade. Visto que é uma propriedade também afetada pela espessura, verifica-se que a menor permeabilidade ao ar é apresentada na amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, a referida amostra possui uma espessura superior, 34%, o que corresponde a 16 mm, quando comparada com a amostra de controlo **G0**, o que equivale a 17,60% na redução da permeabilidade ao ar. Com uma espessura de 3 mm maior e 13 mm menor com relação as amostras **G0** e **G5**, respetivamente, a amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, possui a maior permeabilidade entre as amostras revestidas, correspondendo a uma percentagem 6% inferior na propriedade de permeabilidade ao ar quando comparada com a amostra de controlo.

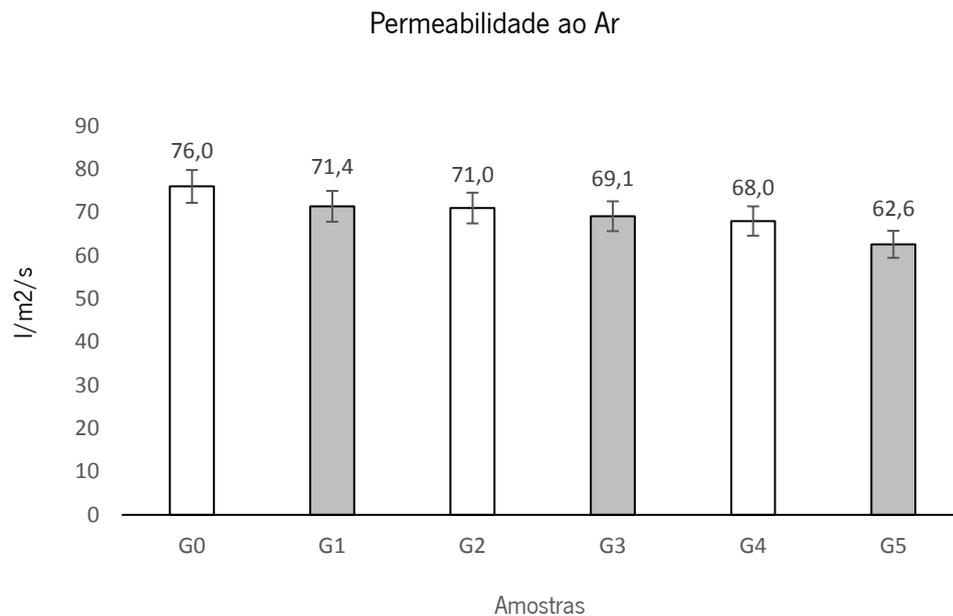


Figura 4.6: Gráfico - Propriedade de permeabilidade ao ar para as amostras de controlo e revestidas.

É possível verificar também uma pequena diferença em termos de permeabilidade entre as amostras **G1**, 0,063 g de quitosano, **G2**, 0,100 g de quitosano, **G3**, 0,125 g de quitosano, e **G4**, 0,250 g de quitosano. Onde **G2**, **G3** e **G4** obtiveram um aumento de espessura de 1 mm, 4 mm e 7 mm com relação a **G1**, respetivamente, fato que proporcionou a diferença de permeabilidade ao ar para as amostras citadas. Esta propriedade está relacionada com o fator de cobertura das amostras que é alterada com a aplicação do revestimento de quitosano nas quantidades em peso selecionadas.

4.4.3 Avaliação da Permeabilidade ao Vapor de Água

A permeabilidade ao vapor de água mede a capacidade de difundir a transpiração ou o exsudato de uma ferida em forma de vapor de água através de um tecido. Num penso, a melhor condição de conforto depende principalmente da quantidade de vapor de humidade que uma fibra é capaz de transportar e, não a quantidade de água que é absorvida pela fibra (Ramkumar *et al.*, 2007). A diferença da concentração do vapor de água entre o corpo humano e, o ambiente, pode fazer com que a humidade seja transferida por difusão, convecção, adsorção, absorção e condensação (Ding *et al.*, 2011b), estando a resistência ao vapor de água dependente principalmente da permeabilidade ao ar do tecido (Karaca *et al.*, 2012).

Um nível mais elevado de resistência à permeabilidade ao vapor de água para um tecido é presumivelmente atribuído às propriedades inerentes das fibras, assim como à espessura do tecido (Kakvan *et al*, 2015). O penso ideal deve ser capaz de controlar a taxa de permeabilidade ao vapor de água, de forma a manter um ambiente de humidade equilibrada, promovendo assim conforto e um processo de cicatrização sem causar maceração (Schultz *et al*, 2005).

Na Figura 4.7 encontram-se os níveis de permeabilidade ao vapor de água para as amostras em estudo (controlo e revestidas). Verifica-se que o maior nível de permeabilidade ao vapor de água dos pensos com revestimento, foi obtido pela amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, 105,90%, com aumento da sua espessura de 3 mm, embora tecnicamente se possa considerar também a amostra **G2**, 0,100 g de quitosano, com um índice de 105,80%, com um acréscimo de 4 mm na espessura, uma vez que a diferença é muito pequena. É visível nestas amostras onde as concentrações de quitosano utilizadas para revesti-las não promoveram praticamente diferenças com relação a amostra de controlo **G0**, que apresenta um índice de permeabilidade ao vapor de água de 106%.

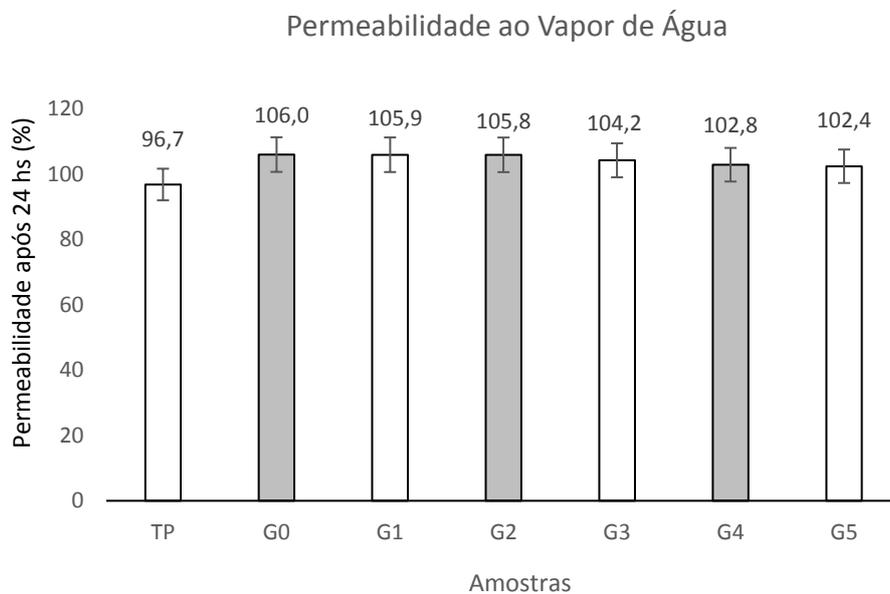


Figura 4.7: Gráfico - Propriedade de permeabilidade ao vapor de água para as amostras.

A percentagem de permeabilidade ao vapor de água (l%) de menor valor foi obtido pela amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, seu nível de permeabilidade ao vapor diminui cerca de 3,60% com relação a amostra de controlo. Verifica-se que a amostra **G5** por apresentar uma maior espessura, 16 mm, adquirida após o revestimento com quitosano, permitiu um nível de permeabilidade de vapor menor, devido às suas características de absorção superiores ao da amostra controlo, gaze 100% algodão, proporcionadas pelos grupos aminas do referido polímero. Conforme os resultados apresentados, constata-se que à amostra **G5** possibilitará, uma maior sensação de humidade por parte do utilizador. Verifica-se também que o fator de cobertura influenciou esta propriedade, a absorção do vapor de água aumenta mediante a deposição de maior quantidade de quitosano na superfície do têxtil.

4.5 Análise das Propriedades de Gestão da Humidade

4.5.1 Avaliação da Capilaridade Vertical - *Wicking*

Wicking é o fluxo de um líquido através do meio poroso, caracterizado pela atração molecular fibra-líquido na superfície da fibra. A tensão superficial, as vias capilares eficazes e a distribuição dos poros, são as principais variáveis responsáveis pela capacidade de capilaridade, transporte de líquido num têxtil (Manshahia e Das, 2014). No entanto, a humidificação necessita de ser controlada, uma vez que pode causar aumento na espessura do tecido, alterando assim, a geometria entre as posições dos espaços capilares, aumentando o peso do penso e, afetando a sua capacidade de capilaridade (Boateng *et al*, 2008).

Os dados obtidos na capilaridade vertical no sentido da teia são apresentados na Figura 4.8.

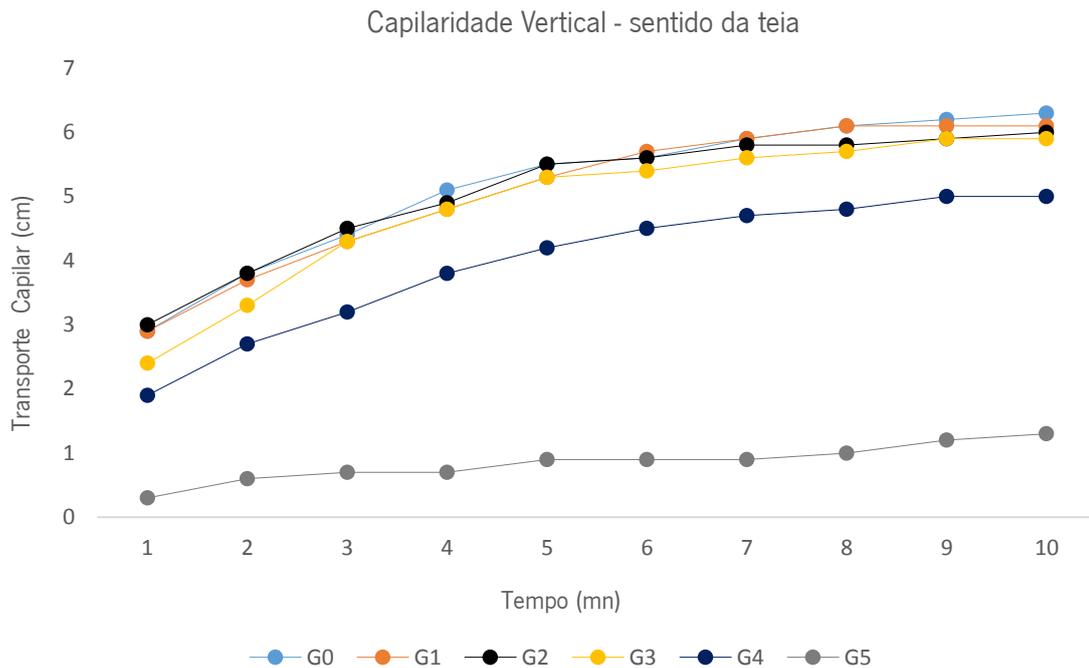


Figura 4.8: Gráfico – Capilaridade vertical no sentido da teia das amostras de controlo e revestidas.

Observa-se que os resultados referentes ao comportamento das amostras são distintos, com relação ao transporte de humidade. O maior nível para as gazes revestidas é apresentado pela amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, a de menor concentração, estando muito próxima da amostra de controlo, com uma diferença de cerca de 2 mm. O menor nível de capilaridade, transporte de líquido, foi apresentado pela amostra **G5**, 0,500 g. de quitosano, verifica-se no caso desta amostra, uma grande diferença no transporte de humidade em **cm** com relação às amostras de controlo **G0** e da amostra revestida **G1**, com diferenças nos resultados de 5,3 cm e 5,1 cm, respetivamente. O mesmo pode ser observado para as amostras revestidas **G2**, 0,100 g de quitosano e **G3**, 0,125 g de quitosano, onde as diferenças são inferiores, encontrando-se abaixo dos 5 mm. Verifica-se que a capilaridade é inversamente proporcional às concentrações de revestimento, às quais são submetidas a gaze. Quanto maior a concentração, menor a subida do fluido no tempo pré-estabelecido do ensaio. Conclui-se que a amostra revestida **G1** apresenta o melhor rendimento no transporte de humidade e a **G5** o rendimento mais baixo.

Os resultados da capilaridade vertical no sentido da trama são apresentados na Figura 4.9. Observa-se que, para todas as amostras, a subida capilar apresenta-se de forma mais acentuada, demonstrando melhor desempenho com relação a capilaridade vertical no sentido da teia, uma vez que os fios de trama

possuem maior diâmetro. A amostra com melhor rendimento capilar foi a **G2**, 0,100 g de quitosano, e **G5**, 0,500 g de quitosano, a que obteve o menor resultado. Verifica-se também de uma forma geral, que para as amostras revestidas, a propriedade de capilaridade vertical é inversamente proporcional em relação à amostra de controlo, tal como ocorreu no sentido da teia.

As diferenças em cm para as amostras revestidas com relação à amostra de controlo são mais relevantes no sentido da trama. A amostra **G2**, com melhor rendimento, apresenta uma diferença de 1,4 cm inferior em relação à amostra de controlo e a amostra **G5** com 8,1 cm. Ressalta-se também que os fios da amostra no sentido da trama possuem maior diâmetro, portanto, mais fibras para absorção, fato que contribuí para os resultados, uma vez que, as condições relativamente a estrutura do tecido, nomeadamente debuxo e densidade de fios, assim como a composição, não se alteram.

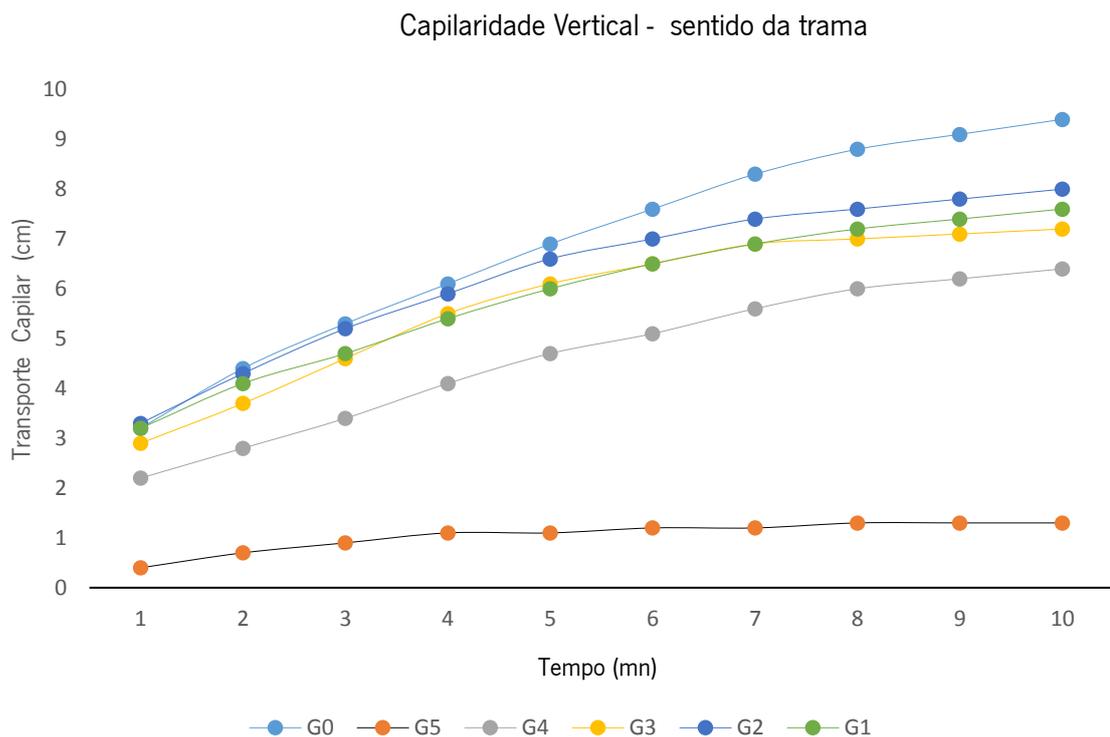


Figura 4.9: Gráfico – Capilaridade vertical no sentido da trama das amostras de controlo e revestidas.

Conforme os valores de referência estabelecidos pela norma FTTS-F-A-004, na capilaridade vertical no sentido da teia, as amostras **G1**, **G2** e **G3** são classificadas com Bom, estando no grau 2, pois seus

valores para altura de molhagem se encontram entre 50 e 100 mm e, à amostra **G5** é classificada como suficiente, com grau 1, uma vez que os valores para altura de molhagem se encontram abaixo dos 50 mm. No sentido da trama às amostras **G1**, **G2**, **G3** e **G4** são classificadas com Bom e grau 2. Os resultados mostram que quando menor a quantidade de quitosano utilizado, melhor será o rendimento do têxtil com relação ao transporte capilar, propriedade de distribuição do líquido no têxtil, permitindo a retirada do excesso de, exsudato, proporcionando um microclima sem excesso de humidade entre o têxtil e a superfície da pele. Portanto, de uma forma geral os resultados obtidos são bons para as amostras **G1**, **G2**, **G3** em ambos os sentidos, teia e trama, sendo um fator a ser considerado para a seleção do melhor revestimento.

4.5.2 Avaliação da Absorção de Líquido na Capilaridade - *Wicking* Dinâmico

O exsudato é necessário para uma cura ideal, mas os altos níveis de exsudato durante a fase inflamatória devem ser controlados (Romanelli, Vowden, Weir, 2010), uma vez que se o penso que envolve a ferida não absorver e não reter quantidades relevantes de exsudato, causará maceração, resultando numa cicatrização tardia, risco de infecção, fricção e, um aumento no tamanho da ferida (Colwell *et al.*, 2011). Os pensos higroscópicos baseados em fibras naturais, tais como o algodão, são caracterizados por um elevado transporte de humidade líquida e absorção, de forma a permitir a remoção do excesso de exsudato da ferida. Um nível eficiente de absorção evita a impregnação periférica da ferida, a qual pode causar maceração na sua borda e, permitir um nível eficaz de humidade durante o processo de cicatrização (Fonder *et al.*, 2008).

Na Figura 4.10, podem ser observados os resultados dos ensaios de capilaridade dinâmica. Verifica-se que os valores relativos à capacidade de absorção do líquido em gramas, não acompanham diretamente os resultados dos valores em cm no transporte de humidade apresentados no *Wicking* vertical, para ambos os sentidos, teia e trama.

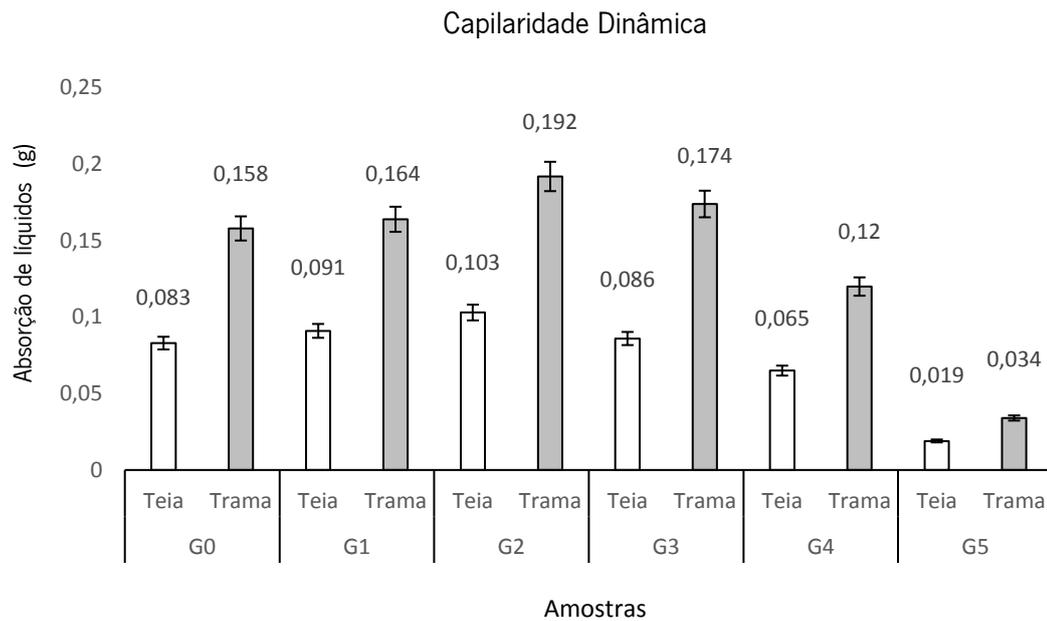


Figura 4.10: Gráfico – Capilaridade dinâmica no sentido da teia e trama das amostras de controlo e revestidas.

A amostra **G2**, 0,100 g de quitosano, apresenta a maior capacidade de extração em gramas de humidade, para ambos os sentidos, teia e trama, com uma diferença para a amostra de controlo **G0** em peso de extração e percentagem mais elevadas, sendo 0,020 g e 19,50% para o sentido da teia e com dados em peso e percentagem de 0,034 g e 9,10% mais elevadas para o sentido da trama, respetivamente. O registo da menor capacidade de extração de humidade está na amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, o que representa uma diferença para a amostra de controlo **G0** com relação aos fios de teia e trama em peso inferior de 0,064 g e 0,128 g, em percentagem compreendem apenas 22,90% e 21,50% do total extraído pela amostra controle, respetivamente. Observa-se também que as diferenças de extração em peso são mais acentuadas no sentido da trama, motivo que ocorre devido ao maior diâmetro dos fios, os quais possibilitam uma maior extração de líquido, uma vez que existe maior quantidade de fibras.

4.6 Análise dos Resultados

O revestimento polimérico de quitosano foi aplicado nas quantidades em peso pré-estabelecidos no tecido de referência, uma gaze com debuxo tafetá, 100% algodão (CO). Os referidos tecidos foram submetidos a ensaios para análise das suas propriedades em termos de conforto térmico, gestão de humidade,

rigidez à flexão, capilaridade e fricção. Na Tabela 4.4, são apresentados em ordem de classificação os resultados obtidos nos ensaios, tendo em consideração os resultados obtidos pelo tecido de referência.

Tabela 4.4: Classificação dos resultados obtidos nos ensaios.

Propriedades	Critério de Classificação	Amostra				
		G1	G2	G3	G4	G5
Flexão	Maior	1°	2°	3°	4°	5°
Resistência Térmica	Maior	5°	4°	3°	2°	1°
Condutividade Térmica	Menor	5°	4°	3°	2°	1°
Fluxo de Calor	Menor	5°	4°	3°	2°	1°
Permeabilidade ao ar	Menor	1°	2°	3°	4°	5°
Permeabilidade ao vapor	Menor	5°	4°	3°	2°	1°
Capilaridade vertical - Teia	Maior	1°	2°	3°	4°	5°
Capilaridade - Trama	Maior	1°	2°	3°	4°	5°
Capilaridade dinâmica - Teia	Maior	2°	1°	2°	3°	4°
Capilaridade dinâmica - Trama	Maior	3°	1°	2°	4°	5°
Absorção - Vapor de Água	Menor	1°	2°	3°	4°	5°
Rigidez a Flexão - Teia	Menor	1°	2°	3°	4°	5°
Rigidez a Flexão - Teia	Menor	1°	2°	3°	4°	5°
Propriedade de Fricção	Menor	5°	4°	3°	2°	1°

Com os resultados obtidos e de acordo com os objetivos propostos para esta fase, permite-se considerar:

- Aplicação do revestimento: todas as amostras apresentaram modificações em relação às características de massa por unidade de área e espessura. A amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, é a que, após aplicação do revestimento apresenta maior espessura, registrando um acréscimo de 0,16 mm e maior massa por unidade de área, 5,8 g/m², com relação a amostra de controlo.

Está claro que todas as amostras apresentaram modificações nas suas propriedades de conforto térmico, gestão da humidade, rigidez à flexão e atrito após aplicação do revestimento;

- Propriedades físicas: atrito e rigidez à flexão, observa-se que, à medida que a concentração do revestimento polimérico de quitosano aumenta, as amostras apresentam objetivamente um decréscimo no seu coeficiente de atrito e um aumento da rigidez à flexão. Objetivamente a amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, possibilitará ao usuário um menor de atrito entre o substrato têxtil revestido e a pele, porém a sua rigidez à flexão é um fator a ser considerado negativo para a amostra, visto que um grau elevado de rigidez não possibilitará a amostra se adequar aos desníveis do corpo. Com relação à amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, esta possibilita um maior grau de atrito, porém será a amostra com menor rigidez a flexão, o que possibilitará uma melhor conformação do têxtil quando sobreposto na superfície do corpo do utilizador;
- Propriedades de conforto térmico: as amostras **G4**, 0,250 g de quitosano, e **G5**, 0,500 g de quitosano, apresentam os maiores valores para as propriedades de resistência térmica e os menores valores para as propriedades de condutividade térmica e fluxo de calor. Verifica-se também, que possuem menores valores para as propriedades de permeabilidade ao ar e de permeabilidade ao vapor de água, apresentando portanto, um maior poder de isolamento térmico quando comparadas com todas as amostras com revestimento, sendo a amostra **G5**, a que apresenta maior espessura, conforme os dados apresentados, a que possibilitará o desenvolvimento de um microclima com maior humidade. De referir que as amostras **G1**, 0,063 g de quitosano, **G2**, 0,100 g de quitosano, e **G3**, 0,125 g de quitosano, possibilitarão microclimas com menor humidade, para além disso possuem valores muito próximos no que se refere a condutividade térmica, fluxo de calor e permeabilidade ao vapor de água;
- Propriedades de gestão da humidade – Capilaridade Vertical: a amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, apresenta os menores valores no ensaio de capilaridade vertical, no sentido da teia e da trama. Para a capilaridade vertical no sentido da teia, verifica-se que a ascensão capilar eleva-se apenas a 1 cm do leito do líquido, sendo que para trama chega a 1,3 cm. A capilaridade mais lenta possibilitará maior humidade, uma vez que o líquido é transportado de forma mais lenta. A capilaridade vertical no sentido da teia demonstra ser mais equilibrada para as amostras **G1**, 0,063 g de quitosano, **G2**, 0,100 g de quitosano, e **G3**, 0,125 g de quitosano, apresentando os

seguintes resultados 6,1 cm, 6 cm e 5,9 cm, respetivamente, sendo a amostra **G1** a que obteve o melhor resultado. No sentido da trama, a ascensão capilar, como já reportado anteriormente, foi superior ao sentido da teia, sendo que as diferenças entre as três amostras citadas também são superiores, nomeadamente para **G2**, **G1** e **G3**, verificando-se que a amostra **G2** foi a que obteve o melhor resultado. Verifica-se também, que o efeito de capilaridade diminuiu para todas as concentrações do revestimento do polímero de quitosano aplicado, assim, no sentido da teia obtiveram-se para a capilaridade os resultados mais baixos;

- Capilaridade dinâmica: os valores apresentados pela amostra **G5**, 0,500 g de quitosano, são de 0,019 g e 0,034 g no sentido da teia e da trama, respetivamente. Desta forma, é possível salientar que a referida amostra não permitirá a distribuição de líquidos, o que poderá resultar num excesso de humidade. **G2**, 0,100 g de quitosano, apresentou melhor resultado comparativamente à amostra **G1**, 0,063 g de quitosano, apesar de ter sido revestido com uma concentração superior do polímero de quitosano, apresentando os resultados de 0,103 g e 0,192 g para os sentidos da teia e trama, respetivamente. Verifica-se que o revestimento aplicado permite criar uma condição de humidade mais acentuada com aplicação de concentrações mais elevadas em **G4** e **G5**. Para as concentrações de revestimento aplicadas em **G1**, **G2** e **G3** apresentarão, uma condição de microclima menos húmida, apesar das referidas amostras possuírem uma velocidade de ascensão capilar menos elevada em comparação com a amostra controlo **G0**.

4.6.1 Seleção da Melhor Condição para Aplicação da Matriz Polimérica

Conforme a discussão dos resultados deste estudo, observou-se a necessidade de se identificar o melhor revestimento de quitosano dentre os 5 que foram aplicados, no tecido de referência. Assim, procedeu-se à avaliação dos resultados, à identificação e quantificação das respectivas classificações para os parâmetros selecionados.

Para a codificação das propriedades, aplicou-se ordem alfabética no intervalo de A-M, com intervalo de classificação entre 0-10 e seus respectivos pesos. O peso, é composto pelos multiplicadores atribuídos a cada uma das colunas, em função dos critérios de importância adotados, o que originou uma média

com valores ponderados para cada um dos três parâmetros considerados e suas subdivisões. Para avaliação dos resultados, foi utilizado um programa desenvolvido a partir do *software MatLab R2014a*®.

Os parâmetros e as propriedades, foram codificadas e aplicadas as classificações e respectivos pesos. Os parâmetros foram divididos em três propriedades analisadas, o comportamento do conforto térmico, a gestão da humidade e as propriedades físicas, considerando-se também as suas subdivisões. Os pesos foram aplicados mediante a importância atribuída para cada uma das propriedades aferidas, conforme a literatura reportada na fundamentação de cada uma delas.

Nas propriedades de conforto térmico, por exemplo, que permitem conhecer qual a condição de microclima entre o têxtil e a pele, a classificação de peso 3 para a resistência térmica e para a absorção do vapor de água, foi aplicada, pois como vistos nos ensaios foi possível verificar que estas propriedades sofreram influência na espessura, assim como a de permeabilidade ao ar, com peso 2,5. A condutividade térmica e o fluxo de calor são propriedades que complementam os resultados da propriedade de resistência térmica, o que implicou atribuição de peso 2,5 e 2 em suas classificações, respetivamente.

Para as propriedades de gestão da humidade, a capilaridade vertical recebeu classificação 1,5 e a capilaridade dinâmica 2. Embora, a capilaridade vertical verifica-se a ascensão capilar, a distribuição do líquido na superfície têxtil, a classificação com maior peso na capilaridade dinâmica está no fato que poder mensurar a quantidade de líquido em gramas extraído na capilaridade vertical.

As propriedades físicas medidas estão ligadas as questões ergonómicas, facilidade para o manuseamento do têxtil pelos profissionais e, sua capacidade de conformação na superfície da pele devido as propriedades de flexão, assim como, o contato na cobertura da área da ferida, possibilita a extração do excesso de exsudato e um menor atrito para não causar maceração na área periférica da ferida, são critérios adotados para aplicação de peso 3 nas propriedades de rigidez a flexão e atrito.

A Tabela 4.5 apresenta os critérios para a seleção do revestimento de quitosano utilizado, com a classificação dos pesos para o cálculo do desempenho de cada amostra.

Tabela 4.5: Critérios de avaliação para seleção do revestimento de quitosano.

Código	Propriedades	Peso	Critérios Para Aplicação
A	Resistência Térmica	3,0	A geração de humidade torna-se um processo importante para a cicatrização da pele lesada. A capacidade de permitir um microclima com isolamento térmico e ambiente húmido propício a uma melhor cicatrização (Yusuf <i>et al.</i> , 2013; Xu <i>et al.</i> , 2015).
B	Condutividade Térmica	2,5	
C	Fluxo de Calor	2,0	
D	Permeabilidade ao Ar	2,5	
E	Absorção do Vapor de Água	3,0	
F	Capilaridade Vertical – Teia	1,5	Capacidade de extração do excesso de humidade, promovido pelo exsudato, característica que não depende somente das propriedades de geração de humidade proporcionadas entre o substrato têxtil e a pele lesada (Gerhardt <i>et al.</i> , 2008; Broussard e Powers, 2013).
G	Capilaridade Vertical – Trama	1,5	
H	Capilaridade Dinâmica – Teia	2,0	
I	Capilaridade Dinâmica – Trama	2,0	
J	Rigidez a Flexão – Teia	3,0	Características ergonômicas, usabilidade do utilizador e manipulação pelos profissionais, tendo em consideração a conformação na superfície do corpo, não geração de pressão excessiva e a abrasão entre a pele e o têxtil (Yusuf <i>et al.</i> , 2013; Vilhena e Ramalho, 2016).
L	Rigidez a Flexão – Trama	3,0	
M	Atrito	3,0	

Conforme os critérios estabelecidos no estabelecimento dos pesos para o cálculo do desempenho das amostras, aplicaram-se as classificações para cada uma das condições de revestimento, tendo em consideração as características do tecido de referência, quanto mais próximo os resultados maior a classificação aplicada às amostras. Os dados quantitativos são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Classificação aplicada para avaliação do programa nas gazes revestidas com quitosano.

Código	Propriedades	Notas Aplicadas				
		G1	G2	G3	G4	G5
A	Condutividade Térmica	6	7	8,5	9	9,5
B	Resistência Térmica	6	7	8,6	9	9,5
C	Fluxo de Calor	7	8	8,1	9	9,5
D	Permeabilidade ao Ar	6	7	7,5	8	8,5
E	Capilaridade – Teia	9,6	9,3	9	7	5
F	Capilaridade – Trama	9,5	9,3	9	8	6,5
G	Capilaridade Dinamica – Teia	9	9,4	9	7	6
H	Capilaridade Dinamica – Trama	8,5	9,4	9	7,5	6
I	Absorção Vapor D'água	9,5	9,5	9	7	6,5
J	Rigidez a Flexão – Teia	8	7,5	7	6	5
L	Rigidez a Flexão – Trama	8	7,8	7,5	6	5
M	Atrito	7	7,5	9	9,3	9,5

A Tabela 4.7 apresenta a leitura quantitativa do programa utilizado para as condições de valores de classificação estabelecidas. Verifica-se que pelo critério utilizado a amostra **G3** (0,125 g de quitosano) apresentou estatisticamente o melhor resultado, uma vez que observando a Tabela 4.6, verifica-se que a referida amostra apresenta-se de forma mais regular com a classificação aplicada em relação as demais, embora não tenha sido apontada como a de melhor rendimento em nenhum dos ensaios aplicados.

Tabela 4.7: Resultado da avaliação do programa desenvolvido.

Resultado	Amostra	Nota média obtida (0-10)
1º	G3	8,3
2º	G2	7,9
3º	G1	7,7
4º	G4	7,4
5º	G5	6,6

4.7 Caracterização da Amostra G3

4.7.1 Caracterização do Revestimento Polimérico de Quitosano na Amostra Seleccionada

Na Figura 4.11, encontram-se as imagens obtidas por SEM (*Scanning Electron Microscope*) após aplicação do revestimento polimérico de quitosano, no tecido de referência, uma gaze que possui uma estrutura tafetá 1x1, sendo claramente visível a diferença no diâmetro dos fios que constituem a estrutura, sendo que os fios de maior diâmetro estão dispostos no sentido na trama e os de menor diâmetro no sentido da teia. A Figura 4.11, **A** mostra a amostra de controlo (**G0**), ou seja a amostra sem revestimento e a Figura 4.11, **B** a amostra **G3** (0,125 g de quitosano) com aplicação do revestimento seleccionado. A amostra de controlo **G0**, apresenta na Figura 4.11 **C** poros médios de $1,12 \pm 0,20 \text{ mm}^2$ e **G3** na Figura 4.11 **D**, poros médios de $1,17 \pm 0,26 \text{ mm}^2$. Verifica-se também uma compactação das fibras, o que justifica uma média maior do diâmetro dos poros na amostra revestida.

Na Figura 4.12, pode ser observado em **B** e **D** uma cobertura homogênea em volta dos fios e fibras da amostra **G3**, denota-se que os espaços entre as fibras são preenchidos pelo revestimento de quitosano, o que justifica a baixa permeabilidade ao ar, não só para a amostra seleccionada, como também para todas as amostras revestidas. Sendo assim, embora a amostra **G0** apresente uma média inferior com relação ao diâmetro dos poros com relação a amostra **G3**, esta possui os seus interstícios preenchidos, o que afeta a propriedade de permeabilidade ao ar, bem como uma maior espessura, razão que também influencia para uma menor permeabilidade ao ar num substrato têxtil.

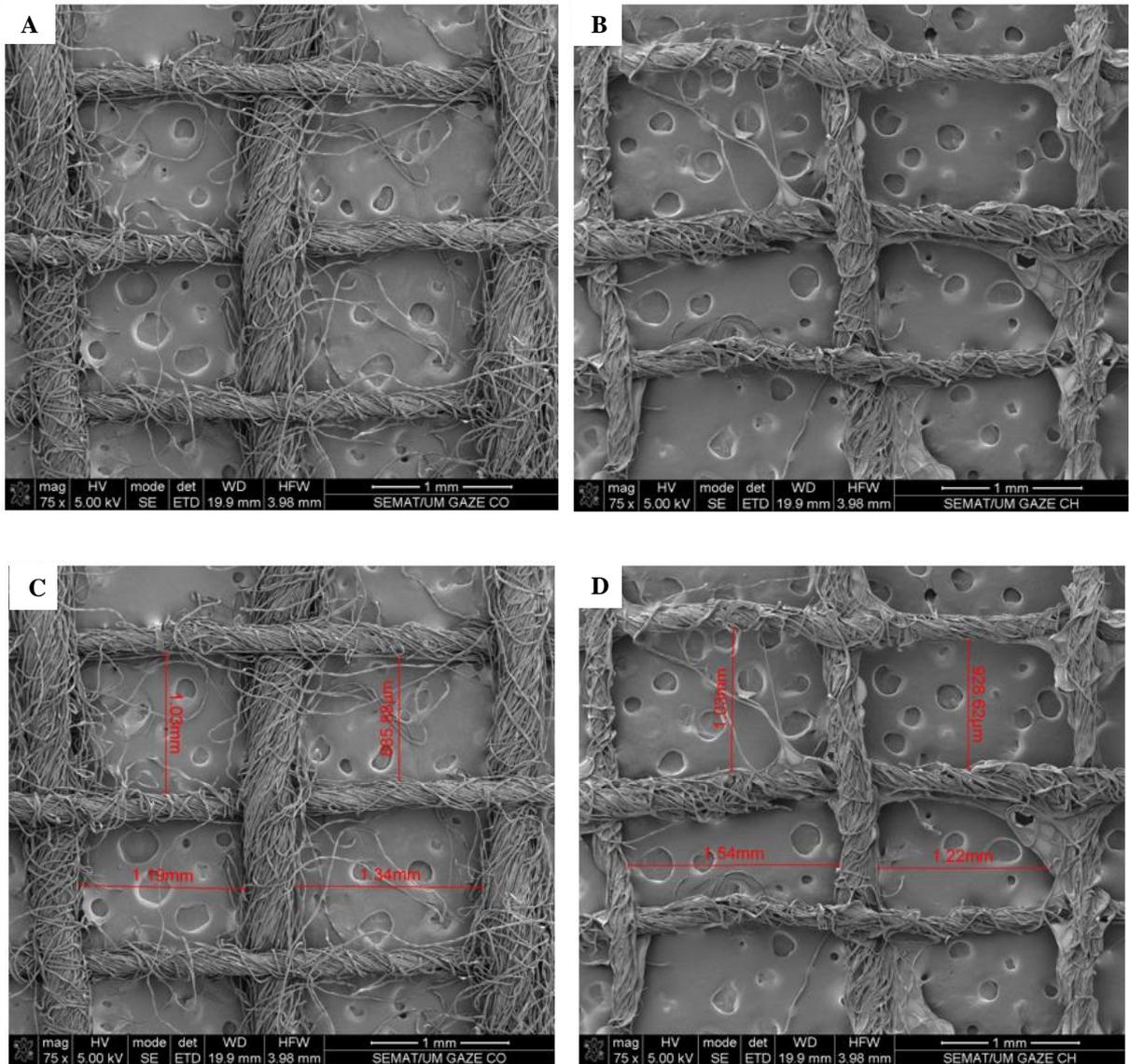


Figura 4.11: A - gaze de controlo (G0); B – gaze G3 (0,125 g quitosano); C - diâmetro dos poros de G0 (gaze de controlo) e D - diâmetro dos poros da gaze G3 (0,125 g quitosano).

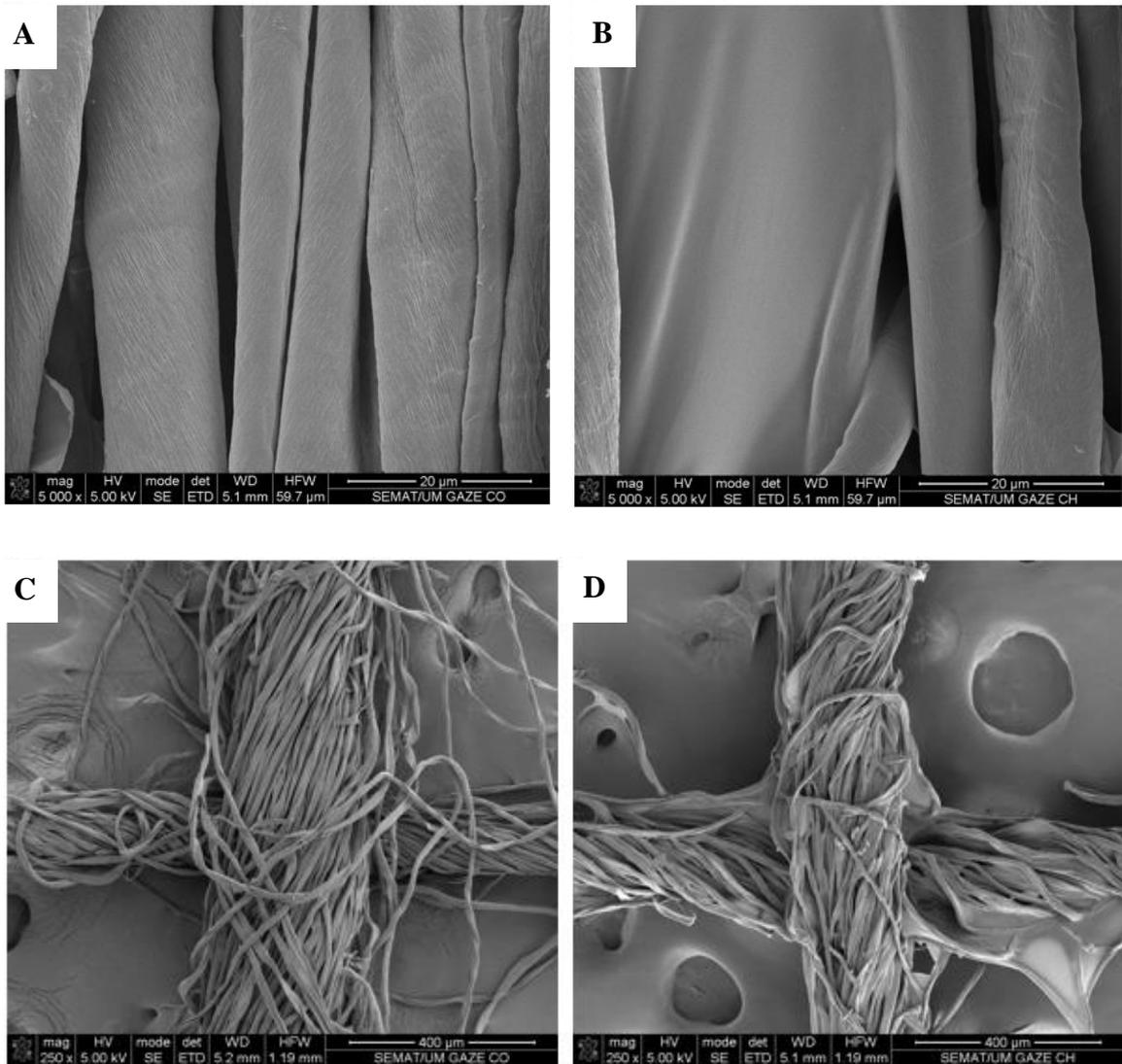


Figura 4.12: A – fibra da gaze controle; B – fibra da gaze revestida; C – fios gaze controle e D – fios da gaze revestida

4.7.2 Análise Termogravimétrica da Amostra Seleccionada

Conforme demonstrado na Figura 4.13 (A), a amostra de controlo G0, apresenta picos de perda de massa. O primeiro encontra-se entre 65-111,6 °C, apresentando uma perda de massa de 3,3%, o que poderá significar perda residual de humidade, uma vez que se trata de algodão, CO. O segundo pico ocorre entre 196,1-383°C, o que reflete uma perda de massa de 83,41%, registrando maior perda a 364,9°C.

Na Figura 4.13 (B), também são apresentados os resultados do TG para a gaze **G3**, com 0,125 g de quitosano, verificando-se uma perda de massa entre 65-112 °C, neste pico ocorre uma perda de 4,83%, referente à perda de humidade. A segunda etapa de perda de massa inicia aos 196°C e eleva-se a 385°C com uma perda de massa equivalente a 73,13%, esta perda deve-se à decomposição térmica e oxidativa do quitosano e regista a maior perda de massa a uma temperatura de 338,7°C. Verifica-se que a estabilidade térmica do têxtil revestido decresce 12,32%, estando claro que o revestimento com a concentração de 0,125 g de quitosano possibilita uma diminuição da estabilidade térmica do têxtil em relação a amostra de controlo **G0**.

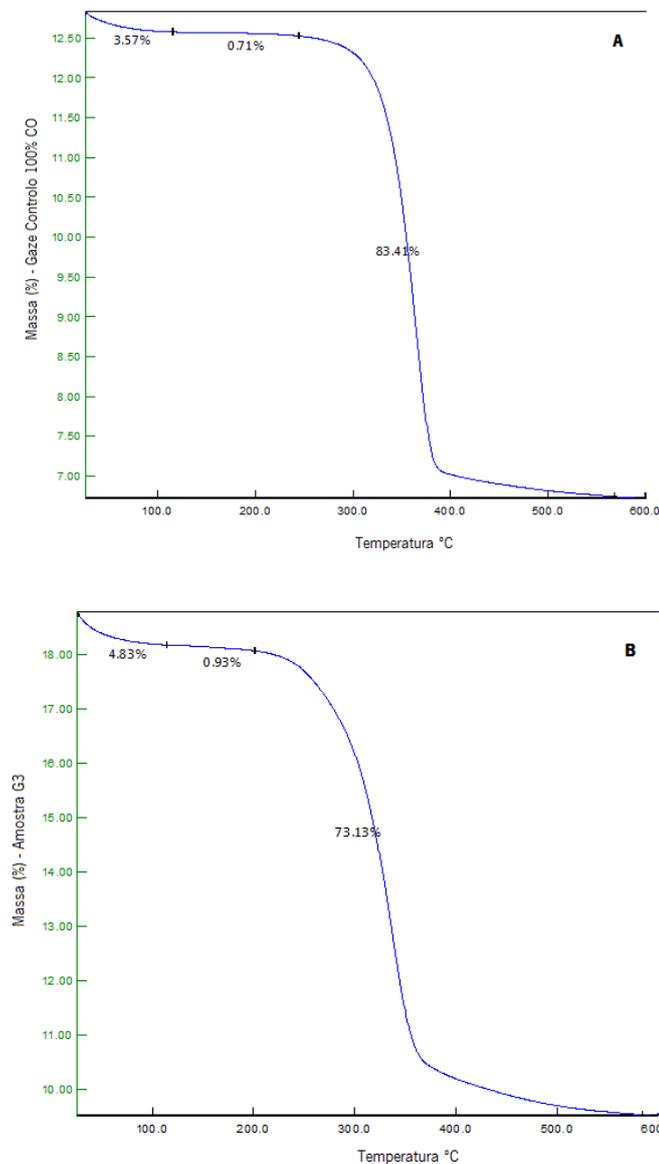


Figura 4.13: Curva TGA para as amostras A - Gaze Control e B - Amostra **G3**.

4.7.3 Análise das Propriedades do Cair e Resistência a Rotura da Amostra Seleccionada

A resistência de rotura no sentido da teia e da trama das amostras de controlo e revestidas, bem como o seu coeficiente do cair são apresentados na Tabela 4.8. Comparando os resultados, verifica-se que o coeficiente de cair apresenta uma rigidez a flexão maior para a amostra revestida **G3**. A amostra de controlo **G0** apresenta um coeficiente do cair de 55,6%, sendo menor quando comparada com a amostra com revestimento seleccionado, a **G3**. Para a propriedade de resistência à rotura, o alongamento no sentido da teia da amostra revestida **G3**, 0,125 g de quitosano, apresenta-se superior em 22,7% e 30% no sentido da trama. A resistência a tração no sentido da teia é superior e no sentido da trama 15,3 % inferior ao da amostra de controlo **G0**. Verifica-se que os fios de trama da amostra **G3** sofreram maior influência no processo de revestimento, tendo a sua resistência a tração diminuída.

Tabela 4.8: Resultados das propriedades do cair e resistência à rotura.

Propriedades	Amostras	
	G0	G3
Coefficiente do Cair – (F)	0,36±0,09	0,79±0,05
Resistência a Tração – Teia (N)	43,3±3,8	43,8±3,8
Resistência a Tração – Trama (N)	86,9±1,6	73,6±3,4
Alongamento – Teia (%)	7,8±1,2	10,1±1,1
Alongamento – Trama (%)	6,3±0,5	9,0±0,3

Na Figura 4,14, em conformidade com os resultados para a propriedade do cair apresentados na Tabela 4.8, como pode ser observado, após à aplicação do revestimento de quitosano na quantidade de 0,125 g, o efeito resistência ao cair da amostra **G3** é maior quando comparado com a amostra de controlo **G0**, sem revestimento, uma vez que o seu coeficiente de cair é de 0,79, portanto próximo de 1, o que indica que a aplicação do revestimento de quitosano possibilitou um aumento da rigidez a flexão.

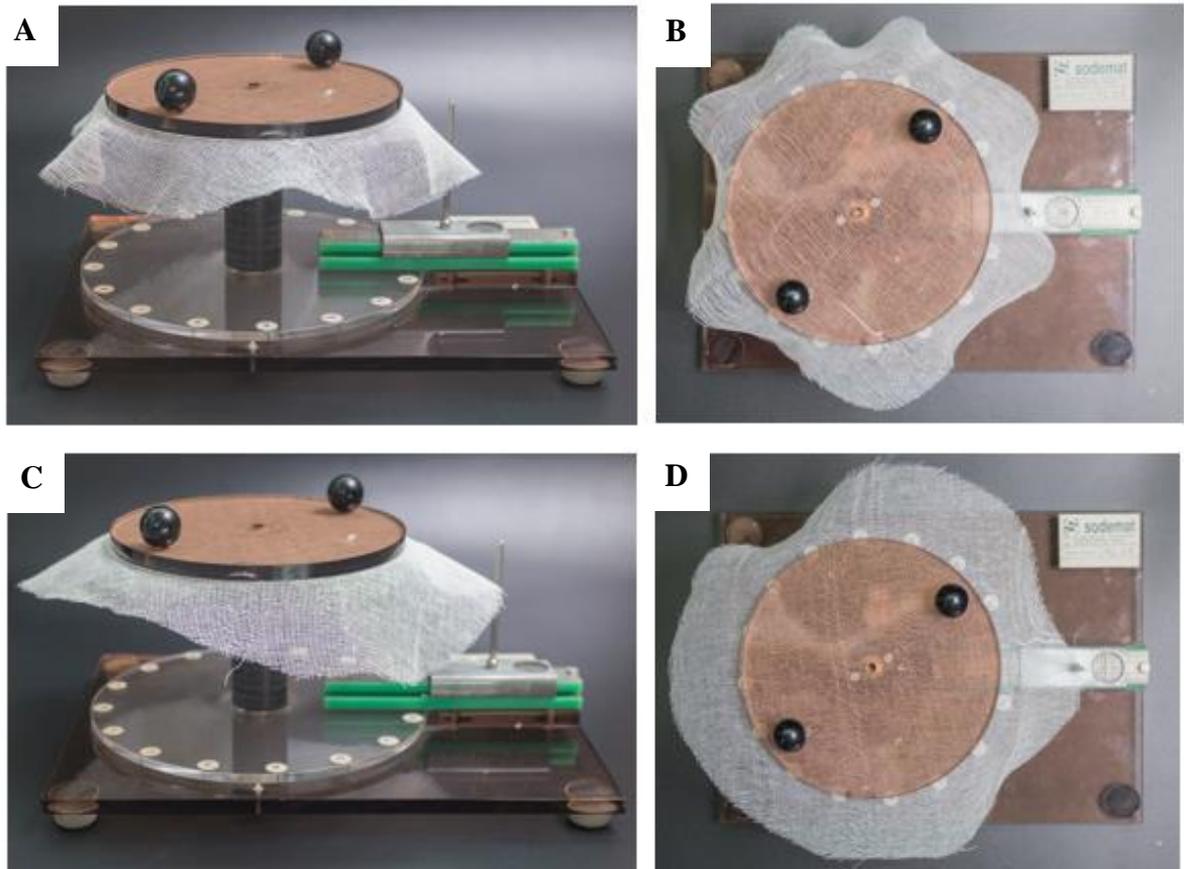


Figura 4,14: A –imagem horizontal da amostra G0; B- Vista superior da amostra G0;
C – imagem horizontal da amostra G3 e D – vista superior da amostra G3.

4.8 Considerações Finais

O desenvolvimento de materiais contendo substâncias com atividade antimicrobiana tem sido implicado em uma variedade de aplicações biomédicas. Os revestimentos, em particular, podem atuar como matriz de substâncias biologicamente ativas e ou imobilizadoras, possibilitando o desenvolvimento de um material multifuncional, visto que pode receber misturas de diferentes polímeros com aplicações diferenciadas.

No trabalho desenvolvido neste capítulo, foi possível produzir soluções de gel de quitosano nas quantidades em peso de 0,063, 0,100, 0,125, 0,250 e 0,500 g. Aplicou-se os revestimentos nas concentrações indicadas e aferir suas propriedades em termos de conforto térmico, capilaridade, absorção de líquido e rigidez a flexão. A amostra **G3**, gaze revestida com 0,125 g de quitosano, foi selecionada mediante a aplicação dos critérios e utilização do *software MatLab*.

Foi ainda possível verificar que, quantidades superiores de quitosano interferem em propriedades como as de transporte e absorção de líquidos, tornando a capacidade do têxtil diminuída, contudo promove maior poder de isolamento térmico.

Conforme a pesquisa realizada neste capítulo é possível concluir que, as gazes com revestimento igual ou abaixo dos 0,125 g de quitosano promoveram condições satisfatória para atuarem como curativos para auxiliarem na cura e cicatrização de feridas. Espere-se que o revestimento selecionado possa cumprir com as atividades ao qual será destinado.

CAPÍTULO 5

5. SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS POLIMÉRICAS

Neste capítulo é demonstrada a síntese das nanopartículas com quitosano e quitosano incorporadas com o óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne. O óleo essencial foi caracterizado através da técnica de termogravimetria e, seus constituintes químicos identificados por GC-MS. As nanopartículas foram sintetizadas através do método de gelificação iônica, sendo realizado primeiramente um estudo para determinação da melhor concentração em (g) de quitosano para incorporação do óleo essencial. Posteriormente foi realizado um outro estudo para determinação do efeito da quantidade de tripolifosfato de sódio na síntese das nanopartículas incorporadas com óleo essencial. Aplicou-se técnicas utilizadas para caracterização das nanopartículas como a microscopia eletrônica, o TGA, DSC, DLS e foram efetuados testes antimicrobianos.

5.1 Biomateriais na Síntese das Nanopartículas Poliméricas

A contaminação por microrganismos é um dos principais problemas de vários setores associados à saúde humana (Lode, 2009). O controle do crescimento bacteriano ou fúngico em tecidos pode ser conseguido recorrendo a polímeros biologicamente ativos (Breitwieser *et al.*, 2013) ou ligando fármacos à superfície do polímero (Kontogiannopoulos *et al.*, 2011). O quitosano, compostos com grupos de nitrogênio quaternário, halaminas e poli- ϵ -lisina (ϵ -PL), são exemplos de polímeros que possuem atividade microbiana inerente. A atividade microbiana pode também ser obtida incorporando biocidas e antibióticos nos polímeros (Muñoz-Bonilla e Fernández-García, 2012).

O quitosano é um dos polímeros mais utilizados devido à sua biocompatibilidade (Zain, 2011). A atividade microbiana do quitosano depende das cargas positivas existentes na superfície, que podem interferir com os resíduos negativamente carregados da superfície celular bacteriana (Li *et al.*, 2008).

Para além dos polímeros, existem também óleos essenciais naturais que possuem componentes antimicrobianos, tais como fenóis e aldeídos, presentes por exemplo no cravo (eugenol) e na canela cinamaldeído (Tepe *et al.*, 2004) e sesquiterpenos como o β -cariofileno, bergamotene e β -elemeno nas

copaíferas (Zimmermam-Franco *et al.*, 2013). As atividades antimicrobianas dos óleos essenciais dependem da concentração utilizada (Wang *et al.*, 2011) e da quantidade eficaz de constituintes antimicrobianos dos óleos na matriz do polímero (Du *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2010).

Nos últimos tempos, a procura crescente por produtos naturais eficazes e seguros tem aumentado o interesse na investigação sobre óleos essenciais e extratos de plantas (De-Souza *et al.*, 2006). Vários trabalhos de investigação descrevem que os óleos essenciais apresentam atividade contra vírus, fungos, protozoários e bactérias. Os seus compostos variam em percentagens de acordo com a espécie, sendo os principais compostos isolados os terpenos e os seus derivados (Solórzano-Santos e Miranda-Novales, 2011).

A combinação dos óleos essenciais ou extratos de plantas nos polímeros acima referidos pode ser uma estratégia interessante no sentido de potencializar o efeito antimicrobiano. Desta forma, o principal objetivo deste capítulo é desenvolver nanopartículas poliméricas de quitosano incorporadas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne para funcionalização de têxteis, destinadas como agente antibacteriano para aplicação em feridas no corpo humano. A ação antimicrobiana dos sistemas desenvolvidos foi testada em microrganismos tais como: *S. aureus* (ATCC 25923), *E. coli* (ATCC 25922) e *C. albicans* (ATCC 10231).

5.2 Caracterização do Óleo Essencial de *Copaífera multijuga* Hayne

5.2.1 Identificação dos Constituintes Químicos por GC-MS

A identificação dos componentes do óleo essencial foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS) através da comparação dos índices de retenção (IR) e da interpretação do padrão de fragmentação dos respetivos espectros de massas com a base de dados para análise no sistema. Apenas foram considerados os espectros com similaridade igual ou superior a 95% referidos na base de dados da literatura. A solução padrão de n-alcenos (C8-C20) foi utilizada para o cálculo do índice de *Kolvats*.

Através da análise por GC-MS foi possível identificar 21 constituintes do óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne, sendo predominantes os sesquiterpenos. Os resultados da análise do espectro total podem ser comparados com os descritos na literatura para o género *Copaífera* (Zoghbi *et al.* 2009;

Herrero-Jáuregui *et al.* 2011; Soares *et al.* 2013 e Zimmermam-Franco *et al.* 2013), constatando-se os espectros similares de 90,30%, 96,40%, 93,09% e 96,50% para os constituintes identificados respetivamente.

A amostra apresentou um espectro total de similaridade de 95,14%, sendo que os constituintes identificados com maior percentagem são: β -cariofileno (41,90%), nomeadamente o maioritário (Veiga-Junior *et al.*, 2007; Pascoal *et al.*, 2017; Svetlichny *et al.*, 2017), α -Bergamoteno (17%) e α -humuleno (6,70%). Os percentuais para o espectro total e para o constituinte maioritário já referido, podem apresentar variações em seus percentuais do espectro total como descrevem (Veiga-Júnior *et al.*, 2007; Kobaiashi *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2012 e Dias *et al.*, 2012): registando os espectros totais de 85,50%, 98,40%, 95,98% e 90,39% e também para o constituinte maioritário 57,50%, 36%, 40,81% e 29,82%, respectivamente.

Na Figura 5.1, podem ser observadas as estruturas químicas dos três constituintes maioritários identificados para o óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne.

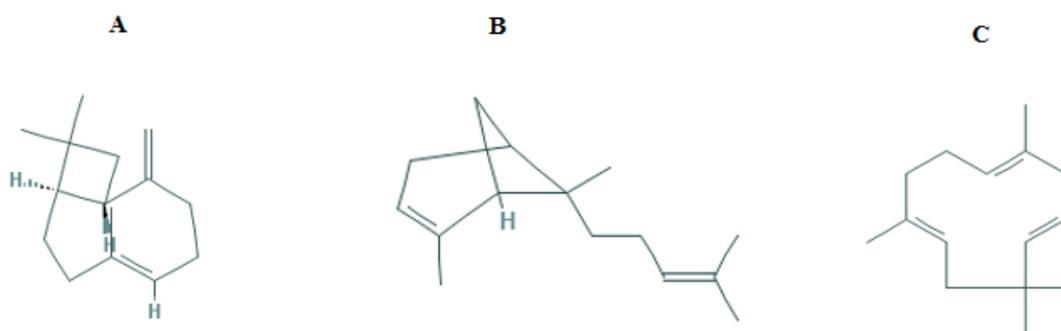


Figura 5.1: Constituintes maioritários do óleo de *Copaífera multijuga* Hayne, A - β -cariofileno; B - α -Bergamoteno e C - α -humuleno.

Os resultados da análise demonstram que, apesar das diferenças encontradas na percentagem em termos quantitativos, o referido óleo essencial possui os constituintes reportados na literatura. A percentagem do constituinte maioritário para óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne encontra-se também dentro do intervalo de valores para os parâmetros de percentagem estabelecidos.

A Tabela 5.1 mostra os resultados obtidos através da análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

Tabela 5.1: Constituintes identificados do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne.

Constituintes	IR	Área (%)
δ -elemeno	1337	0,50%
α -cubebene	1347	0,60%
α -copaeno	1390	4,50%
β -elemeno	1391	3,10%
α -gurjuneno	1411	0,40%
β -cariofileno	1419	41,90%
alpha.-Bergamoteno	1436	17,00%
Trans.-Beta.-Farnesene	1458	0,60%
α -humuleno	1454	6,70%
aromadendreno	1441	0,30%
α -amorfenos	1485	2,10%
germacrena-D	1489	3,20%
β -selineno	1491	0,50%
beta.-Bisaboleno	1509	5,40%
δ -cadineno	1524	0,80%
γ -cadineno	1515	1,70%
germacrena-B	1559	2,90%
óxido de cariolifeno	1582	6,30%
δ -Cadinol	1636	0,30%
<i>Spathulenol</i>	1576	0,50%
Eudesm-7(11)-en-4-ol	1691	0,70%
Total		95,14%

5.2.2 Propriedades Térmicas do Óleo Essencial de *Copaifera Multijuga* Hayne

5.2.2.1 Análise Termogravimétrica

O óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne apresenta uma perda de massa de 87% até à temperatura de 275 °C. A perda de massa ocorre em duas etapas, sendo a primeira próxima dos 275 °C e a segunda após os 300 °C quando ocorre a degradação (dos Passos Menezes *et al.*, 2016). A curva de TGA do óleo essencial de copaíba apresenta o processo de degradação em três fases distintas: na primeira fase ocorre a vaporização da fração volátil, na segunda entre os 238-245°C ocorre o ponto de ebulição da fração sólida e na terceira (a partir dos 300°C) ocorre a degradação das substâncias remanescentes (Diniz e Bonzanini, 2005). Através da análise termogravimétrica foi possível identificar a ocorrência de três fenômenos endotérmicos, como pode ser verificado na Figura 5.2. No primeiro momento, entre os 42 °C e os 167 °C, o referido óleo sofreu uma perda de massa de 68,43%. Uma segunda perda de massa 26,52 %, ocorreu entre 194 °C e 274 °C e, uma terceira perda de massa equivalente a 4,77% ocorreu entre 304 °C e 420 °C. Os resultados estão próximos dos apresentados pelos autores acima referidos.

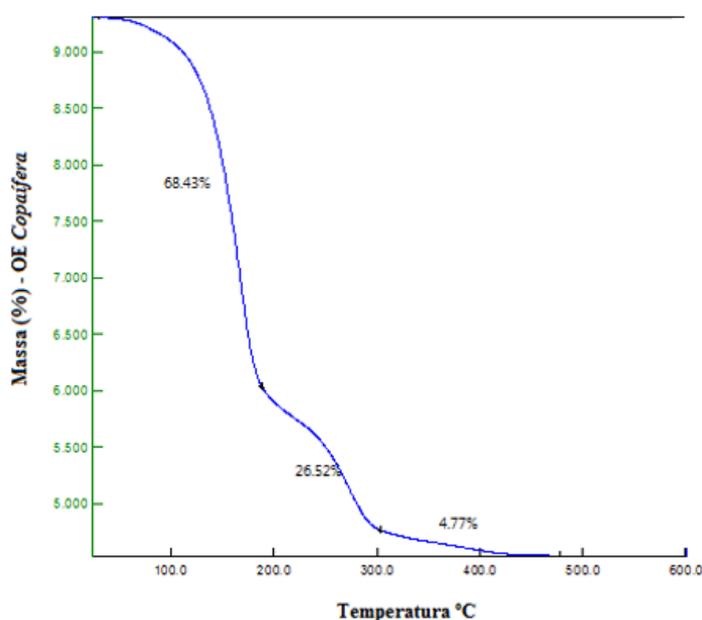


Figura 5.2: Termogravimetria do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne.

5.3 Estudo das Diferentes Concentrações de Quitosano na Síntese das Nanopartículas

Neste estudo preliminar, utilizou-se a técnica de gelificação iônica para o processo de síntese das nanopartículas de quitosano. O método executado e descrito neste capítulo foi elaborado através da análise dos métodos de síntese descritos por Calvo *et al.* (1997); Chen *et al.* (2009) e Neves *et al.* (2014). Inicialmente, avaliou-se a influência das proporções do polímero quitosano (DDD 85%, ChitoClear hq 95-43000, Mw = 350 kDa) na formação das nanopartículas. Posteriormente, foi determinada a melhor concentração para incorporação do óleo essencial.

Através da análise da Figura 5.3 é possível identificar as diversas fases da preparação/síntese das nanopartículas. A solução **A** apresenta um aspecto transparente típico do gel de quitosano, em **B**, a solução é turva devido à formação das nanopartículas de quitosano. Em **C**, observa-se que a solução apresenta um aspecto “leitoso”, devido à formação das nanopartículas de quitosano com óleo de *Copaífera multijuga* Hayne incorporado.

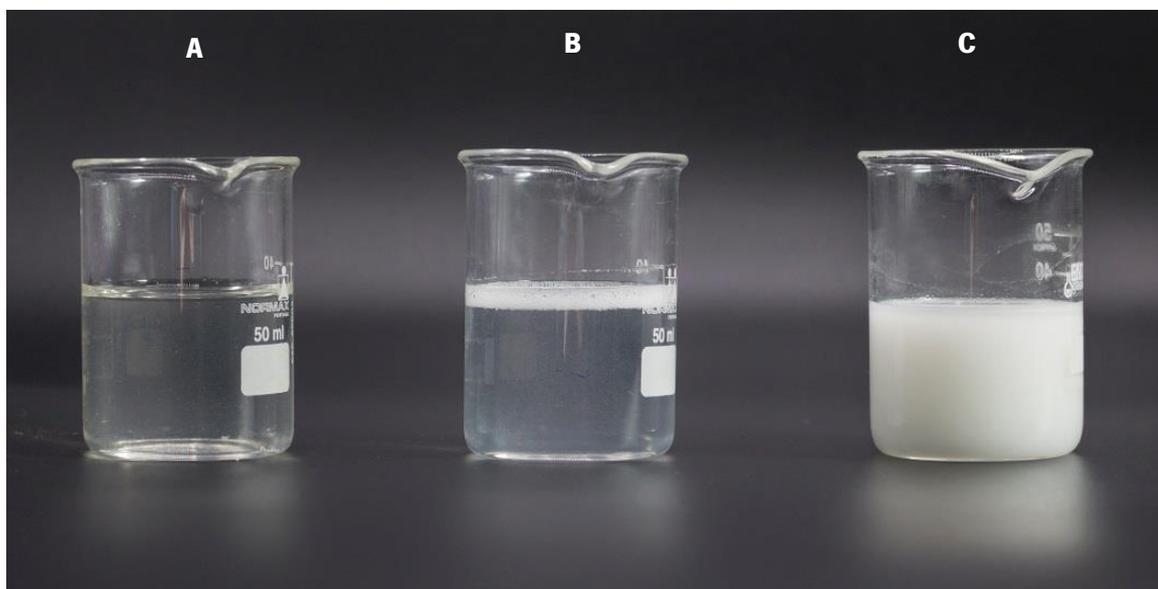


Figura 5.3: A - solução de quitosano, B – solução de nanopartículas de quitosano e C – solução de nanopartículas de quitosano e óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne.

Está descrito que o aumento da concentração de quitosano no processo de síntese promove um aumento do diâmetro das nanopartículas obtidas (Calvo *et al.*, 2007; Morris *et al.*, 2011; Sarwar, Katas e Zin, 2014). Um dos parâmetros que permite avaliar esse aumento é a determinação do potencial zeta. O potencial zeta das nanopartículas tende a aumentar com a utilização de uma maior concentração de quitosano, atribuído ao aumento dos grupos protonados do quitosano e dos grupos NH_3 (Liu e Gao, 2009; Rodrigues *et al.*, 2012). O baixo índice de polidispersão indica uniformidade no diâmetro das nanopartículas e, dispersões com PDI abaixo de 0,3 indicam alta homogeneidade no tamanho das nanopartículas (Zhang e Kosaraju, 2007).

Apresenta-se na Tabela 5.2 as características das nanopartículas obtidas através das condições estabelecidas no processo de síntese por gelificação iônica, para as diferentes concentrações de quitosano utilizadas. O processo de síntese por gelificação iônica produziu nanopartículas de quitosano com potencial zeta de carga positiva, sendo que as nanopartículas apresentaram proporções diferenciadas para o seu tamanho. Observa-se que com a concentração **CS1** (0,250 g de quitosano), obtiveram-se nanopartículas com tamanho médio de 270,6 nm, sendo o menor diâmetro entre as soluções testadas, o que significa uma percentagem de 45,80% menor com relação a amostra com maior diâmetro. A amostra **CS3** (0,750 g de quitosano) apresenta nanopartículas com um tamanho médio da ordem dos 498,7 nm. A **CS1** apresenta o menor potencial zeta, 14,10% inferior, bem como uma menor polidispersão 71,40% inferior à amostra de maior resultado: **CS4**, 1 g de quitosano.

Tabela 5.2 - Características das nanopartículas para as diferentes razões de quitosano.

Amostras	Características					
	Tamanho (nm)	Varição (%)	Polidispersão (PDI)	Varição (%)	Potencial zeta (mV)	Varição (%)
CS1 0,25	294,2±0,07	-	0,26±0,07	-	31,6±0,5	-
CS2 0,50	309,9±48,3	5,00%	0,54±0,00	51,80%	33,0±1,4	4,20%
CS3 0,75	498,7±17,7	41,00%	0,49±0,01	46,90%	34,4±5,7	8,13%
CS4 1,00	325,2±41,7	9,50%	0,91±0,03	71,40%	36,8±4,2	14,10%

Através da Tabela 5.2 é possível observar um aumento do potencial zeta das nanopartículas com o aumento da concentração de quitosano, tal como referido na literatura. Comprova-se portanto que quanto maior a concentração de quitosano, maior é o potencial zeta da amostra. Contudo, para a polidispersão e tamanho, a razão do aumento não é diretamente proporcional. Através da análise de todas as amostras, conclui-se que as nanopartículas produzidas na concentração de 0,250 g de quitosano com 10 mL de TPP apresentam os melhores resultados: menor diâmetro, menor índice de polidispersão e potencial zeta superior a 30 (mV).

A Figura 5.4 apresenta a distribuição do tamanho e volume das nanopartículas produzidas na concentração de 0,250 g de quitosano com 10 mL de TPP, A análise da amostra **CS1**, 0,250 g de quitosano revela que as nanopartículas apresentam na sua maioria um tamanho homogêneo, identificando-se um pico no espectro. Em termos da análise para o volume, um único pico também foi identificado, apresentando um volume de 19,60% de nanopartículas com diâmetro de 342 nm.

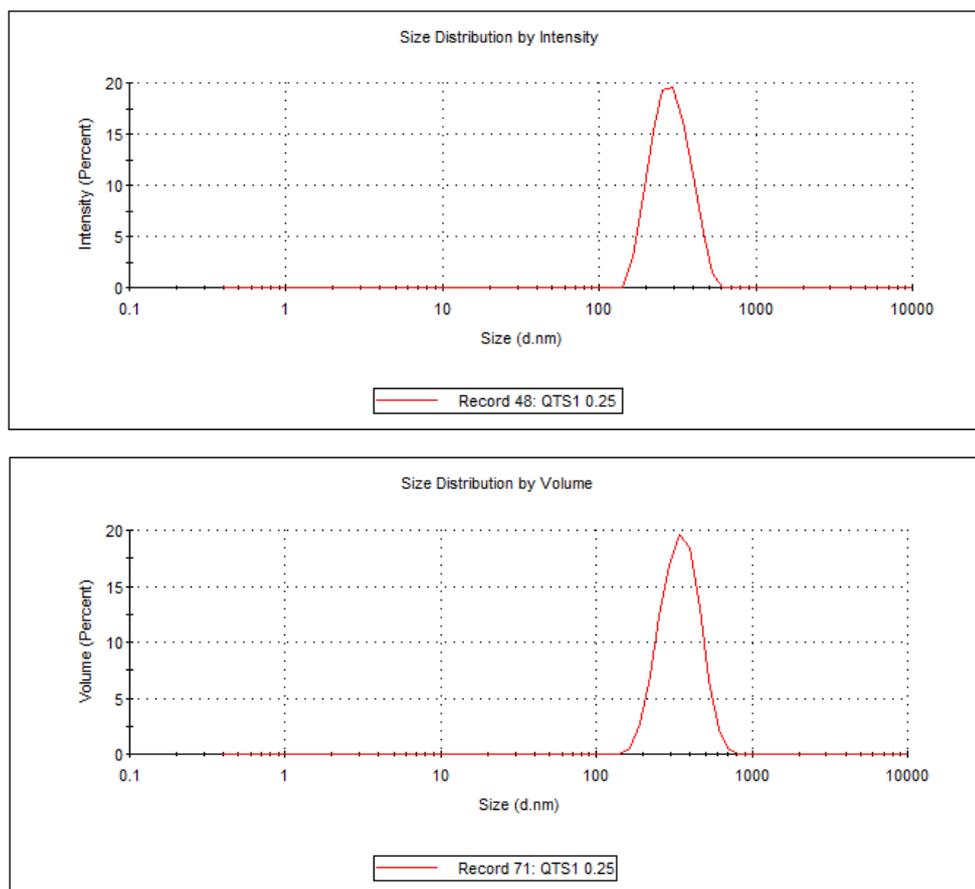


Figura 5.4: distribuição do tamanho e volume das nanopartículas de quitosano na concentração de 0,250 g.

A uniformidade no diâmetro de grande parte das nanopartículas de quitosano da amostra **CS1**, confirma-se também através do baixo índice de polidispersão obtido ($PDI=0,26$) entre as várias condições testadas indicando uma alta homogeneidade no que se refere ao diâmetro das partículas presentes na solução. A Figura 5.5 apresenta o potencial zeta da amostra **CS1**, 0,250 g de quitosano. Mesmo analisando a amostra com menor concentração de quitosano o potencial zeta apresenta um valor superior a 30 mV.

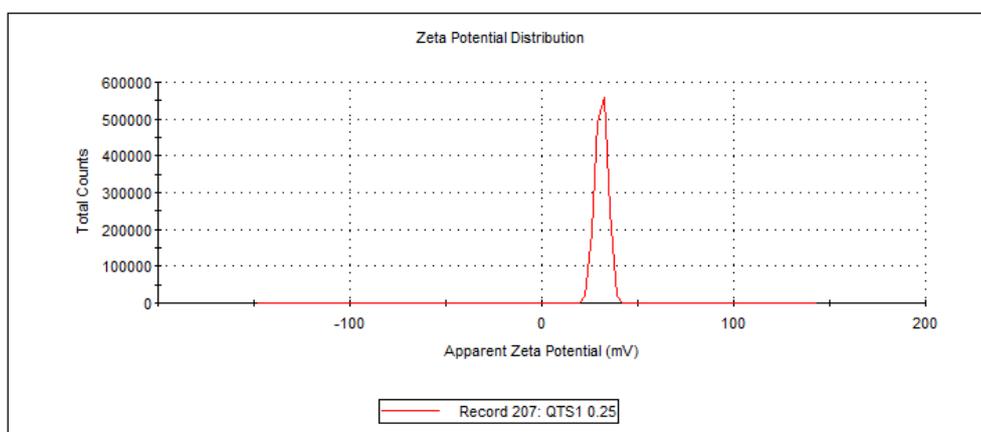


Figura 5.5: Distribuição do potencial zeta das nanopartículas de quitosano na concentração de 0,250 g.

As nanopartículas de quitosano produzidas através do método de gelificação iônica apresentam formatos esféricos (Yoksan, Jirawutthiwongchai e Arpo, 2010; Fan *et al.*, 2012; Rampino *et al.*, 2013; Rudzinski *et al.* 2016) e arredondados (Avadi *et al.*, 2010; Santo Pereira *et al.*, 2017). Como pode se visto na Figura 5.6, as nanopartículas produzidas na concentração de 0,250 g de quitosano apresentam na sua grande maioria o formato esférico, variação de tamanho, portanto heterogeneas, ausência de formação de agregados e uma dispersão considerável. O tamanho das nanopartículas também foi caracterizado através de microscopia eletrônica de transmissão, STEM. Em **A** e **B** podem ser visualizadas nanopartículas nas resoluções de 20,000X, em **C** 50,000X e em **D** 100,000X.

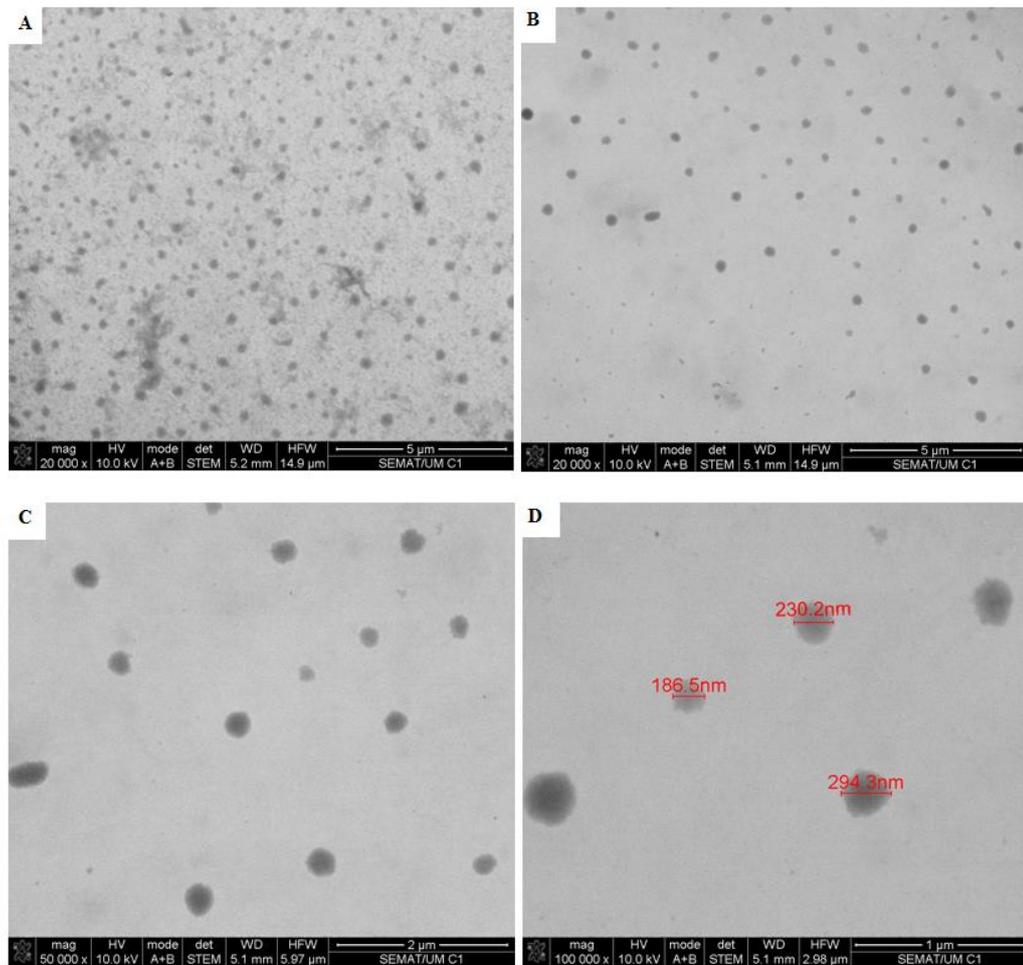


Figura 5.6: Imagens de STEM das nanopartículas de quitosano **A** e **B** 20,000X, **C** 50,000X e **D** 100,000X.

5.4 Estudo das Diferentes Concentrações de Tripolifosfato de Sódio na Formação das Nanopartículas

A relação entre quitosano e tripolifosfato de sódio (TPP) é um parâmetro crítico que controla a distribuição das nanopartículas, assim como o tamanho, uma vez que influencia a performance biológica das nanopartículas de quitosano (Papadimitriou *et al.*, 2008). Tendo em conta que a interação eletrostática entre o TPP e o quitosano é afetada pela sua concentração, as nanopartículas com carga de superfície superior a 30 (mV) são consideradas mais estáveis e este valor é suficiente para evitar a agregação das partículas (Yen *et al.*, 2012). As nanopartículas de quitosano apresentam um potencial zeta maior quando comparadas com as nanopartículas com óleo essencial incorporado (Raafat *et al.*, 2008). Existe uma relação direta entre o tamanho da partícula e a massa de óleo incorporada, isto é, pode existir um aumento do tamanho e diminuição do potencial zeta (Chen *et al.*, 2009). Esta redução do potencial zeta pode ocorrer através da neutralização de algumas das cargas positivas na superfície das nanopartículas

que podem ser provocadas pela adsorção de excesso do constituinte (Lee, Kim e Lee, 2010; Panwar *et al.*, 2016).

O efeito da concentração de TPP juntamente com a adição do óleo essencial na carga superficial e tamanho das nanopartículas está demonstrado na Tabela 5.3. Verifica-se que o tamanho, polidispersão e potencial zeta sofreram alterações com a incorporação do óleo e aplicação de menores concentrações de TPP. Observou-se um aumento significativo dos índices de polidispersão das nanopartículas com a diminuição das concentrações de TPP, contudo, a redução da polidispersão é exibida pela amostra CSNP'sOE6, com adição de 4,1 mL de TPP.

A síntese das nanopartículas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne também gerou nanopartículas com potencial zeta positivo, onde o menor valor foi obtido para a amostra **CSNP'sOE6**, 20,4 mV e, o mais alto para **CSNP'sOE5**, 30,3 mV, embora **CSNP'sOE 1**, pode ser considerada a amostra que apresentará maior estabilidade por ter um PDI de 0,7. No entanto, verificou-se que é visível na amostra **CSNP'sOE5** a presença de óleo na superfície da referida amostra pois a baixa concentração de TPP contribuiu para o aumento do potencial zeta, mais o nível de incorporação de óleo nas nanopartículas foi afetado. Conclui-se que a razão ideal para a síntese das nanopartículas com óleo essencial está na utilização de 0,250 g de quitosano e 10 mL de TPP, que embora apresente uma polidispersão de 0,7, possibilitou a formação de nanopartículas com um diâmetro 4,6% superior quando comparado com a razão de concentração utilizada para o quitosano sem óleo de *Copaífera*.

Tabela 5.3: Características das nanopartículas de quitosano com óleo para as diferentes concentrações de TPP.

Amostras	Tripolifosfato de Sódio – TPP (mL)	Tamanho (nm)	Polidispersão (PDI)	Potencial Zeta (mV)
CSNP's1	10	294,2±0,07	0,26±0,07	31,6±0,5
CSNP'sOE1	10	308,9±12,37	0,70±0,04	26,1±1,0
CSNP'sOE2	8	471,9±44,68	0,80±0,04	29,9±3,8
CSNP'sOE3	6,40	441,8±37,54	0,70±0,08	23,3±2,2
CSNP'sOE4	5,10	518,1±45,60	0,70±0,16	21,7±0,7
CSNP'sOE5	4,10	389,9±23,61	0,50±0,02	30,3±0,6
CSNP'sOE6	3,20	802,3±113,27	0,90±0,03	20,4±0,7

A concentração de quitosano em relação à concentração de TPP não afetou a estabilidade das nanopartículas com óleo incorporado, embora a variação da concentração de TPP tenha produzido diferentes tamanhos, formando nanopartículas com dimensões variadas. Pode ser observado na Figura 5.7, que apesar dos valores de PDI terem quase triplicado, a amostra **CSNP'sOE 1**, 0,250 g de quitosano com óleo essencial, apresenta um pico único com relação ao tamanho e ao volume.

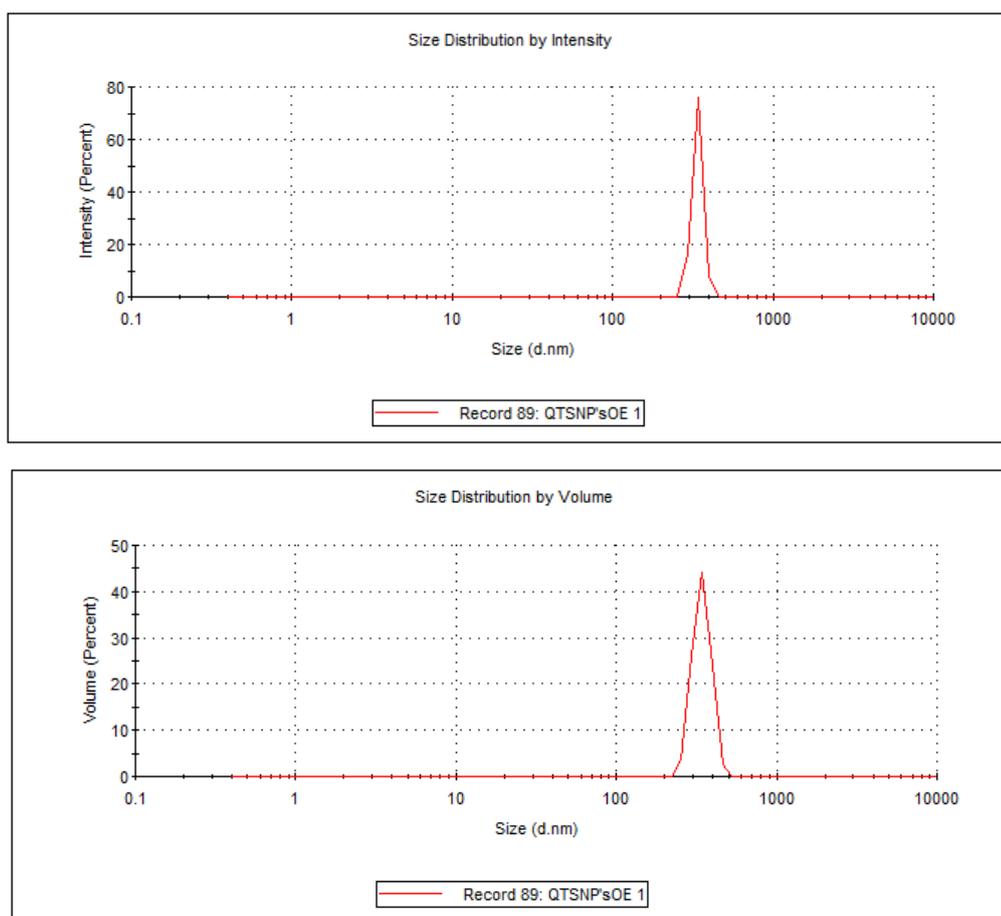


Figura 5,7: distribuição do tamanho e volume das nanopartículas de quitosano com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne na concentração de 0,250 g.

A Figura 5.8 apresenta os resultados do DLS para o potencial zeta, verifica-se que a amostra **CSNP'sOE1** apresenta também um pico único com relação ao volume de nanopartículas.

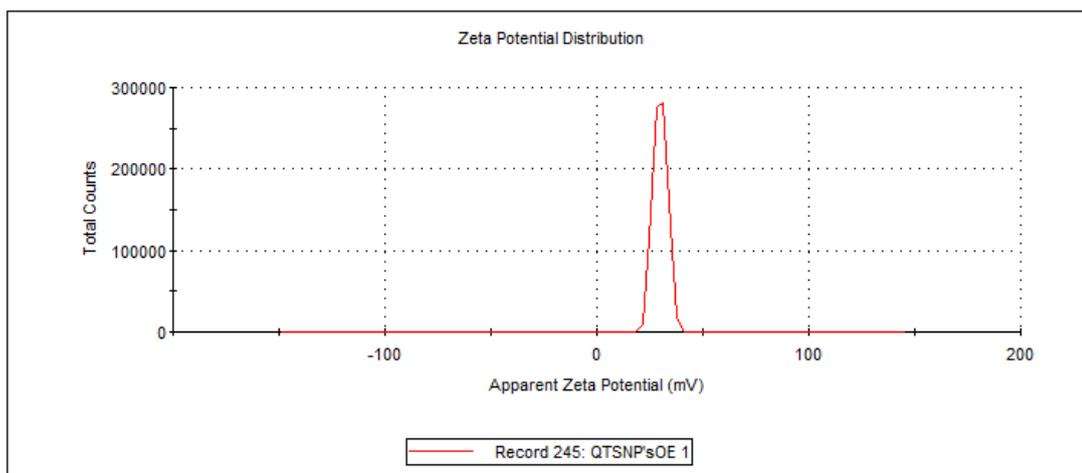
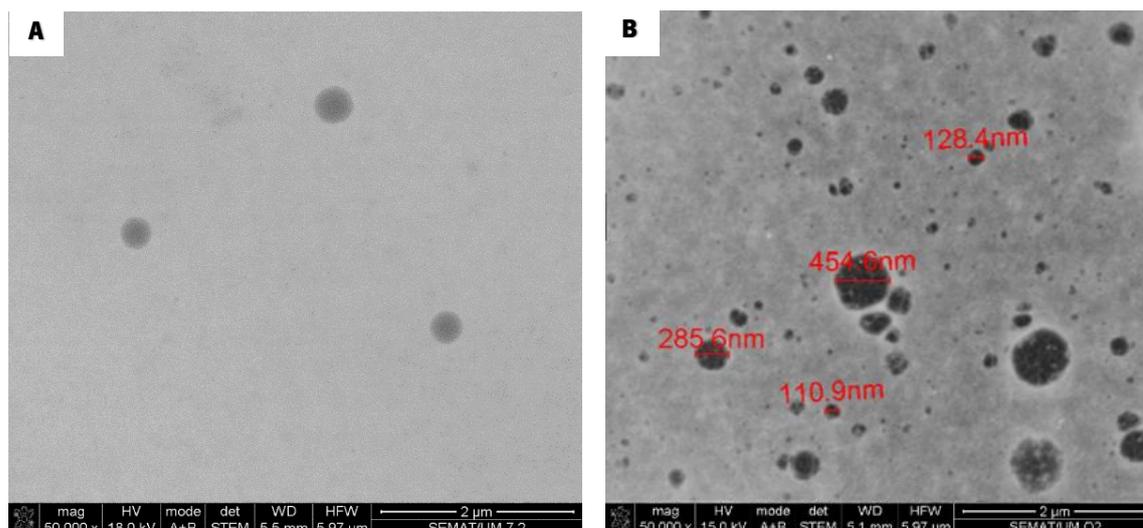


Figura 5,8: distribuição do potencial zeta das nanopartículas de quitosano com óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne na concentração de 0,250 g.

5.4.1 Análise Morfológica das Nanopartículas Poliméricas de Quitosano com Óleo de *C. multijuga*

Foi observado em estudos desenvolvidos por Lee *et al.* (2009); Kunjachan, Jose e Lammers, (2014); Ilk *et al.* (2017), que o formato esférico das nanopartículas de quitosano produzidas no processo de gelificação iônica se mantém, mesmo com a incorporação de extratos destinados à bioatividade.

Como pode ser visualizado na Figura 5.9, as nanopartículas de quitosano produzidas com óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne apresentam formato esférico e uma dispersão considerável, mesmo com a diminuição do seu potencial zeta, verificando-se que não existe a presença de aglomerados.



5.9: Imagens de STEM das nanopartículas - **(A)** nanopartículas de quitosano e **(B)** nanopartículas com óleo.

5.4.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR

Pelo método de gelificação iónica, a formação das nanopartículas pode ser confirmada pelo deslocamento das bandas do quitosano de 1657 e 1576 cm^{-1} para 1643 e 1536 cm^{-1} . Estas bandas são atribuídas aos grupos CONH_2 e NH_2 , respectivamente, onde podem ocorrer as ligações entre os grupos fosfato da molécula de tripolifosfato de sódio com os grupos do quitosano (Hu *et al.*, 2008; Papadimitriou *et al.*, 2008; Neves *et al.*, 2014).

O espectro do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne apresenta as suas bandas características, sendo a 2926 cm^{-1} e 2856 cm^{-1} referentes às ligações C-H, 1693 cm^{-1} referente as ligações C=O, 1641 cm^{-1} referente a C=C, 1446 cm^{-1} referente a ligação assimétrica C-H do grupo metil, 1365 cm^{-1} referente a ligação simétrica C-H do grupo metil e, 887 cm^{-1} referente a ligação C-H do grupo alceno (Abarca *et al.*, 2016). O espectro do β -cariofilleno apresenta bandas características nas regiões de infravermelho 3300 cm^{-1} da ligação O-H, 2925 cm^{-1} da ligação C-H, 1151 cm^{-1} do estiramento simétrico C-O-C e 1023 cm^{-1} do estiramento assimétrico C-O-C (Passos *et al.*, 2013; Abarca *et al.*, 2016).

Tendo em conta o espectro do quitosano e das nanopartículas de quitosano, a formação das nanopartículas é confirmada pelo deslocamento das bandas a 1650 e 1433 cm^{-1} do quitosano para 1637 e 1413 cm^{-1} para as nanopartículas de quitosano. Relativamente ao espectro das nanopartículas com óleo essencial confirma-se a presença do referido óleo através da identificação das bandas 2925 e 2854

cm^{-1} referentes à ligação C-H com menos intensidade do constituinte maioritário β -cariofilleno, o deslocamento da banda 1691 para 1644 cm^{-1} e, a presença da banda 887 cm^{-1} .

A Figura 5.10 apresenta o espectro de infravermelho do pó de quitosano, das nanopartículas de quitosano sintetizadas, assim como as nanopartículas com óleo incorporado e o espectro do óleo essencial utilizado.

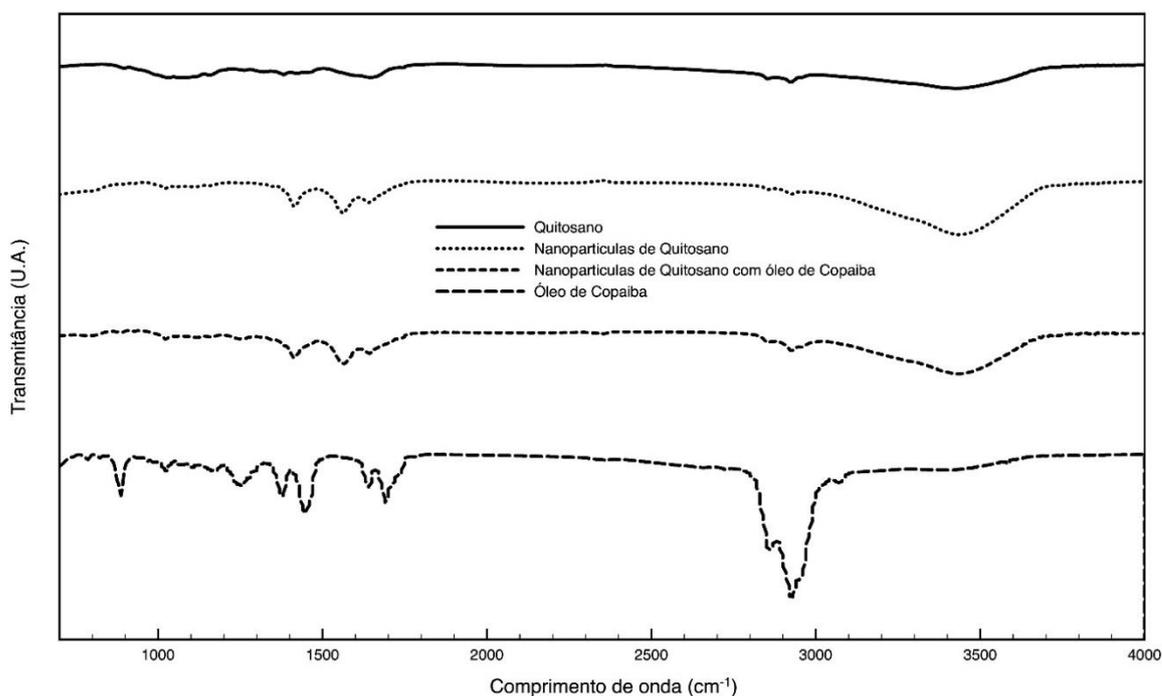


Figura 5.10: Espectros de FTIR para o quitosano, nanopartículas de quitosano, nanopartículas de quitosano com óleo e o respectivo óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne.

5.5 Propriedades Térmicas das Nanopartículas

5.5.1 Análise Termogravimétrica das Nanopartículas - TGA

Diversos estudos indicam que os valores de temperatura para a decomposição do quitosano se encontram entre os 300 e os 400°C (Mohammed, Williams e Tverezovskaya, 2013); 242°C (Kumar *et al.*, 2016); 332°C (Laus, *et al.*, 2010), e 323°C (Neves *et al.*, 2014). As análises termogravimétricas revelaram que o evento térmico entre os 150 e os 250°C para o quitosano puro, sem reticulação é atribuído à perda de ligação de hidrogénio (Le Tien *et al.*, 2003). Uma perda inicial de peso para as

nanopartículas de quitosano e TPP entre os 150 e os 250 °C pode ser atribuída à desidratação dos anéis dos sacarídeos, enquanto a decomposição do segundo estágio variando de 275 a 450 °C, pode ser o resultado de processos complexos, incluindo despolimerização e decomposição do grupo cetil e unidades desacetiladas do polímero (Mathew e Abraham, 2008).

Conforme pode ser observado na Figura 5.11, verifica-se que para a amostra testada, a temperatura de decomposição foi de 302,8 °C. A perda de massa para o quitosano ocorreu em duas fases. A primeira fase está relacionada com a perda de água contida na amostra, equivalente a 3,80% e, a segunda fase está relacionada à perda de massa do polímero, 58,40%. Na Figura 5.11 B, referente às nanopartículas de quitosano, observa-se que a perda de massa ocorreu também em três fases, a primeira está relacionada com a perda de água ainda contida na amostra, na segunda ocorreu a desidratação das nanopartículas com uma perda de 23,66% e na terceira ocorreu a degradação da amostra, com a perda de massa equivalente a 20,45% sendo que a temperatura de decomposição das nanopartículas foi de 262 °C.

As nanopartículas incorporadas com óleo essencial (Figura 5.11 C) apresentaram um perfil de comportamento térmico diferente em relação às nanopartículas de quitosano. Na primeira fase a perda foi de 19,79%, na segunda fase foi de 19,79% e na terceira fase a perda devido à degradação do polímero foi de 32,27%. Contudo, as nanopartículas com óleo essencial apresentaram um aumento na temperatura máxima de degradação, para 267,80 °C, em relação às nanopartículas de quitosano.

Verifica-se uma redução da estabilidade térmica das nanopartículas de quitosano e nanopartículas incorporadas com óleo de *Copaífera* em comparação com o quitosano, devido à introdução dos grupos fosfato do TPP. Contudo, as nanopartículas com óleo essencial demonstraram ter maior estabilidade térmica quando comparadas com as nanopartículas de quitosano.

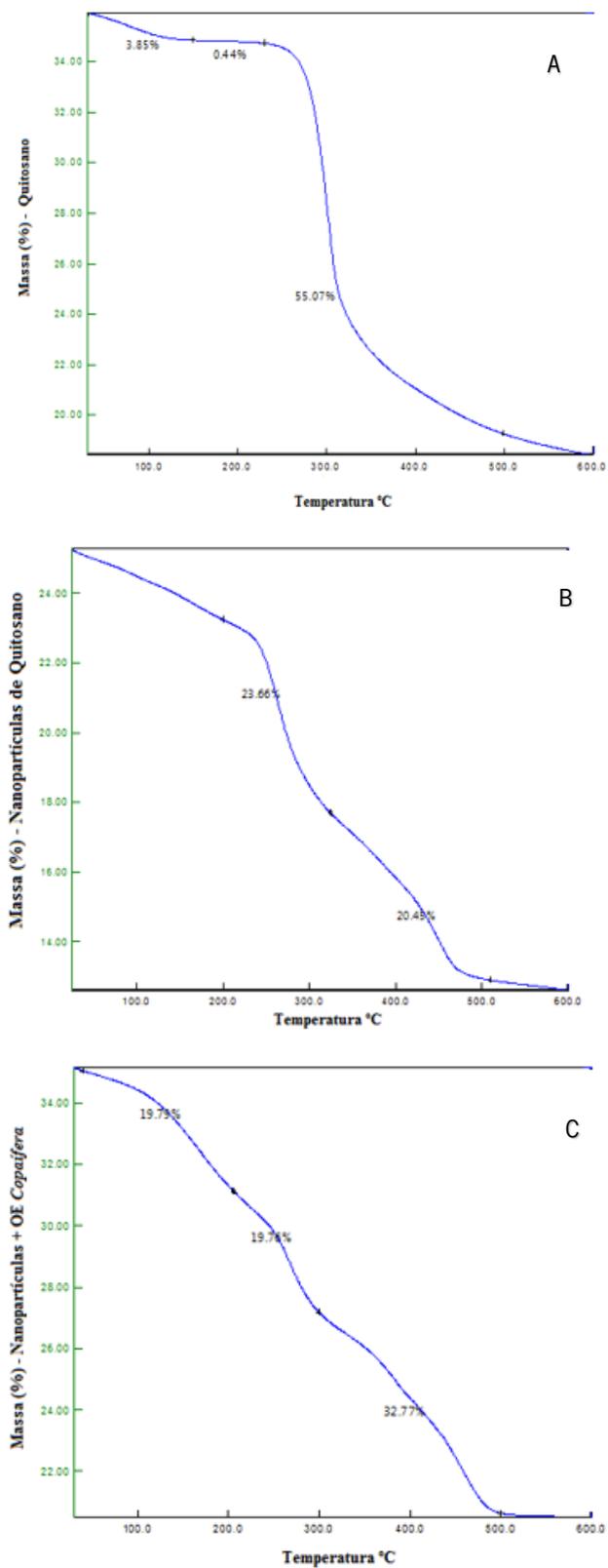


Figura 5.11: análise termogravimétrica do quitosano (A), nanopartículas de quitosano (B) e nanopartículas com óleo (C).

5.5.2 Calorimetria Exploratória Diferencial das Nanopartículas - DSC

DSC é uma técnica utilizada para determinar a temperatura de transição de fases e a entalpia durante uma determinada faixa de temperaturas, indicando uma perda de água ligada ao início fase de transição para fusão (Zhang *et al.*, 2014). O quitosano *in natura* apresenta o pico endotérmico de transição para fase de fusão aos 68 °C (Emami, Boushehri e Varshosaz, 2014). As nanopartículas de quitosano apresentaram um pico endotérmico em torno dos 70 °C (Panwar *et al.*, 2016) e 101 °C (Bagre, Jain e Jain, 2013). Nanopartículas de quitosano produzidas com TPP apresentaram picos endotérmicos aos 199 °C (Santo Pereira *et al.*, 2017).

O DSC foi usado para verificar a variação das propriedades cristalinas dos biomateriais, nomeadamente o óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, o quitosano *in natura*, as nanopartículas de quitosano e as nanopartículas de quitosano com óleo, tal como demonstrado na Figura 5.12. A curva de DSC do óleo (A) mostrou um pico endotérmico à volta dos 46,7 °C, correspondente ao processo de volatilização do óleo e um segundo por volta dos 184,5 °C, correspondente ao processo de degradação da essencial. O polímero quitosano (B) apresentou um pico endotérmico aos 302,8 °C, as nanopartículas de quitosano (C) aos 319 °C e as nanopartículas de quitosano com óleo essencial (D) apresentaram um pico endotérmico aos 323 °C.

Verifica-se que as nanopartículas com óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne são mais cristalinas e apresentam maior estabilidade térmica em relação às nanopartículas produzidas apenas com o quitosano pois o único pico endotérmico apresentado é superior.

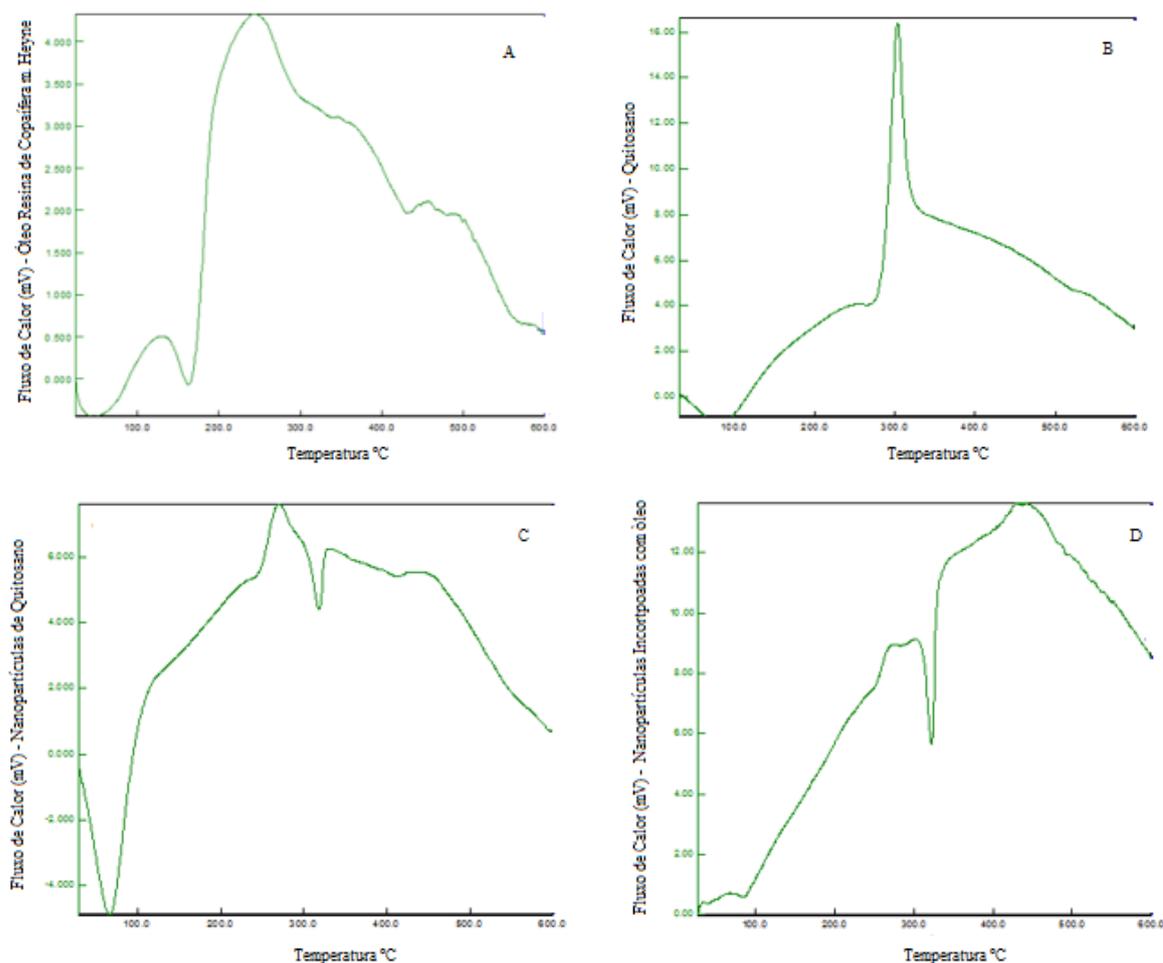


Figura 5.12: curvas DSC do óleo essencial de *Copaifera* (A), polímero quitosano (B), nanopartículas de quitosano (C) e nanopartículas de quitosano com óleo de *Copaifera* (D).

5.5.3 Eficiência de Encapsulação Determinada Através do DSC

Segundo Tan e Man (2002), o resultado do DSC para análise de óleo essencial apresenta um perfil tendo em consideração os seus constituintes, sendo influenciado pelas características físico-químicas como volatilização e massa molecular. Silva (2015), salienta que a variação da entalpia ocorre devido a quantidade dos reagentes e produtos contidos na solução, em função disso, as nanopartículas incorporadas com o ativo apresentam um pico endotérmico que está relacionado com a energia de evaporação da amostra, o que proporciona a entalpia das nanopartículas com o óleo ser maior.

A Figura 5.13 mostra os resultados do DSC para o óleo essencial de *Copaifera multujuga* Hayne e para as nanopartículas incorporadas com o referido óleo.

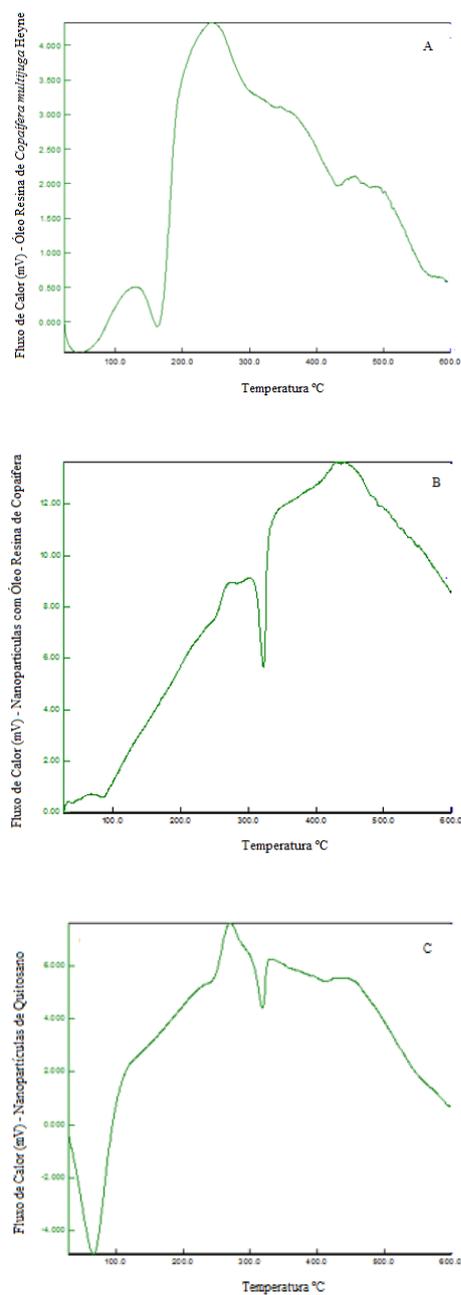


Figura 5.13: Curvas DSC do óleo essencial de *Copaifera* (A), e nanopartículas de quitosano com óleo essencial de *Copaifera* (B), nanopartículas de quitosano (C).

A Tabela 5.4 mostra os resultados das análises realizados no DSC, nomeadamente os valores obtidos referentes a entalpia para as amostras do óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne e, das nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo.

Tabela 5.4: Valores da entalpia obtidos no DSC.

Amostras	Taxa de aquecimento (°C,min ⁻¹)	Intervalo de Temperatura (°C)	Massa TG (mg)	Entalpia ΔH J/g
Óleo essencial de <i>C. multijuga</i> Hayne	10	30-600	7,01	31,50
Nanopartículas incorporadas com óleo essencial de <i>C. multijuga</i> Hayne			7,21	61,60

Com a utilização da equação apresentada no capítulo 3.7.3, a razão de encapsulamento do óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne foi calculada como 95,50% em peso para a amostra **CSNP'sOE 1**, 0,250 g de quitosano incorporada com o óleo, Isto evidencia que o procedimento apresenta uma alta eficácia na incorporação do óleo essencial às nanopartículas.

5.6 Avaliação Antimicrobiana dos Biomateriais

5.6.1 Avaliação Antimicrobiana do Óleo Essencial de *Copaífera multijuga* Hayne

O óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne não apresenta atividade contra *E. coli* e *C. albicans*, mas mostra atividade moderada contra *S. aureus* com valores de MIC a variar entre 125 e 500 µg/mL (Santos *et al.*, 2008). A atividade antibacteriana contra bactérias Gram-positivas também foi verificada para o óleo essencial de *C. multijuga*, bem como para folhas de papel e filmes plásticos com óleo de *C. multijuga* contra *Bacillus subtilis* (Morelli *et al.*, 2015) e também para o gel de óleo de copaíba contra o *Streptococcus* relacionado com biofilme dental (Simões *et al.*, 2016). Atividade inibidora de produtos naturais à base de plantas pode ser considerada boa se o MIC ≤ 100 µg/mL, moderada com MICs variando de 100 a 500 µg/mL, fraca com MIC variando de 500 a 1000 µg/mL, ou podem ser considerados inativos com MICs > 1000 µg/mL (Holetz *et al.*, 2002).

O óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne testado no presente estudo mostrou uma atividade moderada contra *S. aureus*. Os valores mínimos de concentração encontrados indicaram que o óleo de *Copaífera* apresentou um efeito inibidor bacteriostático contra *S. aureus*. Por outro lado, o referido óleo mostrou ser inativo contra *E. coli* e *C. albicans*, sendo possível concluir que a sua ação é restrita para bactérias Gram-positivas. Os resultados são mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Resultado da atividade antimicrobiana para o óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne.

Microrganismos	($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)			
	MIC	MMC	MMC/MIC	Efeito Inibitório
<i>S. aureus</i> (ATCC 25923)	256	1625	6,3	Bacteriostático
<i>E. coli</i> (ATCC 25922)	4096	≥ 16384	$\geq 4,0$	Sem atividade
<i>C. albicans</i> (ATCC 10231)	2048	8192	4,0	Sem atividade

5.6.2 Avaliação Antimicrobiana das Nanopartículas

O espectro de ação do quitosano pode abranger bactérias, fungos e leveduras, embora o seu efeito seja mais eficaz contra bactérias Gram-positivas (Fu *et al.*, 2011). O quitosano apresenta atividade antimicótica contra *Aspergillus niger* (Guerra-Sanchez *et al.*, 2009; Yien *et al.*, 2012). Contudo, as formulações de quitosano à base de nanopartículas mostraram aumento do efeito antifúngico com concentração a partir de 1,2% de quitosano, cuja alta carga de superfície interage mais eficazmente com fungos. Para além disso fatores como a distribuição, tamanho das nanopartículas e o potencial zeta são fatores que influenciam a atividade antifúngica em estirpes como a *Candida albicans* e *Aspergillus niger* (Yien *et al.*, 2012).

Nanopartículas de quitosano apresentaram ação inibitória contra *S. aureus* e *E. coli* (Xing *et al.* 2009), embora, Keawchaoon e Yoksan, (2011) tenham demonstrado que nanopartículas de quitosano não possuem efeito inibitório para *S. aureus* e *E. coli*. No estudo de Chen *et al.*, (2009) a modificação das nanopartículas de quitosano pelos componentes dos óleos essenciais utilizados, nomeadamente o carvacrol e o eugenol, não resultou em perda de eficiência antibacteriana. Conforme descreve o referido autor, a modificação das nanopartículas de quitosano ocorre através da reação de base *Schiff*, onde o óleo essencial envolve o grupo amina do quitosano, com isso ocorre a diminuição do seu potencial zeta no processo de incorporação do óleo nas nanopartículas. Em Svetlichny *et al.*, (2015) foram apresentados resultados positivos para *Candida krusei* e *Candida parapsilosis* com nanopartículas de lípidos com óleo essencial de copaiba.

Como se pode verificar na Tabela 5.6, o quitosano e o gel de quitosano a 0,125 g não apresentaram resultados inibitórios para *S. aureus*, *E. coli* e *C. albicans*. As nanopartículas de quitosano produzidas na

concentração de 0,250 g apresentaram um baixo resultado para o microrganismo *S. aureus*, uma redução de 38,10% na sua proliferação e, não apresentou resultados inibitórios para os microrganismos *E. coli* e *C. albicans*. Relativamente aos resultados apresentados para as nanopartículas com o óleo essencial, observa-se atividade inibitória para os três microrganismos testados. As nanopartículas de quitosano com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne apresentaram os rendimentos de inibição na proliferação de 64,60%, 39,00% e 24,80% para *S. aureus*, *E. coli* e *C. albicans*, respetivamente. Conclui-se que as nanopartículas com óleo essencial mostraram uma maior eficiência antibacteriana, embora o efeito inibitório para a bactéria gram negativa, *E. coli* e, para a levedura, *C. albicans*, seja considerado baixo.

Na Tabela 5.6 são mostrados os resultados para a atividade antimicrobiana das nanopartículas,

Tabela 5.6: Resultado da atividade antimicrobiana para as nanopartículas.

Amostras	Atividade Antimicrobiana – Microrganismos		
	Redução (%)		
	<i>S. aureus</i> (ATCC 25923)	<i>E. coli</i> (ATCC 25922)	<i>C. albicans</i> (ATCC 10231)
Quitosano	-	-	-
Gel CS0,125	-	-	-
CSNP's 0,250	38,10	-	-
CSNP's OE	64,60	39,00	24,80

5.7 Discussão dos Resultados

As etapas de trabalho realizadas nesta fase permitiram produzir e caracterizar nanopartículas de quitosano, tendo sido também possível selecionar a concentração ideal de quitosano para incorporação com o óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne. De acordo com os resultados obtidos, apresentam-se as seguintes considerações:

- Caracterização do óleo essencial: como se verifica, foram identificados 21 constituintes químicos no óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne, a identificação do constituinte maioritário o β -

cariofileno, com uma percentagem de 41,90%, foi confirmada. As curva de TGA mostram três picos de degradação a primeira registra uma perda de massa de 68,43%, entre 42 °C e 167 °C, a segunda uma perda de 26,52 %, 194 °C e 274 °C e, uma terceira com menor perda de massa registrada de 4,77%, entre 304 °C e 420 °C. Os resultados revelam que o referido óleo encontra-se dentro dos padrões de qualidade, pois verifica-se que os dados estão próximos dos que foram encontrados por outros investigadores;

- Síntese das nanopartículas: o método de gelificação iônica mostrou ser de fácil execução e, sendo possível a síntese de nanopartículas de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo essencial de *Copaifera* em formato esférico, mas apresentando nas análises morfológicas por STEM variação no diâmetro, Verificou-se através das análises em DLS que as nanopartículas apresentam carga superficial positiva, sendo que o aumento do potencial zeta, carga superficial, sendo esta diretamente proporcional ao aumento da quantidade em mg do polímero utilizado na síntese. A amostra **CS4** apresentou maior potencial zeta $36,8 \pm 4,2$. Verificou-se também que, com o acréscimo do óleo, o potencial zeta tende a ter diminuição de sua carga e, as nanopartículas tem um aumento no diâmetro, mais mantem o formato esférico. Entretanto, foi observado que o aumento de diâmetro das nanopartículas apresentou-se de forma irregular com a adição das quantidades variadas do TPP. A razão ideal para a síntese das nanopartículas com óleo de *Copaifera* está na utilização de 0,250 g de quitosano e 10 mL de TPP, aplicada na amostra **CSNP'sOE1**;
- Avaliação térmica dos biomateriais: conforme foi verificado no TGA, a temperatura de decomposição do quitosano foi de 302,8 °C, a das nanopartículas foi de 262,0 °C e, a temperatura de degradação das nanopartículas com óleo essencial foi de 267,8 °C. Verificou-se um aumento da temperatura de degradação das nanopartículas de quitosano com óleo essencial de 2,10% comparado com as nanopartículas de quitosano. O mesmo foi observado para o DSC, embora em menor percentagem, as nanopartículas de quitosano apresentaram pico endotérmico a 319 °C e as nanopartículas de quitosano com óleo essencial a 323 °C, um aumento de 1,20%. A utilização do óleo sem a extração da sua essencial contribuiu para esse aumento. É visível que as nanopartículas de quitosano com óleo essencial são mais estáveis quando comparadas com as nanopartículas de quitosano, mesmo com uma diferença de degradação pequena;

- Atividade antimicrobiana dos biomateriais: relativamente à atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne utilizado verifica-se que com a concentração utilizada na síntese das nanopartículas, 1 mg/mL^{-1} , foi demonstrada atividade antimicrobiana apenas para a bactéria gram positiva *S. aureus* (ATCC 25923). As nanopartículas, CHNP's 0,250 de quitosano, apresentaram um efeito inibitório de 38,10%, para a bactéria *S. aureus*, contudo, não apresentaram nenhum efeito para os microrganismos *E. coli* (ATCC 25922) e *C. albicans* (ATCC 10231). Entretanto, verifica-se um efeito inibitório entre o óleo essencial utilizado e o quitosano, estando claro que existe um sinergismo entre os dois, mesmo sendo observado uma diminuição da carga positiva das nanopartículas. Para o microrganismo *S. aureus* (ATCC 25923) apresenta um aumento considerável e, para os microrganismos *E. coli* e *C. albicans* apresentou uma percentagem inibitória de 39,00% e 24,80%, respetivamente.

5.8 Considerações Finais

A produção das nanopartículas de quitosano e de quitosano com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne incorporado foi efectuada com sucesso através do processo de gelificação iónica. A síntese não compreendeu muitas etapas intermediárias, sendo que as partículas foram produzidas à temperatura ambiente e, este processo possibilitou a obtenção de partículas em formato esférico uniforme e sem agregação. O processo mostra ser interessante para aplicações industriais devido ao seu curto período de execução e à simplicidade.

Os óleos essenciais mostram ser de grande utilidade para síntese de produtos aplicados na área da saúde. O óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne, por si só, demonstrou ter uma ação antibacteriana baixa, devido à baixa concentração utilizada, contudo foi possível verificar a sua ação inibitória maior juntamente com o quitosano, propiciando uma ação sinérgica, quando este foi incorporado nas nanopartículas.

CAPÍTULO 6

6. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO OBJETIVA DO DESEMPENHO DA MALHA FUNCIONAL

O capítulo descreve os procedimentos adotados para produção da malha e, à avaliação das suas características após a sua funcionalização com gel quitosano, na concentração em peso de 0,125 g. Posteriormente são apresentados os resultados referentes à caracterização das amostras revestidas com gel de quitosano, gel de quitosano contendo nanopartículas de quitosano e gel de quitosano com nanopartículas incorporadas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne. Foram estudadas e aferidas as propriedades em termos de controlo térmico, gestão da humidade, capilaridade, atrito, flexão, absorção de humidade e atividades antimicrobianas.

6.1 Funcionalização do Material Têxtil

Um sistema destinado a curativo de feridas deve fornecer flexibilidade, aderência controlada ao tecido circundante, permeabilidade a gases, durabilidade, biodegradabilidade, capacidade para absorver fluidos e exsudatos na área da ferida e simultaneamente controlar a perda de líquidos (Dias *et al.*, 2011). A seleção do material destinado ao curativo é crucial, pois a sua interação com a ferida pode influenciar significativamente o processo de cicatrização (Salah *et al.*, 2016). Deve ainda fornecer isolamento térmico, proteções mecânicas e bacterianas, permitir a evaporação dos gases, o transporte dos fluidos e absorver o odor da ferida (Maver *et al.*, 2015). A gaze de algodão é amplamente utilizada para fins higiénicos devido à sua suavidade natural, alta higroscopicidade e propriedades de retenção de calor (Katayama *et al.*, 2012).

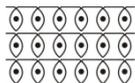
Conforme os factos acima apresentados, esta fase da pesquisa tem como objetivo potencializar as propriedades do material têxtil produzido, nomeadamente uma malha com estrutura *jersey* 100% algodão. A funcionalização da malha com aplicação do revestimento de quitosano a uma concentração de 0,125 g, já determinada como a melhor concentração para atender às condições da aplicação destinada, será potencializada com a adição das nanopartículas de óleo essencial produzidas na concentração de 0,250 g de quitosano.

Pretende-se com aplicação das nanopartículas manter os níveis aceitáveis de características tais como baixo atrito, bom nível de absorção e de transporte de líquidos e, para além disso, incorporar atividade antimicrobiano ao têxtil. Após a produção e funcionalização da estrutura têxtil em malha, pretende-se dotar ao referido material, o conceito multifuncional.

6.2 Produção da Malha

Neste trabalho, a produção da estrutura da malha foi levada a cabo num tear retilíneo eletrónico da marca STOLL, modelo CMS 320 TC. A malha em *jersey* foi produzidas em fio 100% algodão, a 2 cabos, com uma torção média de $572 \pm 2,5$ v/m² e massa linear 24 Ne. A malha foi selecionada devido as suas características de elasticidade, permitindo uma melhor conformação no corpo sem necessitar da utilização de licra. Após o processo de produção a malha foi caracterizada, estando as suas propriedades apresentadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Características da malha.

Propriedades	Malha em estrutura <i>Jersey</i> (média±desvio padrão)	Tipo de Ponto
Composição	100% Algodão (CO)	Debuxo técnico do <i>jersey</i>
Colunas/cm	6 ± 0,0	
Fileiras/cm	7 ± 0,0	
Massa por unidade de superfície (g/m ²)	1,989 ± 0,04	
Espessura (mm)	1,4 ± 0,05	
Poros (mm ²)	0,485 ± 0,024	
Lu	1,45	
K	3,4	

A Figura 6.1 apresenta a malha produzida em estrutura *jersey*, A, observando-se também a presença de fibras salientes na superfície do fio na imagem microscópica, B.

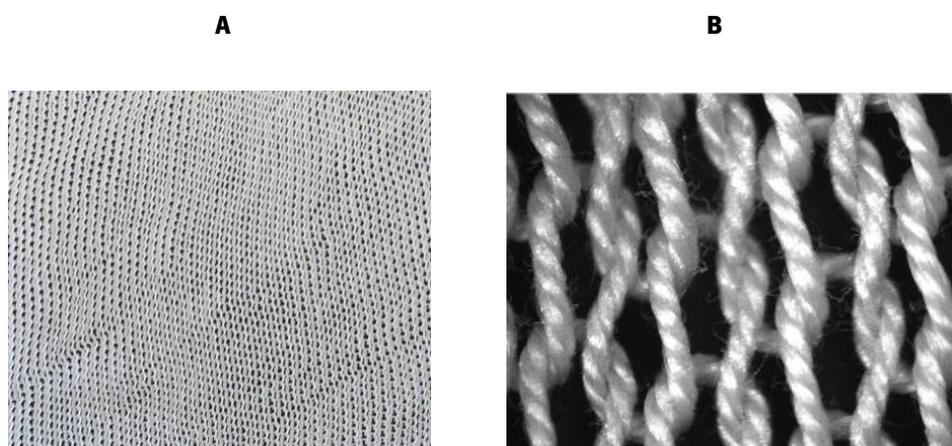


Figura 6.1: Imagens da malha produzida em estrutura *jersey* – A - imagem fotográfica e B- Imagem microscópica da malha em estrutura *Jersey* em objetiva 60x.

6.3 Funcionalização das Malhas de Controlo e Revestidas

O processo de funcionalização das malhas foi realizado pelo método da imersão em gel de quitosano. A malha foi imersa de forma vertical, sendo o tempo de imersão de 5 minutos no gel de quitosano, para o gel de quitosano com as nanopartículas de quitosano e para as nanopartículas de quitosano com óleo essencial. Na Tabela 6.2 encontram-se as características da malha após a sua funcionalização.

Tabela 6.2: Massa por unidade de superfície e espessura das malhas de controle e revestidas.

Amostras	Revestimento de quitosano (g)	Massa por unidade de superfície (g/m ²)	Variação %	Espessura (mm)	Variação %
Malha controlo - M0	0,125	198,9± 4,60	-	1,41± 0,06	-
Malha revestida - M1		207,1± 5,50	3,90	1,69± 0,08	16,50
Malha revestida+NP's - M2		211,1± 3,90	5,70	1,73± 0,05	18,40
Malha revestida+NP's+OE - M3		212,2±4,00	6,20	1,68± 0,08	16,00

Como pode ser observado, todas as amostras de malhas após o revestimento apresentaram um aumento na espessura e na sua massa por unidade de superfície, o que significa a deposição do quitosano na superfície da malha. Quando se realiza uma comparação entre as amostras em estudo, verifica-se que a amostra **M3**, revestida com 0,125 g de quitosano incorporando nanopartículas com óleo essencial, obteve o maior valor para massa por unidade de superfície, com um aumento de 6,20%. A amostra **M2**, revestida com 0,125 g de quitosano incorporando nanopartículas, obteve o maior valor para espessura, com um aumento de 18,40%.

Em termos percentuais, como ocorrido na funcionalização da gaze em tafetá, o aumento da massa por unidade de superfície e da espessura nas amostras também era esperado, embora **M2** apresente maior resultado para espessura. Fica evidente que a diferença na massa por unidade de superfície com maior valor para **M3** é devido à incorporação do óleo essencial de *Copaifera Multijuga* Hayne.

Na Figura 6.2 é mostrada as imagens da malha de controlo em **A**, malha funcionalizada com gel de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo de *Copaifera multijuga* Hayne em **B**. Em termos visuais não é possível verificar diferenças consideráveis entre às amostras. Contudo, observa-se que a malha **M3** apresenta-se de forma mais aberta.

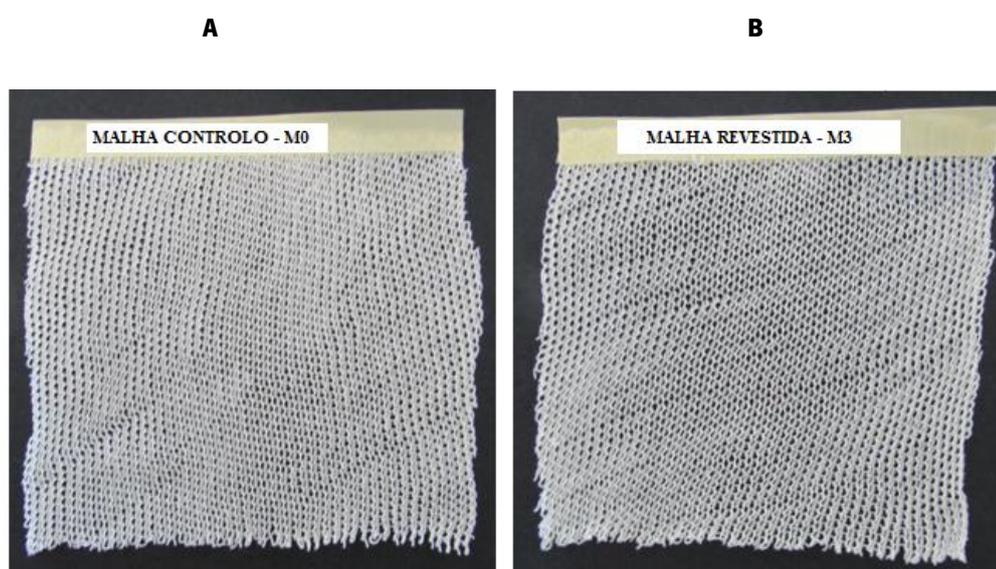


Figura 6.2: Amostras das malhas - malha controlo, **A** e malha funcionalizada com gel de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo essencial de *Copaifera multijuga* Hayne, **B**.

6.3.1 Análise Morfológica do Revestimento de Quitosano na Malha

Nas amostras tratadas, o quitosano é visível entre as fibras de algodão como um revestimento ou uma membrana fina (Ferrero *et al.*, 2014). A superfície do filme de quitosano forma-se relativamente de forma suave e com rugosidade (Zhang *et al.*, 2015). Contudo, as superfícies de fibras de algodão não tratadas são suaves e, as fibras de algodão tratadas com o quitosano têm uma cobertura rugosa e desigual (Cheng *et al.*, 2014).

A Figura 6.3 mostra as imagens de SEM das fibras das estruturas em análise, onde as características presentes na superfície das fibras corroboram com o referenciado na literatura.

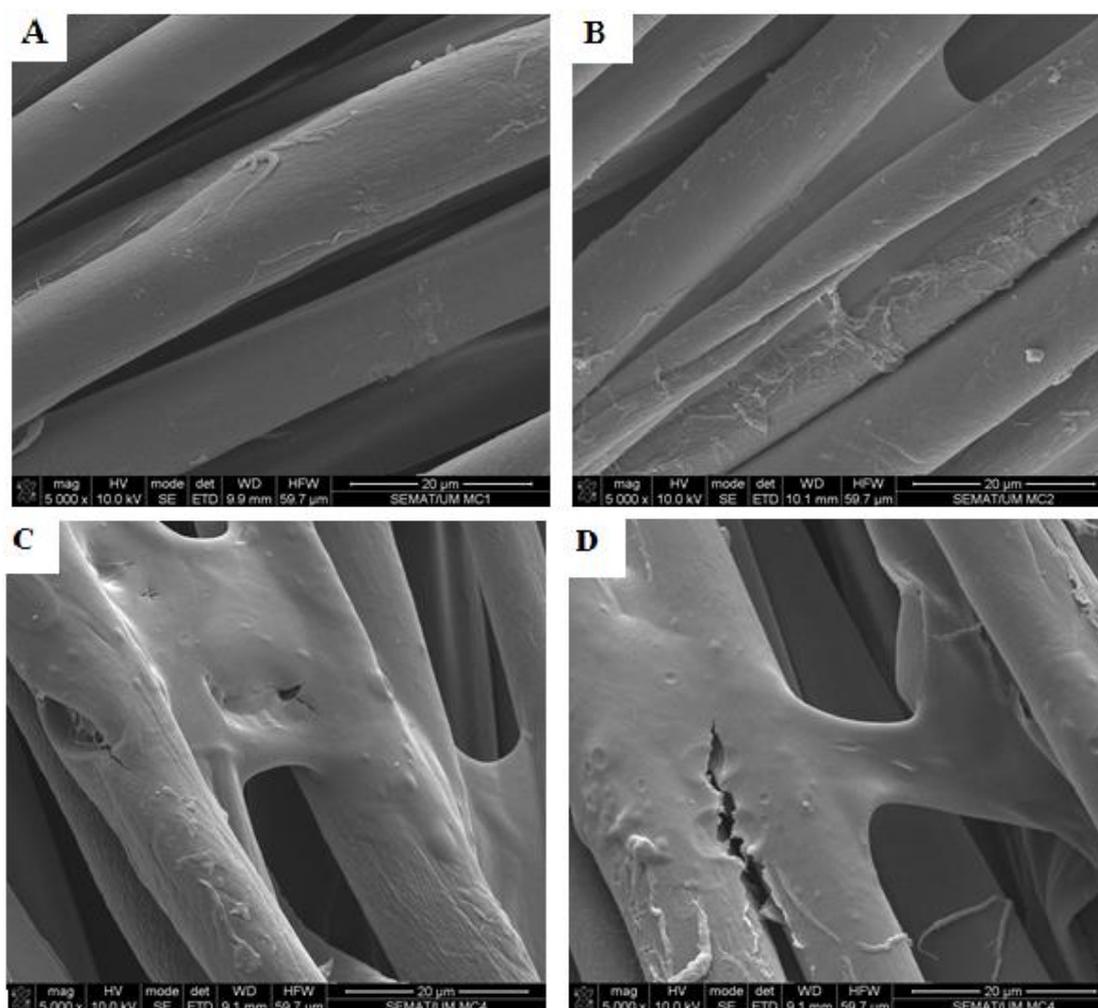


Figura 6.3: Imagem SEM - A – fibra da malha de controle; B – fibra da malha revestida com quitosano; C – malha revestida com nanopartículas de quitosano e D – malha revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano com óleo essencial.

Em Figura 6.3, A é respeitante à malha não tratada, designada como malha de controlo, onde se pode observar a superfície “suave”. Na Figura 6.3 B é respeitante à amostra **M1**, verifica-se a presença das películas entre as fibras e uma cobertura não homogénea. Na Figura 6.3 C, respeitante à amostra **M2** e a Figura 6.3 D, respeitante à amostra **M3**, as superfícies dos filmes apresentam-se de forma “suave” e com dobras, não apresentando igualmente cobertura homogénea. Contudo, através desta técnica não foi possível verificar a presença das nanopartículas na superfície das amostras, pois as mesmas ficam no interior do revestimento, não sendo permitida assim, a sua visualização.

A Figura 6.4 mostra os resultados obtidos da técnica de análise STEM, onde se verifica a sobreposição do filme de quitosano sobre as nanopartículas.

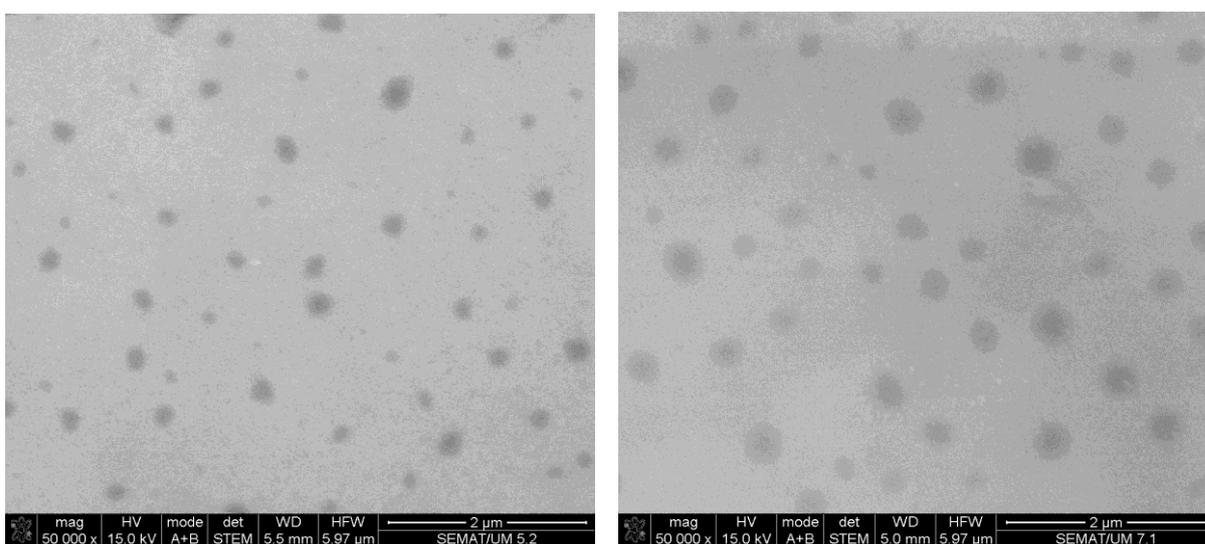


Figura 6.4: Imagem STEM – nanopartículas no revestimento de quitosano.

Não foi possível a visualização das nanopartículas no revestimento de quitosano formado na superfície das fibras da malha. No entanto, foi possível verificar nas grelhas para observação em STEM, que após a deposição e secagem do gel de quitosano incorporando nanopartículas, é visível a presença de uma película do revestimento de quitosano sobrepondo as nanopartículas, verifica-se também uma excelente dispersão das mesmas, sem formação de agregados ou aglomerados.

6.3.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier para Malha revestida - FTIR

Os espectros de FT-IR de bandagens compostas de hidrogel de β -quitina apresenta um pico característico a 1654 cm^{-1} que corresponde aos grupos amida primários de β -quitina. O pico a 1070 cm^{-1} corresponde à ligação glicosídica enquanto o pico 3450 cm^{-1} corresponde ao grupo hidroxilo (Kumar *et al.*, 2013).

Espectros de FTIR para tecidos de algodão tratados com quitosano, a presença do quitosano é revelado pelo seu pico típico mostrado apenas por amostras tratadas a 1560 cm^{-1} , sendo atribuído ao grupo NH (Ferrero *et al.*, 2014). Conforme os espectros relatados por (Sionkowska *et al.*, 2006) os picos do quitosano a 3360 cm^{-1} (grupo OH), 3290 cm^{-1} (alongamento NH) e 1648 cm^{-1} (ligação C = O amida) são sobrepostos aos picos de celulose.

Os espectros do FTIR para a malha de algodão exibem picos nas bandas 1634 e 1425 cm^{-1} . O revestimento com quitosano é confirmado pelo deslocamento das bandas a 1638 e 1422 cm^{-1} e a presença de um novo pico de absorção a 2367 cm^{-1} . O revestimento de quitosano com nanopartículas de quitosano é confirmado pelo deslocamento das bandas 2894 e 3276 cm^{-1} para as bandas 2891 e 3273 cm^{-1} . Verifica-se que o revestimento de quitosano com nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne é confirmado pelo deslocamento das bandas 2891 e 3273 cm^{-1} para 2835 e 3268 cm^{-1} e a presença do pico de absorção a 2855 e 2918 cm^{-1} .

Os espectros FTIR das amostras de malhas revestidas mostram que o quitosano, assim como o quitosano com nanopartículas e quitosano com nanopartículas incorporadas com óleo essencial foram ligados as amostras em malha de algodão. Os espectros FTIR das amostras revestidas e não revestida são apresentados na Figura 6.5.

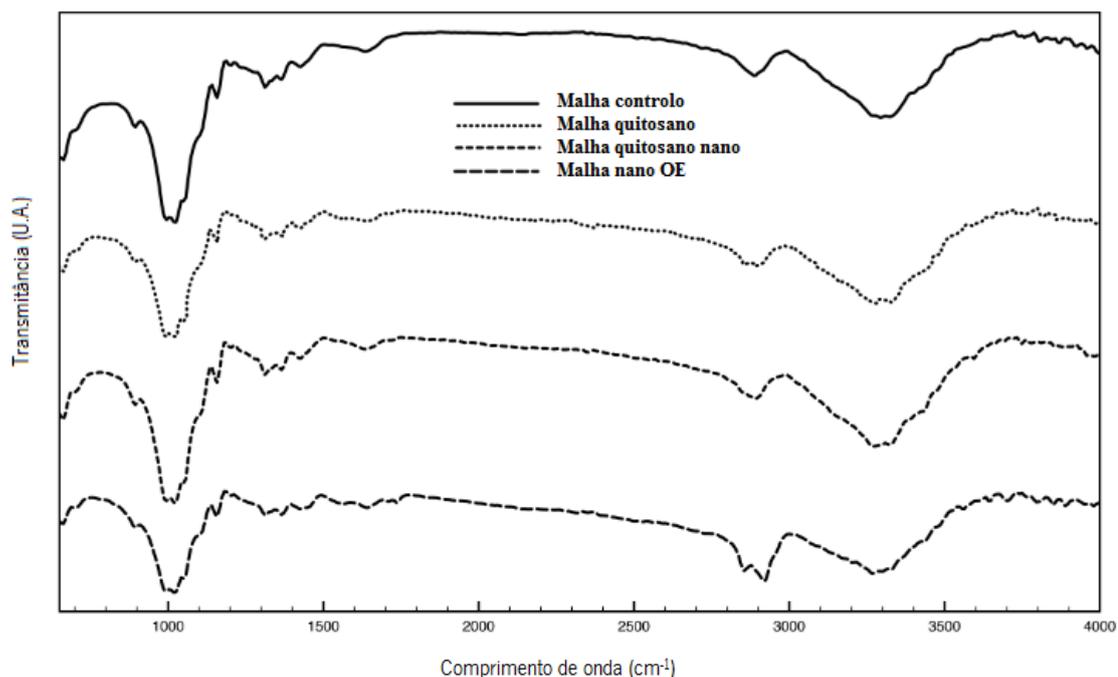


Figura 6.5: Espectros do FTIR para a malha de controlo, malha revestida com quitosano, malha revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano e malha revestida com quitosano e nanopartículas incorporadas com óleo de *Copaifera*.

6.4 Propriedades de Conforto Térmico das Malhas de Controlo e Revestidas

O conforto e o desconforto são decididos pela interação entre o vestuário e o corpo humano em termos de sensações térmicas. Para o paciente, o conforto térmico é importante devido ao efeito de doenças e terapias diversas que são aplicadas nos hospitais (Uzun *et al.*, 2012). À medida que a espessura do tecido aumenta, a sua resistência térmica aumenta (Oğlakcioğlu, Marmarali, 2007) e, diminui o conforto (Çoruh, 2015). A espessura do tecido tem um efeito significativo nos valores de permeabilidade ao ar, uma vez que a permeabilidade ao ar tende a diminuir à medida que a espessura aumenta, independentemente do tipo de fibra (Cimilli *et al.*, 2009).

Conforme os dados apresentados na Tabela 6.3, para a propriedade de condutividade térmica, não existem diferenças significativas para as amostras revestidas com quitosano, quitosano funcionalizado com as nanopartículas de quitosano e nanopartículas de quitosano com óleo. Verifica-se, contudo, que, para as propriedades de resistência térmica e fluxo de calor, a amostra **M3**, revestida com nanopartículas de quitosano e óleo essencial apresenta o maior e o menor resultado, respetivamente. Significando uma diferença de 7,50% maior para a propriedade de resistência térmica e 13,50% menor para a propriedade de fluxo de calor em comparação com a amostra de controlo **M0**. Está claro que

com os resultados apresentados, a amostra **M3** proporcionará objetivamente a maior sensação térmica com relação as demais amostras funcionalizadas, um fator importante para manutenção de um microclima com humidade para cicatrização das feridas.

Tabela 6.3: Propriedades de conforto térmico das malhas de controle e revestidas.

Propriedades	Amostras			
	M0	M1	M2	M3
Condutividade Térmica ($\lambda \times 10^{-3}$ [W/mK])	45,6±2,00	47,8±1,40	47,6±1,00	47,9±47,90
Resistência Térmica ($r \times 10^{-3}$ [m ² K/ W])	26,1±1,40	27,2±0,50	27,7±1,00	28,2±0,50
Fluxo de Calor ($q_d \times 10^{-3}$ (W/m ²))	0,519±0,023	0,472±0,02	0,465±0,01	0,449±0,01
Permeabilidade ao ar (l/m ² /s)	44,58±3,30	39,42±1,11	39,65±1,18	40,21±1,15

Para a propriedade de permeabilidade ao ar, a amostra **M1**, revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano obteve o menor resultado, com uma diminuição de 11,50% para a referida propriedade em relação à amostra de controlo, **M0**. A amostra **M3** apresentou o maior resultado com um decréscimo de 9,40% com relação à amostra de controlo **M0**. **M1** com uma diferença para **M3** de 1,90% na propriedade de permeabilidade ao ar, apresentará um isolamento térmico superior.

6.4.1 Propriedade de Permeabilidade ao Vapor de Água

O equilíbrio da humidade é importante para obter condições ótimas para a cicatrização das feridas (Schultz *et al.*, 2005), baixa humidade fará com que a ferida seque (Okan *et al.*, 2007) e, humidade excessiva ou insuficiente pode retardar a cicatrização (Rakmanee *et al.*, 2010). Para (Nawalakhe *et al.*, 2013) a diminuição da taxa de permeabilidade ao vapor de água, após a deposição da camada de

nanofibra de quitosano em comparação com a gaze sozinha indica que a bandagem é suscetível de proporcionar uma melhor retenção de humidade para a ferida do que a gaze não tratada. De acordo com Bolton, (2007), uma permeabilidade ao vapor de água com rendimento de pelo menos 84 g/m²/dia é necessária para manter a superfície de uma ferida húmida.

Na Figura 6.6 são apresentados os resultados para a propriedade de permeabilidade ao vapor de água.

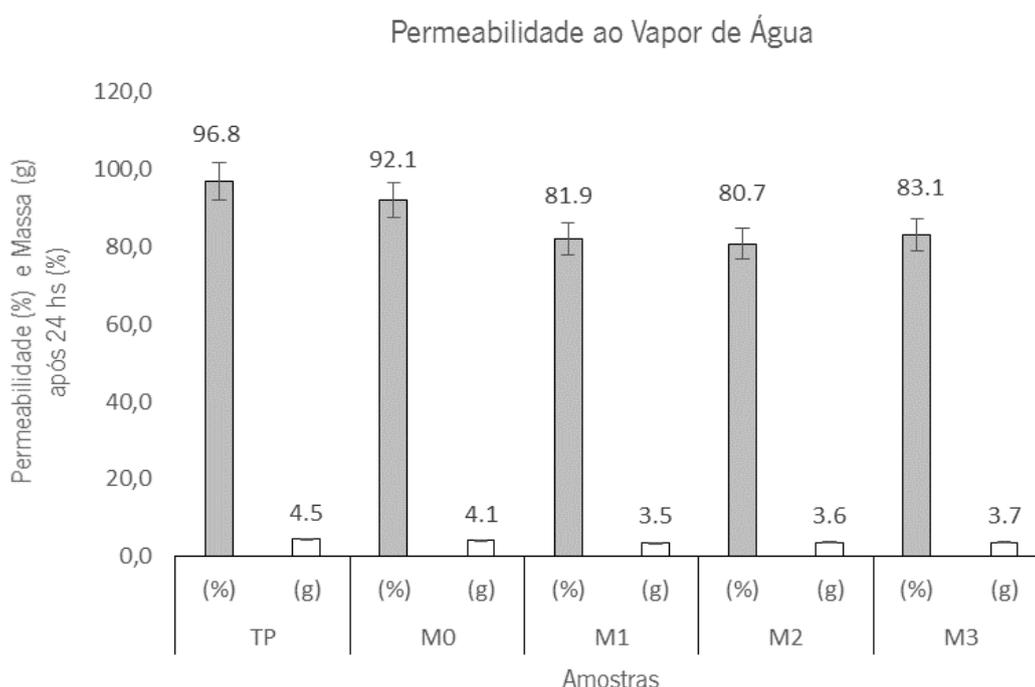


Figura 6.6: Gráfico – Permeabilidade ao vapor de água das malhas de controlo e revestidas.

As amostras revestidas apresentam valores de permeabilidade ao vapor de água e de absorção de massa (g) inferiores aos da amostra de controlo **M0**. Verifica-se que a amostra **M2**, revestida com quitosano e incorporando nanopartículas de quitosano apresenta o menor índice de permeabilidade ao vapor de água e o segundo menor índice de absorção de massa (g) de vapor de água quando comparada com as amostras funcionalizadas **M1** e **M3**, o que corresponde a uma percentagem inferior de 11,00% e de 14,60% para a amostra de controlo respetivamente. A amostra **M3**, revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano com óleo essencial apresentou a maior percentagem em termos de permeabilidade ao vapor de água e de absorção de massa (g) de vapor de água,

apresentando uma diferença para a amostra de controlo de 9,70% e 9,80%, nomeadamente para a permeabilidade e absorção de massa (g) líquida do vapor de água. Verifica-se pelos resultados, que entre as amostras revestidas, a amostra **M2** proporcionará maior grau de humidade e a amostra **M3** o menor, as amostras revestidas apresentaram valores de absorção próximos do que foi reportado na literatura.

6.5 Propriedades Físicas das Malhas de Controlo e Revestidas

6.5.1 Propriedade de Fricção

Devido ao fato de que a pele e os têxteis são materiais com comportamento mecânico não linear e superfícies não bem definidas (Bueno *et al*, 2013), as forças de atrito e de corte que atuam sobre a pele, conduzem a estirpes adversas, aceleram os danos nos tecidos, suprimem a circulação sanguínea e deformam os vasos sanguíneos dérmicos (Bass e Phillips, 2007). O coeficiente de atrito da pele húmida é muito mais elevado do que o da pele seca (Derler e Gerhardt, 2012).

A Figura 6.7 mostra os resultados da análise referente ao coeficiente de atrito das amostras em estudo.

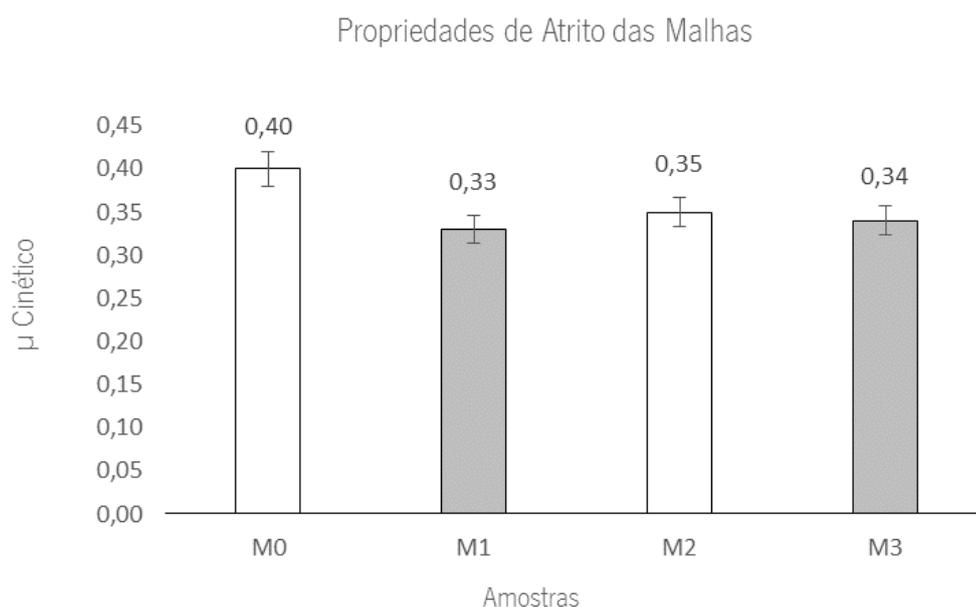


Figura 6.7: Gráfico – Propriedades de atrito das malhas de controlo e revestidas.

Como se pode observar, as amostras revestidas com quitosano e quitosano com nanopartículas apresentam coeficientes de atrito inferiores à amostra de controlo **M0** (malha sem tratamento). O menor coeficiente de fricção foi obtido pela amostra **M1**, malha revestida com quitosano, sendo o coeficiente de fricção inferior em cerca de 15,20% ao da malha de controlo. Para as amostras revestidas com quitosano e nanopartículas, **M3**, malha revestida com quitosano e funcionalizada com nanopartículas de quitosano e óleo essencial, o valor do coeficiente de fricção é cerca de 14,42% inferior ao da amostra de controlo. Verifica-se, portanto, que existe uma pequena diferença entre as amostras **M2** e **M3**, com ambos os tipos de nanopartículas depositadas no revestimento, promovendo menor atrito em relação à amostra de controlo. Objetivamente o revestimento apenas com a matriz polimérica de quitosano promoverá um menor atrito entre a malha e a pele.

6.5.2 Propriedade de Resistência a Rotura

As propriedades mecânicas dos pensos para feridas são fatores importantes que afetam o seu desempenho (Doulabi *et al.*, 2013; Cai *et al.*, 2016). A hidrólise da celulose em condições ácidas causa diminuição na resistência e alongamento do tecido. Para além disso, o quitosano forma geralmente uma película na superfície da fibra deixando uma quantidade menor entrar nas regiões inter-fibras, visto que não contribui para o fenómeno de carregamento da carga mais sim, afeta a distribuição simétrica da mesma (Chattopadhyay e Inamdar, 2013). Embora, no trabalho relatado por Archana *et al.*, (2014), tem sido demonstrado que com a incorporação de nanopartículas leva a uma modificação na resistência a tração da gaze, a sua resistência à tração com matriz de quitosano-TiO₂-pectina com nanopartículas aumentou em relação à matriz sem nanopartículas.

A pesquisa realizada por Kumar *et al.*, (2013), indica que a diminuição da resistência à tração foi devida à interação de nZnO com a matriz de quitosano. O aumento significativo do alongamento por rotura é devido ao efeito da rotura intermolecular da ligação de hidrogénio. Para além disso, as fibras quando misturadas com soluções em gel possibilitam aderência umas com as outras, o que poderia também aumentar as propriedades mecânicas dos tecidos, mesmo quando as ligações de hidrogénio inter e intramoleculares das fibras forem quebradas (Zhao *et al.*, 2015).

A Tabela 6.4 mostra os resultados obtidos para as propriedades mecânicas das amostras em estudo.

Tabela 6.4: Propriedades de resistência a tração e alongamento das malhas de controle e revestidas.

Propriedades	Amostras			
	M0	M1	M2	M3
Resistência a tração – Teia (N)	294,40±4,50	181,10±1,8	201,97±0,40	227,63±3,90
Resistência a tração – Trama (N)	54,77±4,80	34,92±0,20	53,10±2,20	69,11±3,80
Alongamento – Teia (%)	64,37±1,48	81,80±3,48	73,77±1,55	75,22±0,90
Alongamento – Trama (%)	262,10±2,87	309,60±4,60	318,07±5,24	303,30±4,31

Conforme se verifica, a resistência a tração para as amostras revestidas no sentido da teia diminui em relação a amostra de controle **M0**. Observa-se, que apenas com a aplicação do revestimento de quitosano, a amostra **M1** apresenta uma diminuição de 38,40% na sua resistência a tração. Quando as nanopartículas são incorporadas juntamente com a matriz polimérica de quitosano no substrato têxtil, **M2** (amostra revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano) e **M3** (amostra revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano com o óleo essencial) as suas resistências a tração apresentam um acréscimo de 10,30% e 20,40%, respetivamente. No sentido da trama, a amostra **M1** sofre um decréscimo de 33,00% na sua resistência à tração e **M3** apresenta um aumento de 24,50% relativamente à amostra **M0**.

O alongamento, para ambas as amostras revestidas, apresenta-se maior em relação a amostra de controlo, em ambos os sentidos teia e trama, sendo **M1** a amostra com maior propriedade de alongamento no sentido da teia e **M2** no sentido da trama.

6.5.3 Propriedades de Flexão da Malha

A resistência à flexão é uma das propriedades de um material têxtil que determina a sua utilização posterior, sendo uma propriedade importante quanto à capacidade de drapeamento dos materiais têxteis (Hussain *et al.*, 2015). O curativo da ferida deve ser flexível, mas estável e forte o suficiente para cobrir a superfície da ferida durante todo o período de cicatrização. Deve ser facilmente manuseado

durante a cobertura da ferida para maximizar o conforto do paciente (Morgado *et al.*, 2015). Um curativo flexível é desejável, porque a sua natureza flexível não permite o toque áspero sobre uma ferida (Pereira *et al.*, 2013).

Na Tabela 6.5 são apresentados os resultados obtidos para a análise da rigidez à flexão das malhas em estudo.

Tabela 6.5: Propriedades de rigidez a flexão das malhas de controlo e revestidas.

Amostras	Teia		Trama	
	B (gf cm ² cm ⁻¹)	2HB (Nm/m)	B (gf cm ² cm ⁻¹)	2HB (Nm/m)
M0	0,0175±0,002	0,0214±0,001	0,0179±0,002	0,0225±0,002
M1	0,0380±0,001	0,0335±0,002	0,0331±0,009	0,0312±0,003
M2	0,0227±0,003	0,0284±0,001	0,0328±0,008	0,0312±0,004
M3	0,0260±0,001	0,0331±0,002	0,0318±0,008	0,0330±0,002

Observa-se que todas as amostras de malha revestidas tiveram aumento para a propriedade de rigidez à flexão. A propriedade de rigidez à flexão da amostra **M1**, malha revestida com quitosano em B é 54,00% superior no sentido da teia e 45,90% superior no sentido da trama, embora em 2HB a variação seja menor em ambos os sentidos.

As amostras revestidas com a matriz polimérica de quitosano incorporadas com suas respetivas nanopartículas apresentam, de uma forma geral rigidez à flexão inferior quando comparadas com a amostra **M1**, em ambos os sentidos, teia e trama. A amostra **M2**, revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano possui de forma geral menor rigidez a flexão. Verifica-se que ao serem incorporadas as nanopartículas no revestimento, estas diminuem as ligações da matriz polimérica, tornando-a mais flexível.

6.5.4 Cair das Malhas

Os parâmetros da conformação dos tecidos são altamente dependentes da forma do tecido e do corpo de suporte. As malhas apresentam maior drapeabilidade em relação a tecidos tradicionais e não tecidos (Sanders *et al*, 2013). O aumento dos valores do coeficiente de cobertura para os tecidos de algodão tratado com quitosano indica a redução da sua flexibilidade (Bhuiyan *et al*, 2016). Isto é atribuído à diminuição da elasticidade das amostras do tecido após tratamento com quitosano, devido à reticulação das fibras (Yildiz, 2017). Devido ao menor coeficiente de drapeado, os tecidos podem ser moldados na forma do corpo humano mais facilmente e resultar num melhor ajuste (Erdumlu, 2015).

A Figura 6.8 mostra os resultados obtidos para as malhas em estudo para a propriedade de drapeamento.

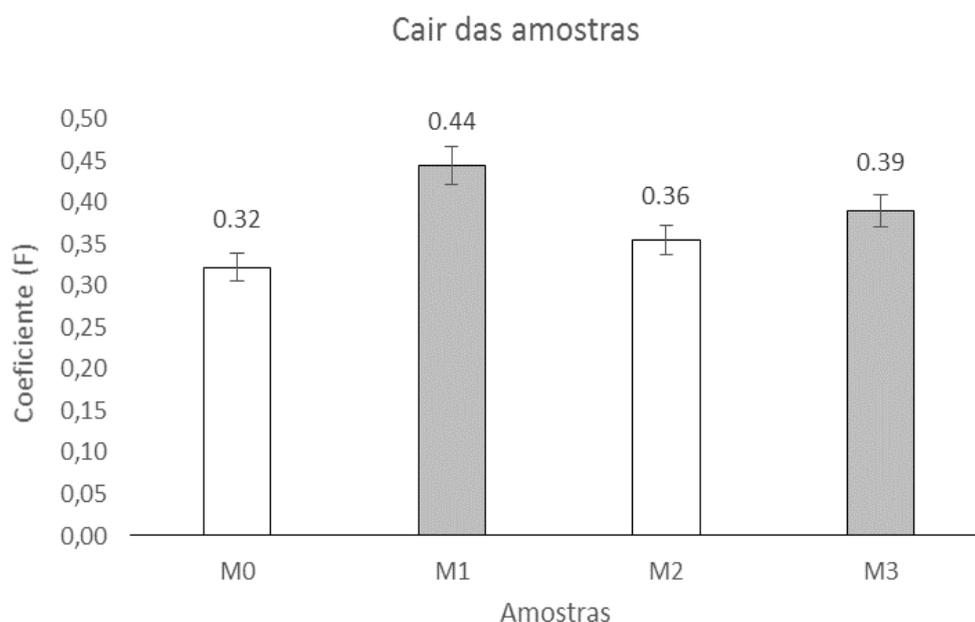


Figura 6.8: Gráfico – Propriedades de cair da malha de controlo e revestidas.

Conforme se pode observar, as amostras revestidas com quitosano e quitosano com as nanopartículas obtiveram coeficientes do cair maior em relação à amostra de controlo **M0**. A amostra **M1**, somente com revestimento de quitosano, obteve um coeficiente de cair (F) de 0,44, 27,00% superior à amostra de controlo. Para as amostras **M2**, revestida com quitosano com nanopartículas e, **M3**, revestida com

quitosano com nanopartículas funcionalizadas com o óleo essencial de *Copaifera multijuga*, Hayne, obtiveram coeficientes do cair (F) de 0,36, equivalente a 11,00% e 0,39, com 17,90% superiores em relação à amostra de controlo, respetivamente. Verifica-se que as amostras **M2** e **M3**, obtiveram coeficientes do cair (F) inferiores à amostra **M1**. Este facto está relacionado com a distribuição por área das nanopartículas, sendo que **M2** apresenta um coeficiente do cair (F) mais próximo da amostra de controlo. De referir que a síntese por gelificação iônica possibilitou que as nanopartículas de quitosano obtivesse um diâmetro menor no geral, o que possibilita a ocupação de mais área de superfície em relação às nanopartículas funcionalizadas com óleo de *Copaifera multijuga* Hayne. Dentre as amostras revestidas, para a propriedade de cair, a amostra **M2** apresenta objetivamente uma melhor conformação quando aplicada no corpo do utilizador.

Os valores representados no Coeficiente de cair (F) para drapeabilidade das amostras da malha **M0** e **M3** tratadas com quitosano e, quitosano com nanopartículas com óleo essencial podem ser visualizadas na Figura 6.9.

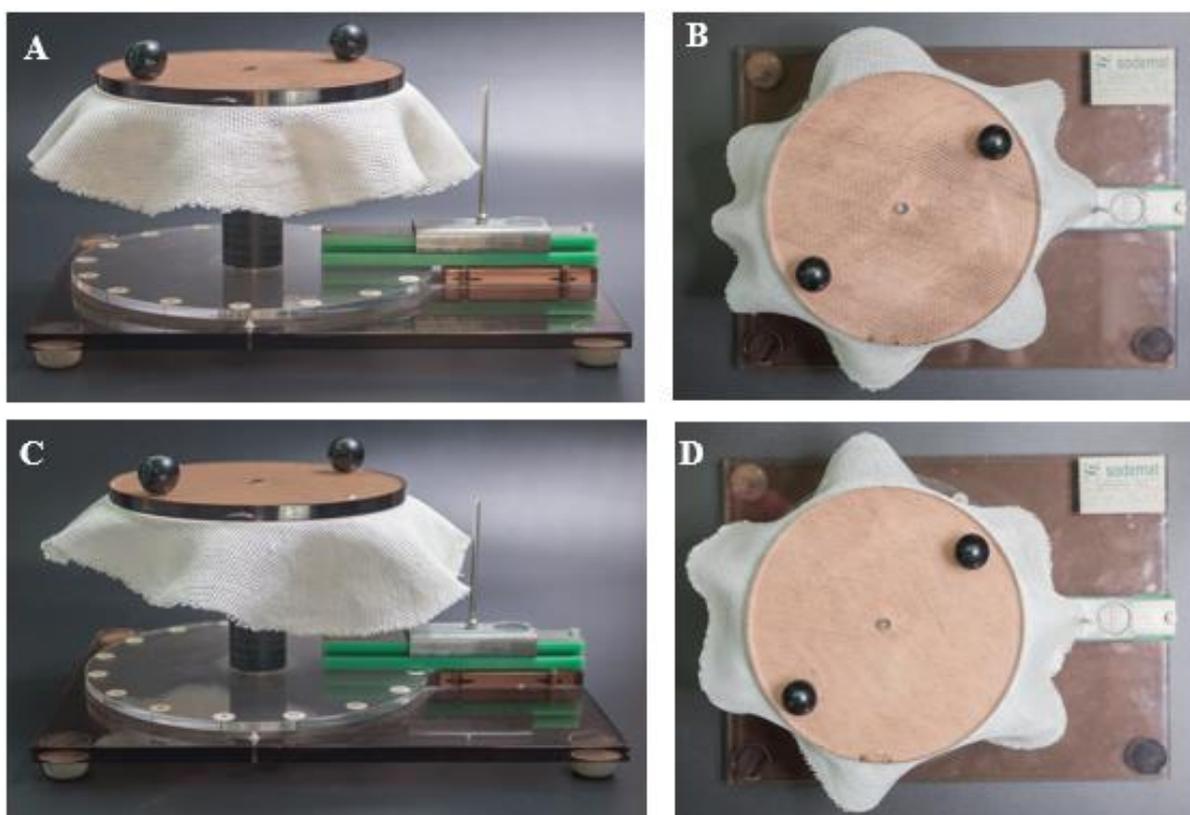


Figura 6.9: A – imagem horizontal da amostra M0; B - Vista superior da amostra M0; C – imagem horizontal da amostra M3 e D – vista superior da amostra M3.

Está claro, que pela presença menor de picos na amostra **M3**, a mesma possui uma maior resistência ao cair, drapeabilidade. Pode ser verificado também, que pelos valores obtidos, a concentração do revestimento aplicado na malha apresenta-se com menos interferência quando comparada com uma gaze em tafetá.

6.5.5 Análise Termogravimétrica das Malhas de Controlo e Funcionalizadas

A presença do polímero quitosano na estrutura dos tecidos conduz a uma redução na temperatura de decomposição dos tecidos de algodão, como também eleva a percentagem de resíduos (Abou-Okeil, El-Shafie e Hebeish, 2007).

As Figuras 6.10 e 6.11 apresentam os resultados obtidos para a análise termogravimétrica das malhas em estudo.

Conforme pode ser observado na Figura 6.10, a perda de massa para as malhas revestidas, **M1** e **M2** são inferiores quando em comparação com a amostra de controlo **M0**, em A, que sofre maior perda de massa a 367,40% °C, um total de 83,07%. Para a amostra **M1**, malha revestida com quitosano (Figura 6.10), a perda de massa está primeiramente entre os picos 123,1 °C – 183,2 °C, com uma perda inicial de 4,05%, referente a perda de água residual. **M1**, em B, sofre uma perda de massa de 72,94%, registrando maior perda a 363,7 °C, o que significa uma menor estabilidade térmica em comparação com a amostra de controlo.

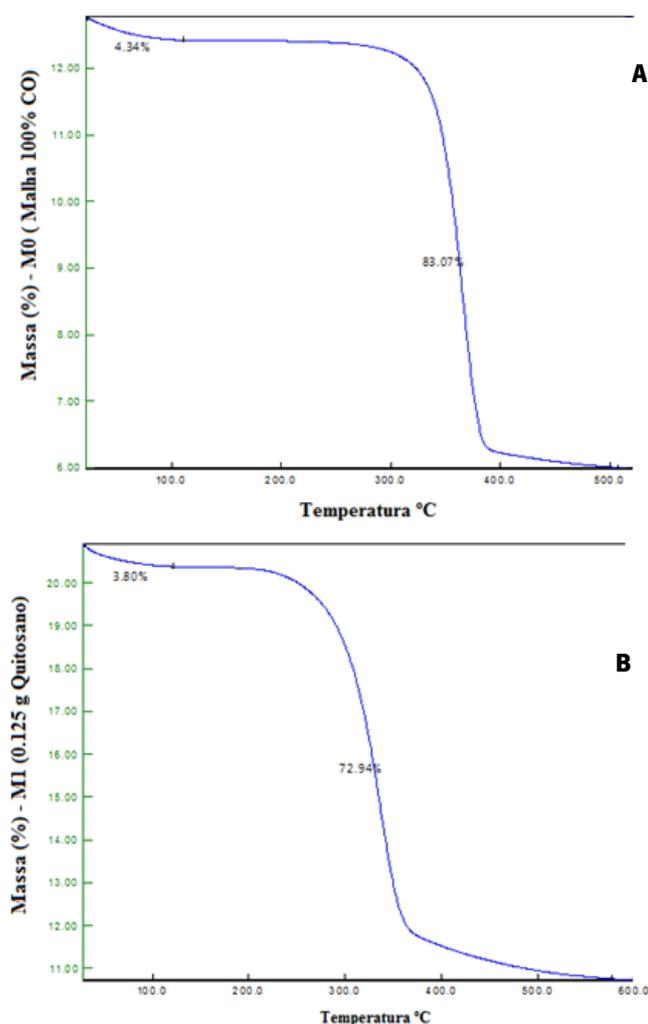


Figura 6.10: Gráfico – Termogravimetria: A - malha controlo e B – malha revestida com quitosano.

Verifica-se na Figura 6.11, que **M2** e **M3** apresentam uma estabilidade térmica maior em relação a **M1**. A amostra **M3**, malha revestida com quitosano e nanopartículas de óleo essencial, em **B**, mostra uma perda de massa de 78,25% a uma temperatura de decomposição de 359 °C. Observa-se que **M3** apresenta uma diferença inferior de 4,80%, demonstrando para esse resultado que o óleo essencial contribuiu para uma menor diminuição da estabilidade térmica para a referida amostra.

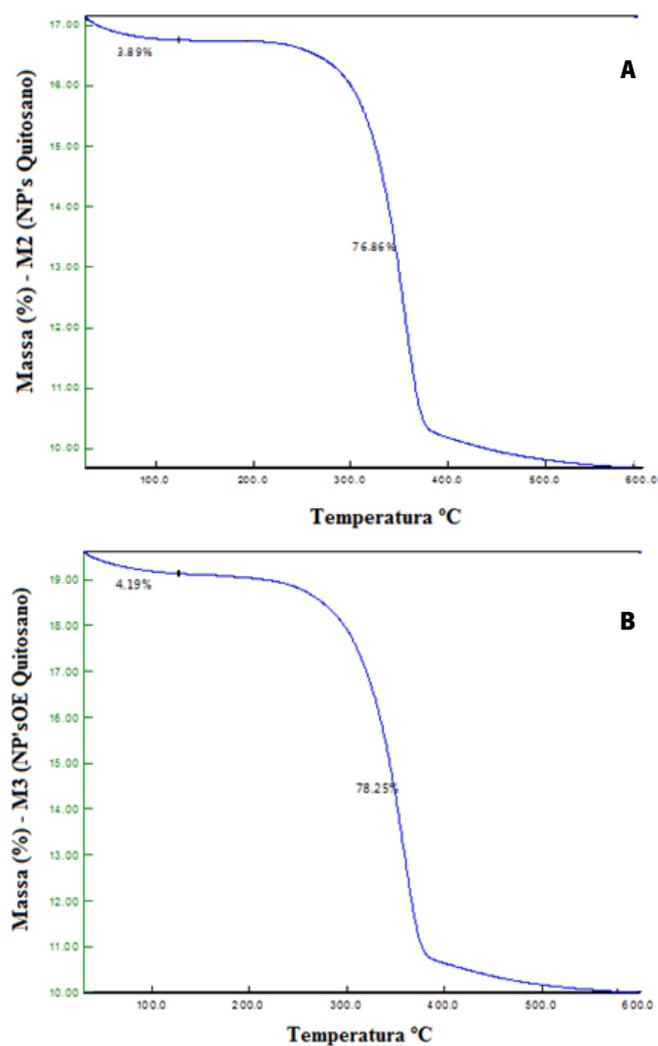


Figura 6.11: Gráfico – Termogravimetria: A - malha revestida com quitosano e nanopartículas e B – malha revestida com quitosano e nanopartículas com óleo essencial.

6.6 Propriedades de Gestão da Humidade das Malhas de Controlo e Revestidas

6.6.1 Capilaridade Vertical - *Wicking*

O comportamento hidrofóbico dos revestimentos favorece a adesão bacteriana (Carvalho *et al.*, 2013). Humidade em demasia no microclima do curativo resulta em maceração e reduzida humidade resulta em dessecação da ferida (Gary Sibbald, 2005). Se o suor produzido não puder ser removido do corpo, fará com que o paciente sinta a sensação de frio por causa da pele húmida e fresca. Poros com

diâmetro micro e nano possuem alta adsorção de água e adsorção rápida de líquidos aquosos (Yin *et al.*, 2012).

Os resultados para a propriedade de capilaridade vertical no sentido da teia e trama são apresentados nas Figuras 6.12 e 6.13.

Para a capilaridade vertical (Figura 6.12), as amostras revestidas apresentaram resultados próximos, a amostra **M3**, revestida com quitosano e nanopartículas de óleo essencial obteve o melhor rendimento inicial e final. **M1**, revestida com quitosano obteve o menor resultado, portanto proporcionará maior humidade e **M3** menor humidade. As amostras com o revestimento de quitosano e funcionalizadas com nanopartículas, com e sem o óleo essencial, apresentam resultados muito próximos aos dos obtidos para a amostra de controlo **M0**. Todas as amostras apresentam classificação Bom e Grau 2, uma vez que a altura da molhagem se encontra entre 50 e 100 mm, conforme estabelece a norma FTTS-F-A-004.

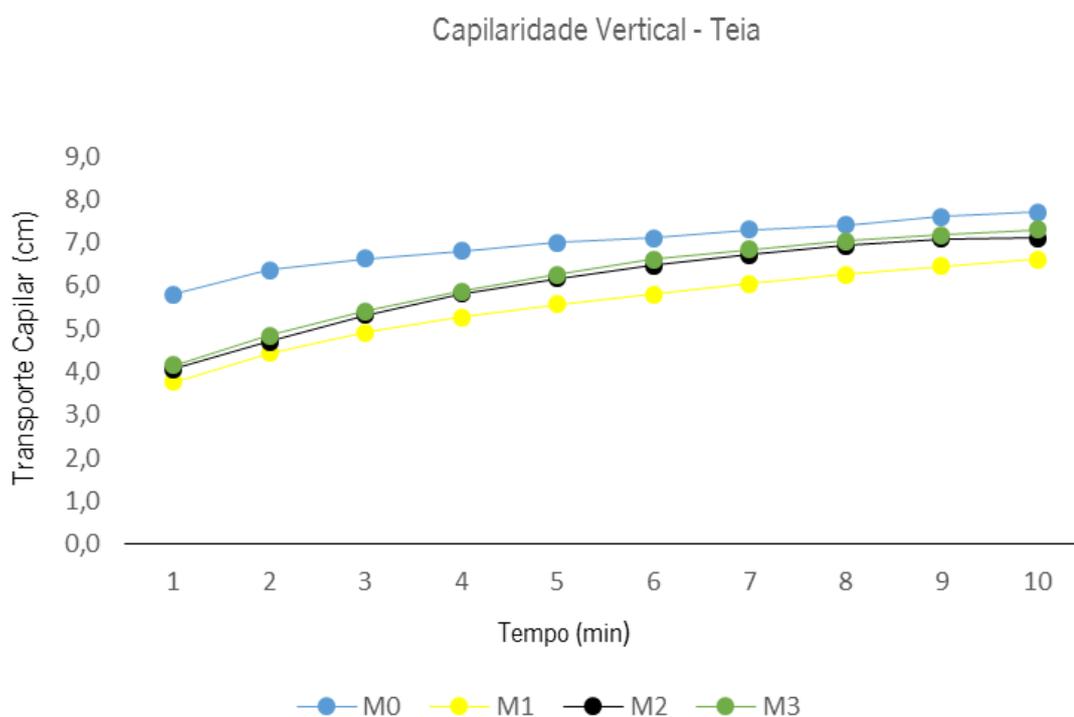


Figura 6.12: Gráfico – Propriedades de capilaridade: sentido da teia das malhas de controlo e revestidas.

Na Figura 6.13, em relação a capilaridade vertical à trama, nota-se primeiramente que a diferença inicial para a ascensão capilar entre as amostras revestidas e a amostra de controlo, não apresentou diferença significativa tal como observado na capilaridade vertical no sentido da teia. Verifica-se que inicialmente a amostra **M3** obteve um rendimento maior para o primeiro minuto, contudo a amostra **M2** obtem um resultado final superior. A amostra **M1** apresentará uma maior condição de humidade por permitir a ascensão capilar mais baixa e **M3**, devido a influencia do óleo de *Copaífera multijuga* Hayne possibilitará menor humidade. As amostras são consideradas suficientes, com altura da molhagem inferior a 50 mm conforme estabelece os critérios da norma FTTS-F-A-004.

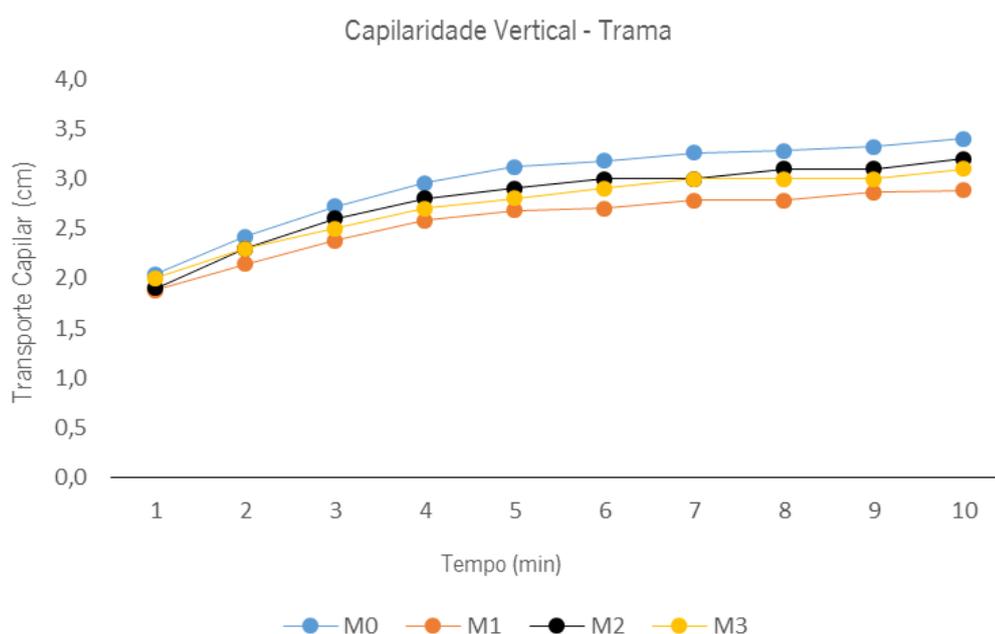


Figura 6.13: Gráfico – Propriedades de capilaridade: sentido da trama das malhas de controlo e revestidas.

6.6.2 Capilaridade Dinâmica

Estruturalmente, uma estrutura porosa é vital no *design* dos curativos para feridas. Embora, as construções macroporosas permitam a drenagem eficaz do exsudato da ferida, não podem evitar a penetração de microrganismos e a desidratação da ferida (Morgado, Aguiar-Ricardo, Correia, 2015). Os materiais de limpeza devem manter o ambiente mais adequado na interface ferida/curativo,

absorvendo exsudatos em excesso sem fugas para a superfície de um curativo (Zahedi *et al.* 2010; Ahamed *et al.*, 2015).

A Figura 6.14 mostra os resultados obtidos para a capilaridade dinâmica das malhas em estudo.

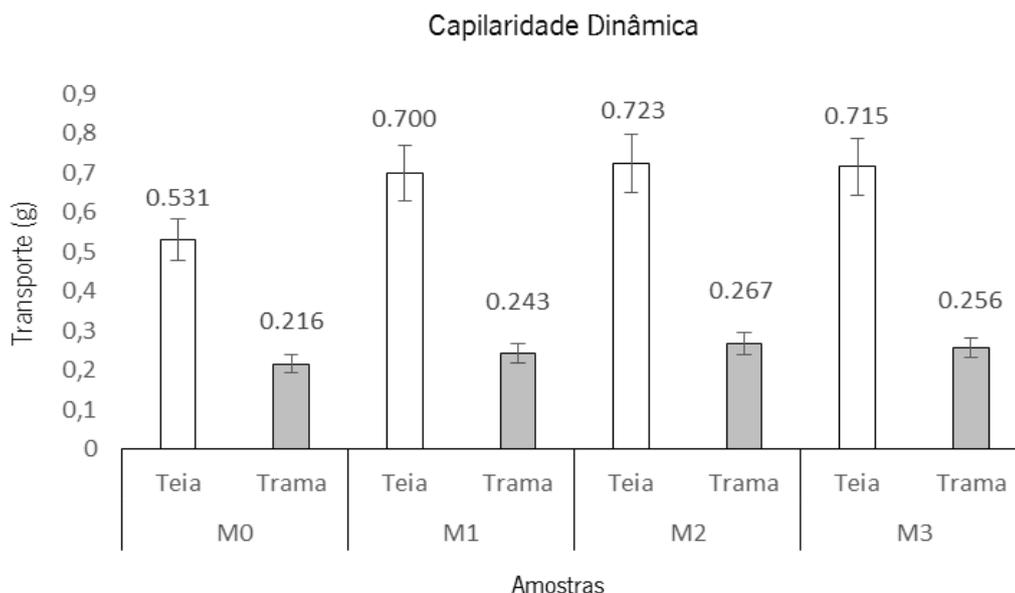


Figura 6.14: Gráfico– Capilaridade dinâmica no sentido da teia e trama das amostras de controlo e revestidas.

Conforme apresentado, a maior quantidade de massa em líquido retirada com a ascensão capilar para ambos os sentidos, teia e trama, apresenta-se na amostra **M2**, revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano. Um resultado 26,45% e 19,10% superior no sentido da teia e trama, respetivamente, em relação à amostra de controlo **M0**. A amostra **M3**, revestida com nanopartículas de quitosano com óleo essencial, também apresenta maior capitação de massa líquida com relação a **M0** e **M1**. Está claro que a presença das nanopartículas, apresenta um aumento na quantidade de massa líquida absorvida. **M1** proporcionará um maior grau de humidade por área de cobertura, uma vez que o seu nível de absorção é menor.

6.6.3. Absorção de Humidade

A gestão da quantidade de exsudatos da ferida pode acelerar a cicatrização, melhorando a migração de células-chave, como queratinócitos, fibroblastos e células endoteliais, além de metaloproteases de matriz e outras proteases (Hess e Kirsner, 2003). Os pensos devem absorver e manter os exsudatos longe da superfície da ferida, assegurando que a superfície da ferida permaneça húmida (Bishop *et al*, 2003).

Os resultados para a propriedade de absorção estão dispostos na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Propriedades de absorção das malhas de controle e revestidas.

Amostras	Massa inicial (g)	Massa após imersão de 5 min. (g)	Massa após secagem de 3 min. (g)
M0	2,01±0,04	6,04±0,14	4,04±0,16
M1	2,20±0,05	6,67±0,12	4,40±0,06
M2	2,19±0,02	6,90±0,08	4,70±0,08
M3	2,21±0,03	6,87±0,05	4,66±0,04

Verifica-se um aumento considerável na absorção da massa líquida para todas as amostras após a imersão. Apresenta-se um aumento de 300,50%, 303,50%, 315,10% e 311,10% para as amostras **M0**, **M1**, **M2** e **M3**, respetivamente. A amostra **M2**, revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano obteve a maior percentagem de absorção entre as amostras revestidas, apresentando um resultado de 4.60% superior em absorção em relação à amostra de controlo **M0**. De referir que a amostra **M3**, revestida com quitosano e nanopartículas de óleo essencial apresenta um resultado inferior a **M2** em cerca de 1,30%. Contudo a menor taxa de secagem foi obtida pela amostra **M1**, onde se verificou uma perda de massa de 34% após os três minutos de secagem. Com uma perda de massa de 31,80%, após a secagem, **M2** proporcionará maior humidade.

6.6.4 Libertação Controlada

O mecanismo de transporte de líquidos depende do efeito das forças capilares e das características da sua superfície. Portanto, o tecido deve evaporar o líquido antes de causar a acumulação. As características da fibra, os parâmetros estruturais dos fios e estruturas, o processamento químico e o *design* do vestuário afetam o transporte ou a absorção do suor e transpiração (Öner e Okur, 2013). A dinâmica de penetração e evaporação de líquidos que os materiais porosos absorvem é relevante para várias aplicações de engenharia, tais como adsorção de líquidos corporais por cura médica, almofadas sanitárias e processos de revestimento (Gate *et al.*, 2013; Bomdhani *et al.*, 2013).

Os resultados para a propriedade de libertação da humidade à temperatura ambiente estão dispostos na Figura 6.15.

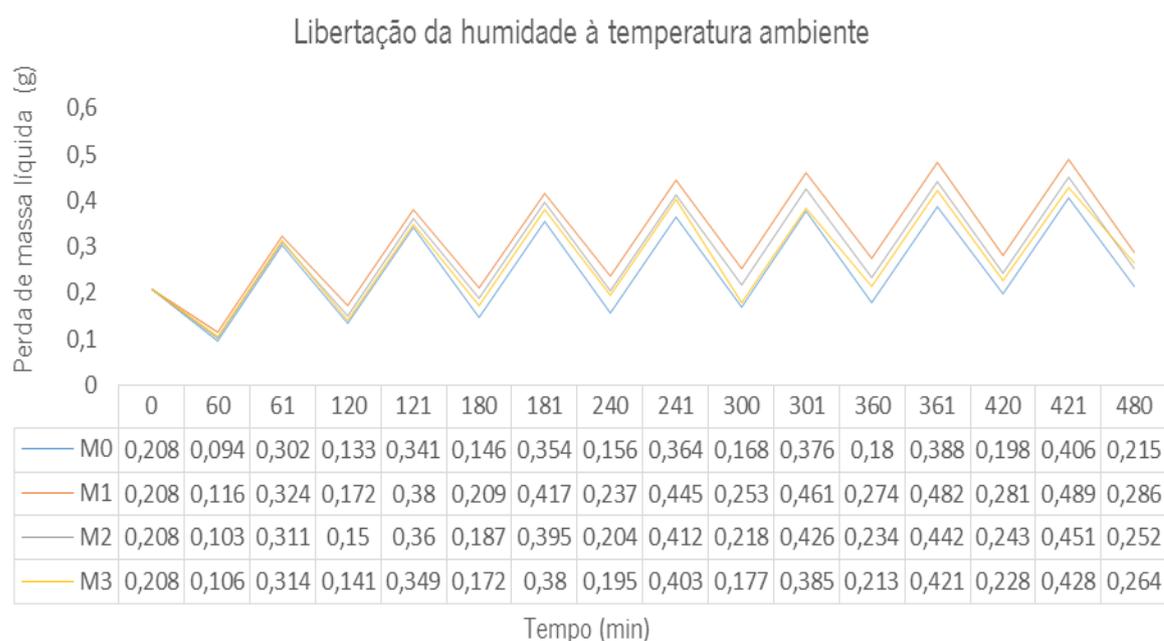


Figura 6.15: Gráfico – libertação controlada a temperatura ambiente: amostras de controlo e revestidas.

A amostra revestida, **M1** apresenta a menor perda de massa (g) e **M2** a maior, como pode ser observado ao fim de 60 minutos de ensaio, verifica-se uma maior quantidade de líquido, 0,116 g em **M1**, o que corresponde a uma percentagem de 19,00% a mais de líquido em relação à amostra de controlo **M0**. O mesmo acontece no decorrer da reposição de líquido durante todo o ensaio, regista

na última medição uma quantidade de líquido superior a **M0** de 0,071 g, correspondendo a uma percentagem de 24,80%. Portanto, **M1** apresentará maior grau de humidade. De referir que **M3** apresentou uma quantidade de líquido de 8,6% inferior a **M1** e 11,30% superior à amostra de controlo **M0**.

São apresentados na Figura 6.16, os resultados para a propriedade de libertação da humidade à temperatura da pele humana.

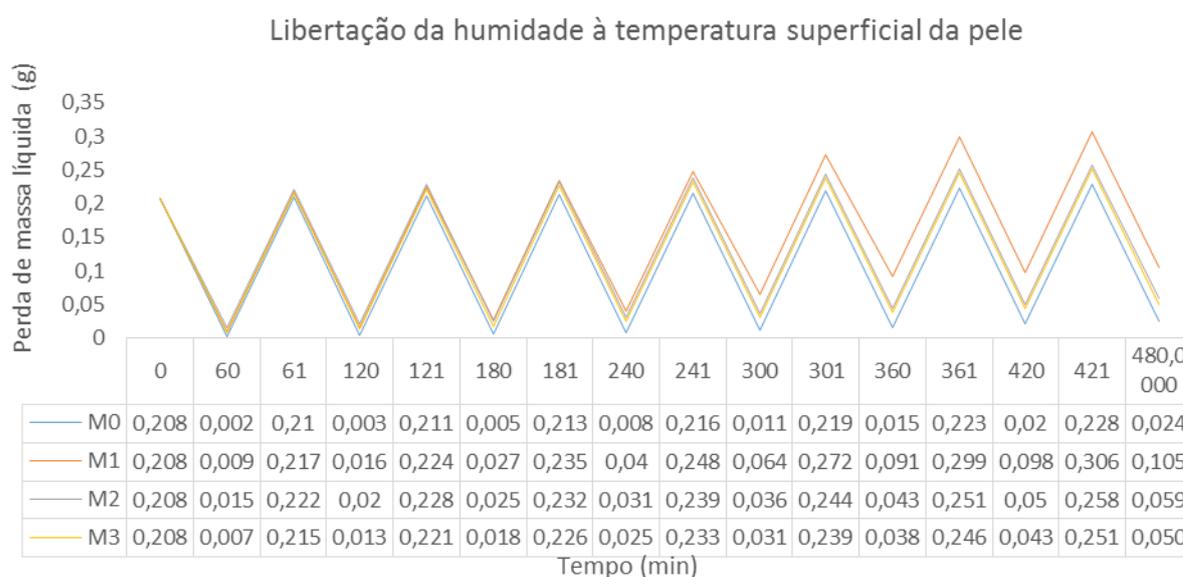


Figura 6.16: Gráfico – libertação controlada a temperatura superficial da pele: amostras de controlo e revestidas.

Tal como se pode observar, a amostra **M2** apresentou maior massa líquida, 0,015 g, o que corresponde a um peso superior de 86,60% com relação a **M0**. O menor resultado em relação às amostras com revestimento foi apresentado pela amostra **M3** com 0,007 g. Embora, **M2** tenha demonstrado um rendimento inicial com menor perda de líquido, portanto proporcionando maior humidade, observou-se que **M1** apresentou um resultado final com maior retenção de líquido, com valores superiores cerca de 77,10%, 44,00% e 47,60% em relação a **M0**, **M2** e **M3** respetivamente. Sendo assim, proporcionará maior retenção de líquido contribuindo para maior humidade.

6.7 Avaliação Antimicrobiana dos Materiais Funcionalizados

O fornecimento de propriedades antimicrobianas aos materiais têxteis apresentam principalmente duas aplicações: proteção dos materiais contra microrganismos patogênicos, bem como ações terapêuticas e profiláticas (Coman, Oancea e Vranceanu, 2010). Os revestimentos antimicrobianos reduzem a adesão e a proliferação de microrganismos, promovendo a saúde e o bem-estar do paciente (Rebelo *et al.*, 2014).

A infecção por ferimentos é um dos principais desafios para o gerenciamento de cuidados das feridas (Sinha *et al.*, 2013), uma vez que tais infecções podem induzir a formação de exsudato, retardar a cicatrização das feridas e facilitar a deposição inadequada do colagênio. Os pensos de feridas são frequentemente aplicados na sua superfície para acelerar a cicatrização. Além disso, os poros de tamanho micro/nano podem efetivamente prevenir a invasão bacteriana (Xu *et al.*, 2015). Os compostos naturais, como extratos vegetais e óleos essenciais apresentam características antimicrobianas contra diferentes cepas, incluindo patógenos fúngicos (Škrinjar e Nemet, 2009).

Os resultados da avaliação antimicrobiana para os materiais têxteis, nomeadamente a gaze em tafetá e a malha estão dispostas na Tabela 6.7. Aplicou-se a norma *ATCC TEST METHOD 100*.

Observa-se, de uma forma geral que, a malha revestida com quitosano a 0,125 g e funcionalizada com nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne apresentou o melhor resultado. O efeito antimicrobiano do revestimento de quitosano é mais eficaz para o *S. aureus* (ATCC 25923) quanto incorporado as nanopartículas com o óleo essencial de *Copaífera*. É visível que ocorre um grande aumento do efeito antimicrobiano para as estirpes de bactérias em comparação com a estirpe de levedura testada, a *C. albicans* (ATCC 10231).

A concentração utilizada para incorporação do óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne, 0,1 mg/mL, mostra um efeito inibitório para a bactéria *S. aureus*, gram positiva e, baixo para a bactéria gram negativa *E. coli* e para a levedura *C. albicans*. Embora verifica-se um efeito sinérgico entre o óleo essencial utilizado e o polímero quitosano.

Tabela 6.7: Resultados da avaliação antimicrobiana para as amostras têxteis.

Amostras	Microrganismos - Redução (%)		
	<i>S. aureus</i> (ATCC 25923)	<i>E. coli</i> (ATCC 25922)	<i>C. albicans</i> (ATCC 10231)
Gaze tafetá Controlo	-	-	-
Gaze tafetá revestida (Quitosano)	16%	-	-
Gaze tafetá revestida (Quitosano+NP's)	25%	-	-
Gaze tafetá revestida (Quitosano+NP's+OE)	29%	-	-
Malha controlo	-	-	-
¹ Malha revestida (Quitosano)	28%	11%	-
Malha revestida (Quitosano+NP's)	31%	13%	-
Malha revestida (Quitosano+NP's +OE)	75%	49%	18%

6.8 Discussão dos Resultados

O revestimento polimérico de quitosano foi aplicado numa malha jersey, em 100% algodão, conforme a concentração estabelecida como a de melhor rendimento, ou seja, a amostra contendo 0,125 g de quitosano. Para além disso, para a mesma concentração, aplicou-se uma funcionalização com nanopartículas de quitosano e outra com nanopartículas de quitosano com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne. Com os resultados obtidos nesta fase, apresentam-se as seguintes considerações:

- Aplicação do revestimento: assim como ocorreu na funcionalização da gaze, em tafetá, todas as amostras de malha apresentaram modificações em relação às características de massa por unidade de área e espessura. Embora se tenha aplicado a mesma concentração de quitosano para o revestimento, observam-se diferenças no comportamento das amostras. **M3**, malha

revestida com quitosano e nanopartículas de óleo essencial, obteve maior massa por unidade de área, com um aumento de 6,20% e **M2**, malha revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano, apresentou maior espessura, com um aumento de 18.40%. Verifica-se que existiu influencia das nanopartículas nas referidas propriedades;

- Propriedades de conforto térmico: a amostra **M3**, malha revestida com quitosano e nanopartículas com o óleo de *Copaifera multijuga* Hayne, apresentou propriedades de conforto térmico que a classificam como a de maior grau de isolamento térmico, pois possui maior resistência térmica e menor fluxo de calor, mesmo com **M2**, malha revestida com quitosano e nanopartículas de quitosano, apresentando menor permeabilidade ao ar. Apresenta uma baixa permeabilidade ao vapor de água, 9,80% inferior ao da amostra de controlo **M0**, embora tenha maior permeabilidade ao vapor de água em relação as amostras **M1** e **M2**;

Propriedades físicas: para as propriedades de atrito, observa-se que as amostras **M2**, malha revestida com nanopartículas de quitosano e **M3**, malha revestida com nanopartículas de quitosano e óleo de *Copaifera multijuga* Hayne, apresentam uma diferença reduzida para esta propriedade, a amostra **M3** apresentando um coeficiente de atrito 1.80% menor em relação a **M2**. Para as propriedades de rigidez a flexão, a amostra **M3** apresenta 32,60% e 31,80% superior em B ($\text{gf cm}^2 \text{cm}^{-1}$) no sentido da teia e trama, respetivamente. Verifica-se que as nanopartículas de óleo essencial proporcionaram menos desgaste das fibras na amostra **M3**, malha revestida com quitosano e nanopartículas com óleo, ao serem incorporadas juntamente com o revestimento de quitosano, uma vez que a sua resistência a tração no sentido da teia e trama apresenta-se 20,45% e 49,50% de forma superior, respetivamente ao da amostra **M1**, malha revestida de quitosano, também se mostra superior a **M2**. A drapeabilidade da amostra também é melhor, com um coeficiente do cair 11,40% menor com relação a **M1**. Verifica-se que a presença das nanopartículas de quitosano e nanopartículas de óleo essencial incorporadas ao revestimento de quitosano, permitem que a amostra revestida nessas condições sofra menos desgaste em relação apenas à malha revestida com quitosano. A sua drapeabilidade e rigidez a flexão apresentam também valores mais baixos e, a estabilidade térmica das **M2** e **M3** é superior a **M1**;

- Propriedades de gestão da humidade: para todas as propriedades aferidas, a amostra **M1**, malha revestida com quitosano, **M2**, malha revestida com quitosano e nanopartículas e **M3**, malha revestida com quitosano e nanopartículas com óleo, demonstraram maior capacidade para promover um microclima mais húmido em relação à amostra de controlo **M0**. Para a propriedade de capilaridade vertical no sentido da teia, a amostra **M3**, apresentou melhor resultado em relação às demais amostras revestidas e no sentido da trama **M2**, obteve melhor resultado. Observa-se que na presença de nanopartículas com óleo, a capilaridade é menos afetada, por isso a distribuição do líquido torna-se mais rápida com relação à amostra de controlo **M0**. Para a capilaridade dinâmica, também se observa o mesmo fenómeno em termos de transporte de massa, obtendo melhores resultados até mesmo em relação à amostra **M1**. Na propriedade de absorção, **M3** demonstrou maior poder de geração de humidade em relação à amostra de controlo **M0** e menor em relação a **M2**, uma vez que **M2** funcionalizada com nanopartículas de quitosano apenas, possui mais material para absorção de líquido. Na propriedade de libertação controlada à temperatura ambiente, com o processo de reposição, **M3** demonstrou maior acumulação de líquido em relação a **M2** e menor em relação a **M1**. Na libertação controlada à temperatura da superfície da pele, **M3** apresenta menor quantidade de líquido em relação a **M1** e **M2** e, apresentou maior quantidade de líquido acumulado com relação a **M0**, o que confere a **M3** uma diferença de ganho de massa de 52%, portanto apresenta maior capacidade de geração de humidade que a amostra de controlo;
- Propriedades antimicrobianas: a gaze em tafetá apresentou efeito antimicrobiano baixo com relação a malha, o que era esperado, pois as condições de massa por unidade de área e espessura superiores da malha, permitem a deposição de uma maior quantidade de material, portanto a malha em *jersey* apresenta maior capacidade para receber material funcionalizado. Assim verificam-se pelos resultados que a malha funcionalizada com o revestimento de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo de *Copaifera multijuga* Hayne obteve um resultado muito superior ao da gaze em tafetá, sendo resultado praticamente triplicado.

6.9 Considerações Finais

A aplicação de novos materiais como biomateriais poliméricos demonstram propriedades inovadoras em comparação com os materiais convencionais, devido às suas características quando estão em nano escala. A biofuncionalização do material têxtil pelo método de imersão como pode ser verificado, permite uma cobertura nas fibras da malha, não apresenta-se de forma homogênea e, mesmo com a adição das nanopartículas não foi constatado grandes diferenças nas espessuras para as amostras revestidas em **M1**, **M2** e **M3**.

M3 demonstrou de uma forma geral, maior capacidade para promover isolamento térmico, devendo-se à presença das nanopartículas com óleo de *Copaífera multijuga* Hayne. Obteve também para a propriedade de permeabilidade ao vapor de água uma média inferior de 14,15% em relação a **M0**, malha controle, conferindo maior sensação de humidade por parte do paciente. A gaze em malha revestida com quitosano e nanopartículas de óleo essencial demonstrou capacidade de absorver e distribuir fluido, bem como manter a humidade para uma ferida seca, uma vez que demonstrou maior capacidade de retenção de líquido, sendo superior na libertação controlada à temperatura ambiente, obtendo uma retenção de 11,30% superior nos primeiros 60 minutos e 18,60% na última medição, ou seja, aos 480 minutos (8 horas). Para a libertação controlada a temperatura superficial da pele, obteve 71,40% de retenção de líquidos para os 60 minutos iniciais e 52,00% superior após os 480 minutos (8 horas). Obteve também resultados superiores na propriedade de absorção de líquidos, demonstrando ser superior à malha de controle **M0**.

Com a presença das nanopartículas com óleo de *Copaífera multijuga* Hayne foi verificado que o revestimento promoveu menor desgaste nas propriedades de resistência à tração e, de estabilidade térmica. Verifica-se que a diferença da amostra **M3** na termogravimetria para a amostra de controle **M0**, foi a menor entre as amostras revestidas, obtendo uma degradação de 4,80%. Para a resistência a tração, no sentido da teia apresenta um resultado 22,70% inferior e, no sentido da trama 20,75% superior. Na propriedade de alongamento apresenta resultado superior no sentido da teia e da trama. Para a propriedade do cair, drapeamento, o revestimento com nanopartículas de óleo essencial promoveu menor resistência ao cair com relação à amostra **M1**, revestida com quitosano, embora, a diferença para a amostra de controle **M0**, seja 17,90% maior, objetivamente apresentará boa conformação sob a região do corpo com ferimento.

O têxtil desenvolvido, sob a forma de malha revestida com nanopartículas de quitosano contendo óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne, foi submetido à avaliação *in vitro*, em termos de propriedades morfológicas, propriedades de conforto térmico, propriedades físicas, de gestão da humidade e propriedades antimicrobianas. Embora os resultados referentes as propriedades antimicrobianas tenham mostrado uma eficácia regular do material produzido, nomeadamente o conjunto aplicado ao têxtil, o revestimento de quitosano selecionado incorporado com as nanopartículas com óleo essencial, observa-se que concentração maiores do óleo testado devem ser aplicados para obtenção de melhor efeito antimicrobiano.

Com a aplicação dos estudos conclui-se que o dispositivo médico concebido, deve satisfazer os requisitos a serem cumpridos por pensos, como as propriedades de baixo atrito, gestão da humidade, conforto térmico, incluindo a capacidade de absorver líquidos. A determinação destes parâmetros estudados permite que à avaliação *in vivo* da aplicabilidade deste dispositivo seja destinado para feridas abundantes ou moderadamente exsudativas, promovidas por queimaduras e de natureza crónica.

CAPÍTULO 7

7. PROPOSTA DE *DESIGN* DO VESTUÁRIO MODULAR PARA PACIENTES COM FERIDAS

Neste capítulo, será apresentada uma proposta para o desenvolvimento de um vestuário modular em *patchwork* destinado a pacientes com feridas em grandes áreas do corpo. O capítulo inicia-se com a delimitação da proposta, posteriormente são mostrados os requisitos para elaboração da proposta, que foram elencados através das pesquisas na literatura. Em seguida demonstra-se o processo de *design* utilizado para a produção do protótipo conceitual.

7.1 Delimitação do Trabalho

A técnica de *patchwork* foi, em primeiro lugar, adotada com o objetivo de aproveitar sobras de tecidos, objetivando apenas suprir uma necessidade subjetiva. Originalmente desenvolvido para fins de poupança, largura e substituição do tecido (Zhang, Ge e Cao, 2009). A costura é o processo fundamental de montagem do vestuário, com ramificação em artes têxteis, incluindo tapeçarias, apliques e *patchwork* (Chatterjee *et al.*, 2015). Na atualidade, a referida técnica tem grande aplicação no desenvolvimento de materiais têxteis técnicos, que são destinados desde o desporto, à segurança e, utilizam técnicas de montagem tradicional para o vestuário, como também usam a tecnologia *seamless*.

A técnica *patchwork* é utilizada no desenvolvimento de vestuário técnico ainda da forma tradicional por união das partes de uma peça através da costura ou, por meio da tecnologia *seamless*, sem costura. Esta técnica possibilita aplicar em áreas específicas do vestuário, materiais e estruturas fibrosas funcionais que atendam as especificidades requeridas por determinadas áreas corpo humano. Desta forma, partindo deste mesmo pressuposto, a técnica *patchwork* será utilizada para o desenvolvimento de um vestuário destinado a pacientes com feridas que cobrem grandes áreas do corpo.

O desenvolvimento deste estudo considerou a análise das entrevistas realizadas à equipe da área de dermatologia do Hospital da Senhora da Oliveira, em Guimarães, Portugal e dos profissionais da área de enfermagem da Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil. A proposta foi apresentada para que os referidos profissionais emitissem opinião em termos da nova proposta de enfaixamento. De referir que

os profissionais, relataram ser viável a aplicação da nova forma de enfaixamento. A partir da análise das entrevistas, foi dado continuidade ao trabalho para a execução da proposta de vestuário que atendesse às necessidades levantadas pelos pacientes e profissionais.

7.2 Requisitos para Proposta do Vestuário Modelar Destinado a Pacientes com Feridas

No decurso do desenvolvimento dos têxteis médicos e produtos para a área da saúde como curativos para feridas, estes atraíram um número crescente de estudos e pesquisa, onde se tornaram um mercado emergente (Gerhardt *et al.*, 2013; Derler *et al.*, 2012).

Os requisitos básicos para cura das feridas são um ambiente de ferida limpo e adequadamente livre de infecção, tecido necrótico e material estranho. Fatores sistêmicos como estado nutricional e imunológico, estresse, insuficiência renal e diabetes, impactam na cicatrização de feridas. Para uma melhor cicatrização de feridas, esses fatores devem ser gerenciados de forma eficaz (Vowden e Vowden, 2014). Segundo os referidos autores, um curativo ideal ou combinação de curativos é considerado um que garanta uma cura ideal permitindo:

- Manutenção de alta humidade;
- Remoção do excesso de exsudato da ferida;
- Isolamento térmico;
- Possibilidade a troca gasosa;
- Adequação a conformação com a superfície da ferida;
- Facilitar, quando necessário, o desbridamento;
- Minimizar a formação de cicatrizes;
- Impermeabilidade a bactérias;
- Não toxicidade;
- Não aderente e ser confortável.

O *National Institute for Health and Clinical Excellence*, (2013), especifica que as feridas cirúrgicas requerem uma abordagem diferente em relação às feridas agudas e crónicas. Sendo assim, conforme Wollina *et al.*, (2003), dependendo da aplicação, características como as de resistência à tração, flexibilidade, bem como resistência à permeação por líquidos ou penetração por partículas, estes são requisitos importantes para os têxteis médicos.

7.3 Proposta do *Design* para o Conceito do Vestuário Modular Destinado a Pacientes com Feridas

A modelação desenvolvida na concepção dos moldes foi a plana. Após os moldes serem ajustados, foram digitalizados no sistema CAD da *Lectra Systems - Modaris*. As imagens das modelações apresentadas são dos moldes desenvolvidos especificamente para este trabalho e, para a criação e simulação da modelação no corpo humano foi utilizado o software *Marvelous Designer 3 Enterprise*. Os requisitos dos moldes exigem, pelo tipo de trabalho realizado no enfaixamento do paciente, um corte estilo *skin*. Desta maneira, tendo em vista a utilização de malha para a confecção do produto, utilizou-se um modelo de uma T-shirt, destinado a ambos os sexos, masculino e feminino, tendo em consideração que o tipo de corte apresenta-se justo ao corpo. A Figura 7.1, mostra o desenho em sistema CAD da camisola a desenvolver.

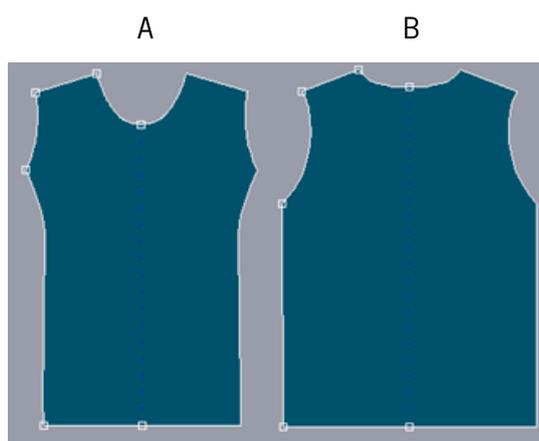


Figura: 7.1: Molde base da T-shirt, A – frente e B – costas.

A proposta de *design* para a T-shirt considerou dentro dos fatores ergonómicos utilizados na aplicação do trabalho, nomeadamente o ato de enfaixamento de um paciente acometido por feridas em grandes áreas no corpo, os macro e micro movimentos utilizados na execução do trabalho por parte dos profissionais de saúde responsáveis e o tempo de execução. Assim, o modelo para a T-shirt foi desenvolvido de modo a ser produzido numa estrutura de malha.

O modelo proposto é composto por duas partes, frente (A) e costas (B). Apresenta áreas com adesivos para a união entre frente e costas, localizadas nos ombros e nas laterais. O conceito *patchwork*, assim

como as funcionalidades propostas foram baseadas nas pesquisas bibliográficas e no levantamento realizado através das entrevistas. Desta forma, consideram-se os seguintes fatores de funcionalidade para a aplicação pretendida:

- Gestão da humidade;
- Conforto geral (fisiológico, psicológico e ergonómico);
- Baixo atrito;
- Bioatividade (evitar a proliferação de microrganismos);
- Controlo da temperatura;
- Absorção do exudato.

Na Figura 7.2, é apresentado o desenho técnico esquemático para o modelo de T-shirt proposto, a ser confeccionado em malha. As características multifuncionais requeridas para a T-shirt advêm da criação de diferentes estruturas para as áreas A1 e B1, mediante a necessidade do paciente, uma vez que o paciente pode ou não estar em tratamento prolongado, sendo necessário desenvolver estudos relacionados com a compressão, seleccionando uma estrutura que melhor atenda a área atingida por feridas.

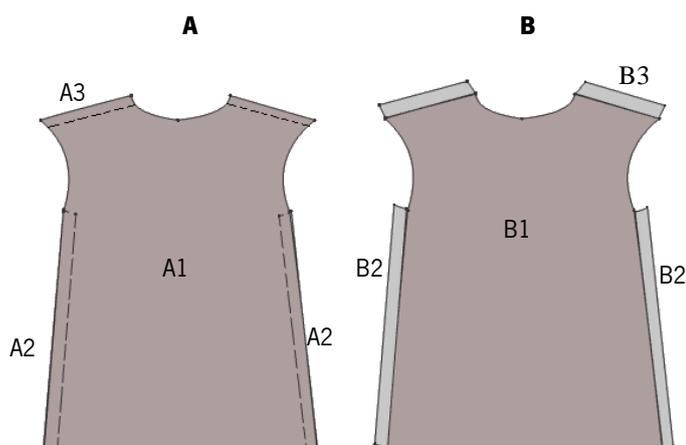


Figura 7.2: Molde da T-shirt, A – frente e B – costas com inclusão das áreas adesivadas.

Verifica-se uma diferença nos novos moldes desenvolvidos, visto que, tendo em consideração a anatomia do corpo masculino, foi necessário fazer alterações no molde frontal. Uma alteração foi realizada na gola, deixando-a com menos cava, proporcionando menos circulação de ar. Uma outra alteração foi realizada no corte da manga, tornando-a mais aberta, de forma a acondicionar melhor a área superior do tronco masculino e feminino e, deixando mais espaço, uma vez que pelo conceito modular, poderá receber adesivos para cobertura dos membros superiores, nomeadamente os braços. Para o modelo proposto, destinado a cura de feridas em grandes áreas das regiões do tronco do corpo humano, as áreas A1 e B1 são consideradas críticas, pois cobrem a totalidade da pele nesta região do corpo, sendo assim, justificada a aplicação das funções no vestuário modular:

- Áreas A1 e B1 - responsável pela proteção do tronco na parte frontal e costas, as regiões do tórax, peitoral maior e trapézio. Prevê-se a funcionalização para atuar contra a proliferação de microrganismos, regulação da temperatura, gestão da humidade, absorção, baixo atrito e adesão;
- Áreas A2, A3, B2 e B3 - são as áreas responsáveis pela união dos módulos do vestuário, sendo responsável também por manter o formato anatómico do vestuário em consonância com o do paciente. As referidas áreas devem permanecer fora de contato com a pele, estando dispostas apenas na camada superior do vestuário.

7.4 Solução Proposta para Substituição do Enfaixamento Tradicional

O conceito técnico *patchwork* para o vestuário multifuncional destinado a pacientes acometidos de feridas proposto neste trabalho, está esquematizado na Figura 7.3. A peça em malha será envolvida no corpo pelo ato de vestir, sendo as suas partes unidas através de adesivos. Essa forma permitirá unir as camadas necessárias para atender à necessidade requerida em termos de cura da ferida.

O conceito multifuncional, assim como o de *patchwork* estará disposto na diferenciação estrutural da malha e nas suas camadas distintas, podendo ser produzidas com os mesmos materiais ou, materiais diferentes, originando uma malha multifuncional. Por exemplo, se a região do corpo ferida for as costas, a funcionalidade caberá apenas a essa região, cabendo a região frontal receber apenas camadas sem funcionalidade. No caso de um tratamento prolongado, tendo a necessidade do paciente passar longos

períodos na posição deitado, existe então a necessidade de estruturas que permitam aliviar a compressão e evitar o surgimento das escaras.

Conforme os critérios de maior necessidade para o paciente, a disposição que será mostrado na Figura 7.5 permitirá obter um melhor rendimento no sentido de cura, em áreas específicas do corpo, para além de diminuir o tempo de trabalho que é levado no enfaixamento de um paciente.

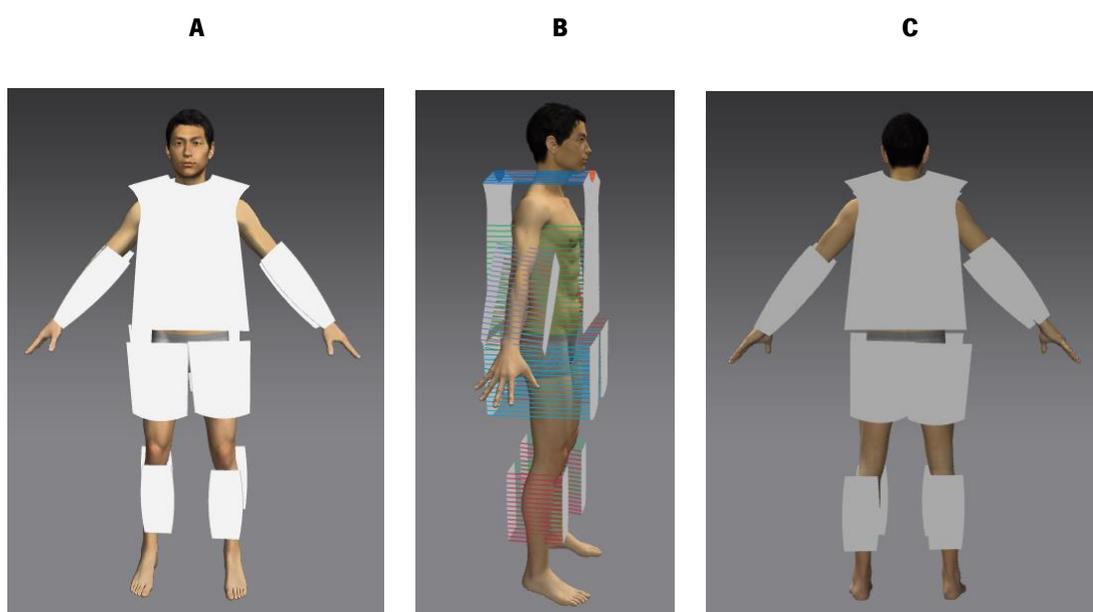


Figura: 7.3: Desenho esquemático para vestuário modular; A – vista frontal, B – vista lateral e C - vista das costas.

Na Figura 7.4, é apresentado o conceito *patchwork* para a área do tronco do corpo humano masculino, assim como também para outros membros do corpo. Pode-se observar na referida figura, a união dos módulos das malhas pela junção das partes adesivadas, apontados pelas setas o formato *skin* pretendido para o vestuário ao ser vestido no corpo humano.

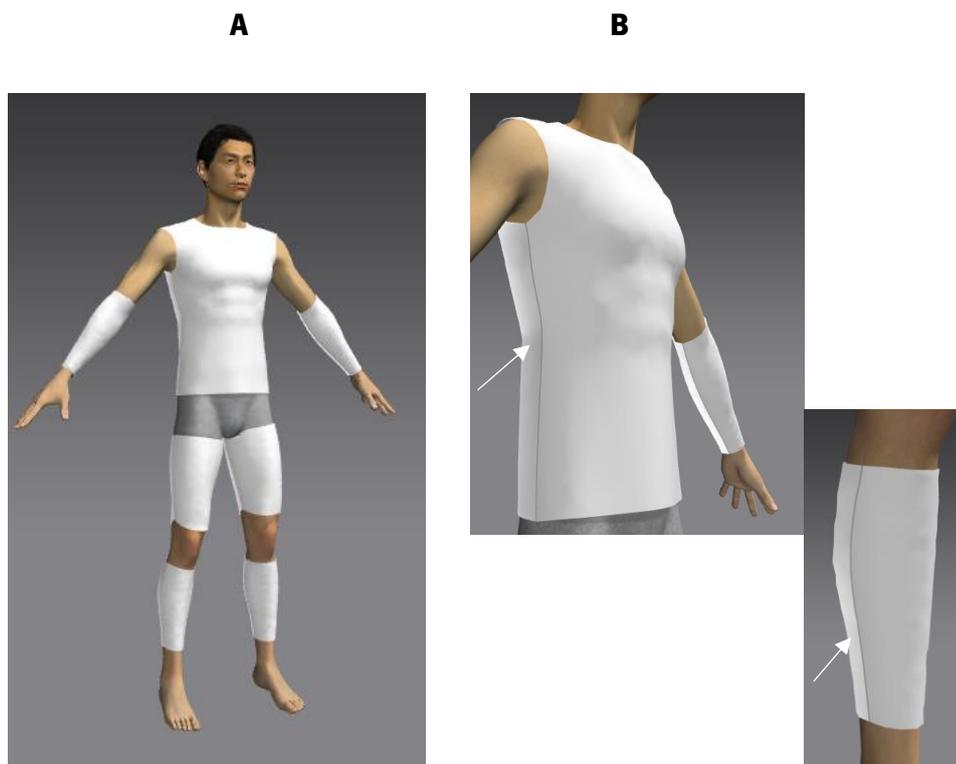


Figura: 7.4: Conceito *patchwork*. A – vista geral tronco e membros e B – vista lateral da área adesivada.

7.5 Estudo dos Moldes Base para Aplicação do Conceito *Patchwork* no Vestuário Modular

Foi produzido inicialmente uma base de modelação para a área do peito e costas para pessoas adultas no tamanho 40 na posição anatómica deitada, nomeadamente para o sexo masculino e feminino. Foi também produzido um modelo infantil, para a idade de 5 anos, de forma que a partir dos moldes base pudessem ser realizados estudos ergonómicos referente a anatomia e, à necessidade de movimento por parte do utilizador e do profissional, ao executar o trabalho de enfaixamento. A modelação base também permitirá realizar possíveis ajustamentos a serem realizados em futuras modelações destinadas ao vestuário modular para pessoas acometidas de feridas crónicas e/ou por queimaduras, nas regiões do peito e costas.

Após a execução dos moldes bases, risco, corte e da montagem das peças na posição anatómica em pé, seguiram-se testes com as provas das peças em manequins para verificar quais as zonas que necessitavam de ser alteradas e, realizar as alterações que fossem necessárias até se chegar a um molde

considerado como de referência para a construção do modelo, destinado a pacientes na posição anatômica deitado. Como pode ser verificado na Figura 7.5.

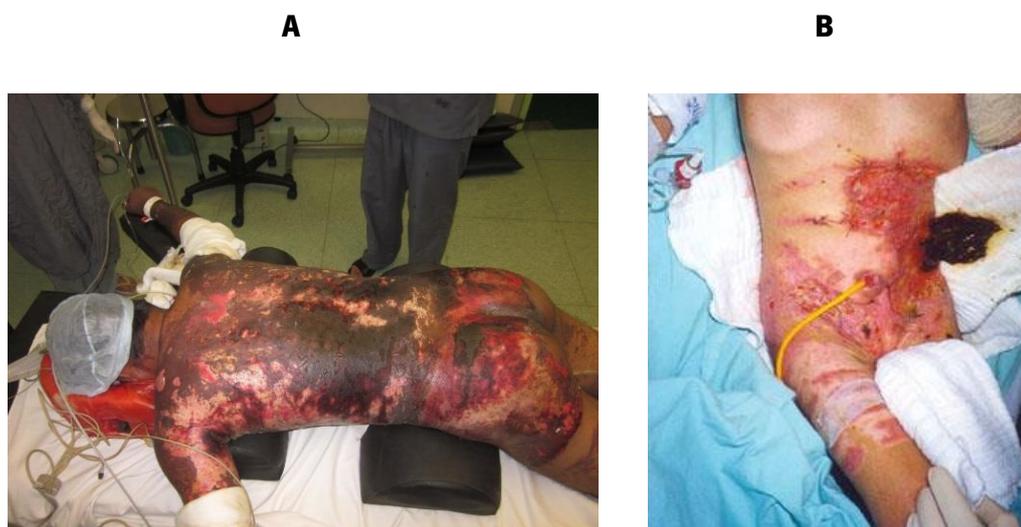


Figura 7.5: A – queimadura (<https://www.pinterest.pt/bebblyanderson/nursing-burns/>) e B – ferida crônica (<http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp>).

Nas Figuras 7.6 e 7.7, estão dispostos os moldes base do modelo de vestuário, nomeadamente uma T-shirt infantil em algodão produzida com fio 24 Ne a dois cabos e uma T-shirt adulta em poliamida produzida com fio 24 dtex, respetivamente, para ambos os sexos, sobrepostas em manequim e fixadas com alfinetes para modelação. Verifica-se que a base do infantil (Figura 7.6), em A e C necessitou de alterações, uma vez que na junção nos ombros e nas laterais da peça, constatou-se excesso de malha, formando rugosidades. Os ajustamentos que foram identificados, apenas no modelo infantil, consistiram em: retirar excessos de tecido na zonas laterais da peça e do ombro diminuindo a largura e o comprimento da peça.



Figura 7.6: Teste de conceito para o modelo infantil em algodão A – vista frontal, B – vista das costas e C – vista lateral.

Na Figura 7.7, no modelo do vestuário produzido em poliamida, no manequim feminino verifica-se que o mesmo não apresentou nenhum tipo de excesso ou rugosidade nas áreas de união da peça.

Para ambos os modelos, algodão e poliamida convencional, verifica-se também o conceito *skin*, uma vez que existe a necessidade da camada de malha estar com o ajustamento adequado direto com o corpo, sem espaços entre a pele e o vestuário, visto que estas áreas apresentam desníveis que favorecem a acumulação de líquidos e são suscetíveis à proliferação de microrganismos.

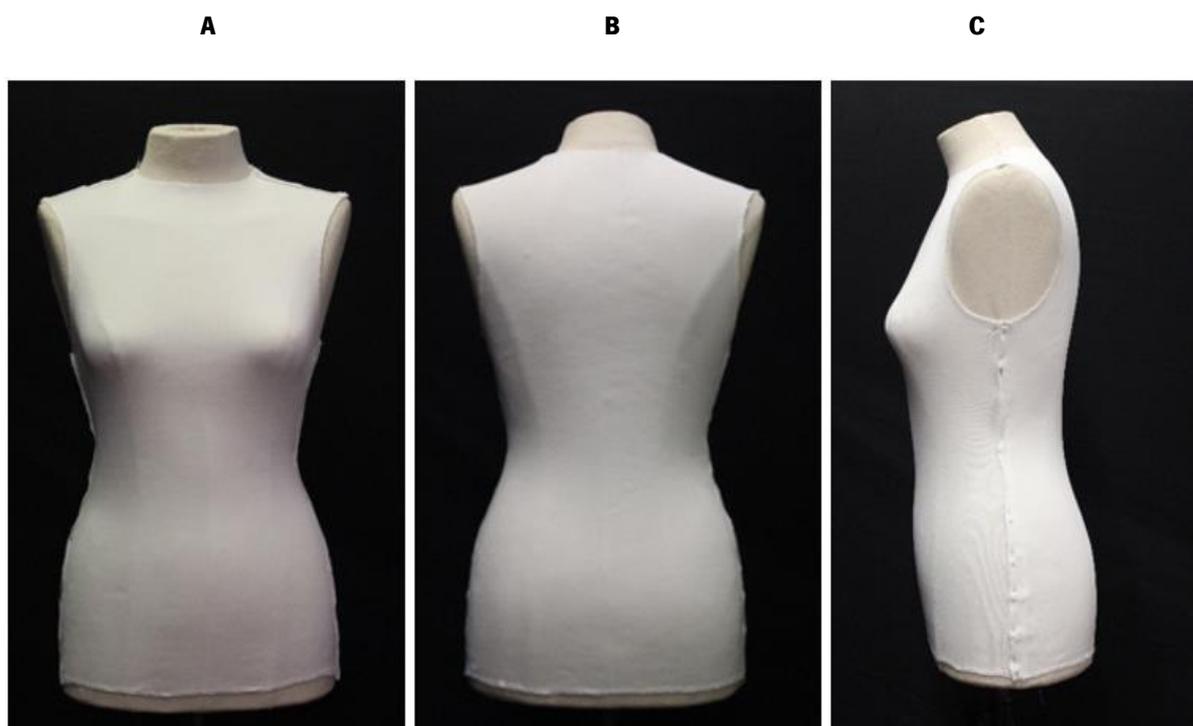


Figura 7.7: Teste de conceito para o modelo unisex adulto em Poliamida, A – vista frontal, B – vista das costas e C – vista lateral.

7.6 Apresentação do *Design* Visual dos Protótipos

O desenvolvimento das modelações base em têxtil, nomeadamente malha, serão destinadas à aplicação em pacientes acometidos de feridas que permaneçam na posição deitado. Conforme referido anteriormente, com a aplicação e ajustes dos moldes para a primeira peça piloto a ser testada em manequim feminino, o molde do desenho técnico propostos na Figura 7.2 foi desenvolvido. Na Figura 7.8 é apresentado a forma de vestir, demonstrando a união das partes componentes do vestuário sendo unidas através de adesivo.

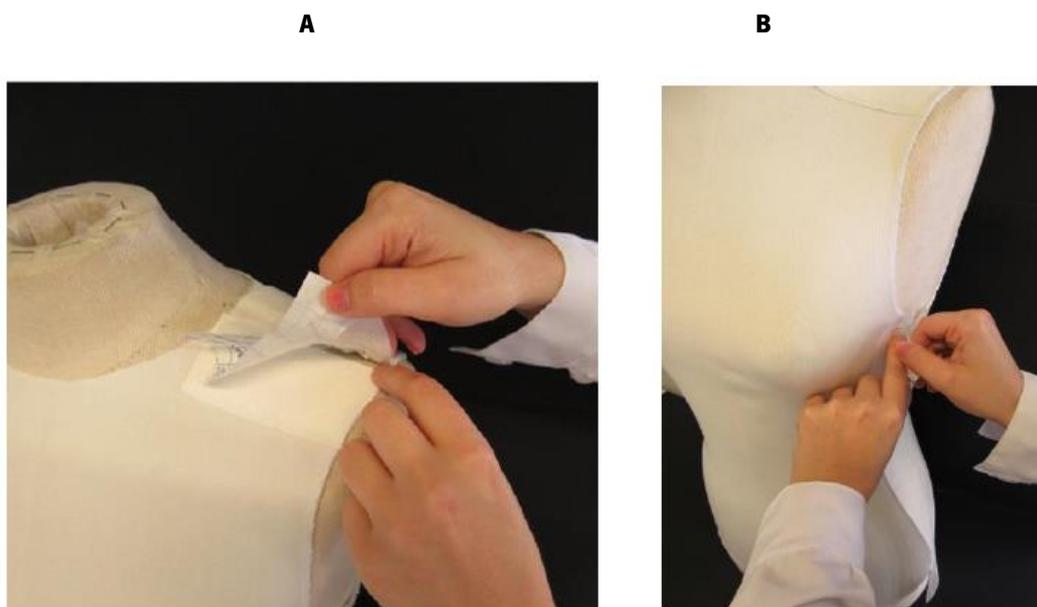


Figura 7.8: Teste do vestir para o modelo unissexo adulto em Poliamida, A – união do ombro, B – união das laterais.

A Figura 7.9 apresenta o aspecto interno do vestuário em malha produzido em algodão e poliamida. Observa-se que ao vestir o manequim, a fixação dos adesivos para ambas as malhas mantem-se.

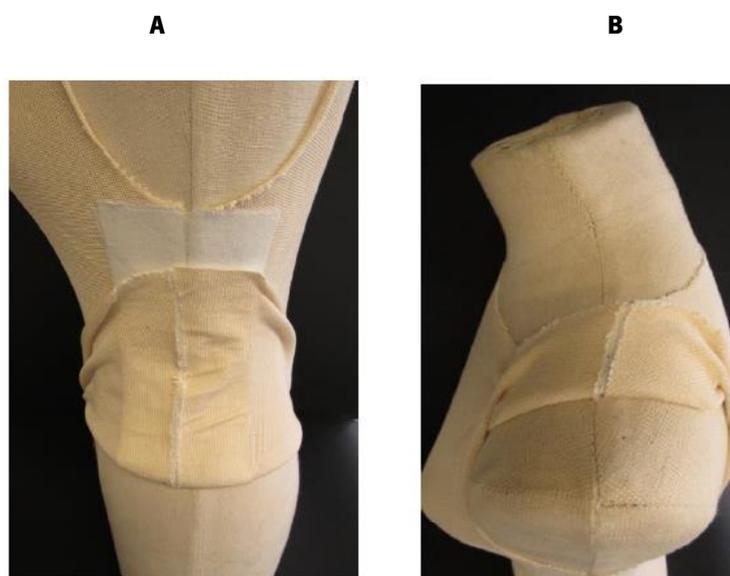


Figura 7.9: Vista interna da união das partes componentes do vestuário para o modelo unissexo adulto em algodão , A – união da lateral , B – união do ombro.

A Figura 7.10 apresenta o aspecto visual das peças produzidas em malha na estrutura *jersey* em 100% algodão e 100% poliamida. Observa-se para ambos os tipos de vestuário proposto que o formato *skin* é mantido, as rugosidade indicadas pelas setas são parte do movimento de vestir, não se verifica que são causas da estrutura da malha, tipo de corte e montagem da peça.



Figura 7.10: *Design* visual dos protótipos para modelo unissexo adulto, parte superior - modelo em algodão e parte inferior - modelo em poliamida, A – vista frontal, B – vista lateral e C –vista das costas.

7.7 Considerações Finais

A proposta do conceito *patchwork* foi um dos objectivos específicos deste trabalho, estando relacionado com o desenvolvimento inicial de uma modelação para malha e, a partir da proposta inicial do modelo, fazer as alterações necessárias para o tipo de vestuário proposto.

Produziu-se a modelação para a malha, os moldes base foram direccionados para os tamanhos infantil e adulto, no modelo unissexo, posteriormente foram testados nos manequins infantil e feminino para o modelo adulto. A partir dos moldes base produzidos para a malha, verificou-se que as alterações feitas no molde infantil estiveram relacionadas com a anatomia do corpo do manequim, mais do que a necessidade de ajuste da malha ao molde propriamente dito. De referir que a criação dos moldes base são para utilização em malha, não estando previsto a sua utilização em tecido plano.

O procedimento utilizado revelou-se acertado, pois verificou-se através da análise visual no manequim que, para o molde proposto no teste em manequim, não importa que o tipo de modelação seja masculino ou feminino, para adulto ou criança, os moldes demonstraram que poderiam ser utilizados para a mesma função, mesmo com a diferença anatômica existente para o sexo masculino e feminino na fase adulta.

Conclui-se que as modelações que foram desenvolvidas como proposta de *design* para o vestuário *patchwork* atendem às expectativas propostas em termos de *design* anatómico e ergonómico quando testada em manequins. Para além disso, será necesario efetuar uma pesquisa de campo aprofundada para esta proposta de produto, de forma a poder validar o dispositivo. Salienta-se, que ainda existe um longo trabalho de pesquisa para a validação da referida proposta de vestuário modular aplicado a pacientes com feridas.

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

8.1 Conclusões

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, observou-se que foi possível produzir nanopartículas de quitosano através do método de síntese de gelificação iónica, assim como incorporar óleo de *Copaífera multijuga* Hayne às nanopartículas. A utilização do polímero biodegradável, o quitosano, demonstrou ser importante para o desenvolvimento das nanopartículas, uma vez que foi possível verificar a ação sinérgica entre o óleo essencial utilizado e o polímero quitosano. Desta forma, os resultados obtidos permitem concluir que:

- Desenvolvimento da matriz polimérica – com relação às concentrações de quitosano avaliadas, a concentração com 0.125 g de quitosano dissolvida em 1 ml de ácido acético apresentou, através dos testes aplicados, a melhor concentração em termos de revestimento para a gaze em tafetá utilizada como tecido padrão. Para esta condição, com a aplicação do modelo de seleção através do *software* do programa *Matlab*, observou-se que a referida concentração mostrou um comportamento regular para os testes aplicados em termos de gestão da humidade, flexibilidade, propriedades de conforto térmico e fricção. A caracterização da amostra selecionada, como a de melhor condição de revestimento em termos de tração, análise termogravimétrica e cair, permitiu destacar que mesmo com o desgaste após o revestimento em meio ácido, comum para materiais à base de celulose, como o algodão, a diferença registrada com à aplicação da matriz polimérica de quitosano, não interferirá no rendimento do têxtil para a aplicação definida;
- Síntese das nanopartículas – as melhores condições para a produção das nanopartículas de quitosano, entre as testadas, está na concentração de 0.250 g de quitosano em peso, com adição de 10 mL de tripolifosfato de sódio (TPP). Nestas condições, foram obtidas nanopartículas com o tamanho médio de 294.2 nm, potencial zeta de 31.6 mV e polidispersão de 0.26 PDI.

Como previsto, com a adição do óleo essencial, as nanopartículas sofreram um aumento médio no seu tamanho em decorrência da adição do óleo. A melhor condição para a concentração utilizada na síntese das nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo de *Copaífera multijuga* Hayne foi na proporção de 0.250 g de quitosano e 10 mL de TPP, que possibilitou obter nanopartículas com tamanho médio de 308.9 nm, potencial zeta de 29.90 mV e polidispersão de 0.7 PDI;

- Revestimento da malha – a malha em estrutura *jersey* foi revestida com a concentração de gel de quitosano de 0.125 g, com nanopartículas de quitosano e nanopartículas de quitosano incorporadas com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne. Verificou-se que a referida concentração de quitosano aplicada na amostra obteve menor interferência nas suas características em termos de flexibilidade e cair em relação à gaze em tafetá. O revestimento aplicado com nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo essencial de *Copaífera*, proporcionou maior estabilidade térmica e de resistência à tração com relação à concentração aplicada apenas com quitosano e nanopartículas de quitosano;
- Atividade antimicrobiana dos biomateriais – o óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne na concentração utilizada, 1 mg/mL, obteve resultado inibitório apenas para o microrganismo *S. aureus* (ATCC 25923). Contudo, foi possível verificar que as nanopartículas de quitosano incorporadas com o óleo de *Copaífera* promoveram uma ação sinérgica para os três tipos de microrganismos testados, *S. aureus* (ATCC 25923) considerado regular, *E. coli* (ATCC 25922) e *C. albicans* (ATCC 10231) considerados baixo. Para os têxteis funcionalizados, observa-se que a malha apresentou os melhores resultados, exibindo poder de inibição para os três microrganismos, visto que pelas suas condições, maior massa por unidade de área e espessura, foi possível revestir com maior quantidade de material em termos de matriz polimérica e nanopartículas incorporadas com óleo de *Copaífera*, obtendo maior fator de inibição para o *S. aureus* (ATCC 25923);
- Proposta do vestuário modular – verificou-se que o protótipo apresentado está dentro do conceito *skin*, justo à pele, não apresentando rugosidades em grandes áreas da malha. Inicialmente o adesivo cobriu uma largura de 5 cm para verificação da resistência da união das partes da peça, o que foi possível comprovar com o teste no manequim. A proposta carece de estudos mais aprofundados, principalmente no que se refere ao tipo de trabalho desenvolvido em hospitais,

em relação ao tratamento dos tipos de feridas para o qual está indicado. Pesquisas referentes aos macro e micro movimentos por parte dos profissionais de saúde devem ser realizadas, de forma a desenvolver a técnica correta de enfaixamento a ser utilizada para o produto.

Desta forma, o trabalho desenvolvido no âmbito do Programa Doutoral em Engenharia Têxtil contribui para o avanço do conhecimento na área têxtil e da bionanotecnologia destinada à área da saúde. Perante os resultados apresentados espera-se que os nanomateriais desenvolvidos proporcionem a obtenção de um conjunto de produtos diferenciados e inovadores para os campos industriais, nomeadamente o de biotecnologia, o têxtil e o da saúde.

8.2 Perspectivas Futuras

Os resultados obtidos neste trabalho são considerados importantes, uma vez que demonstraram ser possível a obtenção de nanopartículas de quitosano com óleo resina de *Copaífera multijuga* Hayne. Contudo, é necessário o aperfeiçoamento das propriedades das nanopartículas e do substrato têxtil a ser produzido e funcionalizado. Dessa forma, sugere-se as seguintes considerações:

- Biomateriais – tendo em consideração os biomateriais existentes, o trabalho permite explorar a utilização de uma gama variada de matrizes poliméricas, resinas naturais poderão ser estudadas para verificação de suas propriedades e possível aplicação na área de estudo do trabalho. No que respeita aos óleos essenciais, torna-se ainda necessário uma investigação com outros tipos de óleos que se enquadrem no perfil de aplicação da área de estudo. Para as nanopartículas sugere-se o estudo de outros biomateriais como por exemplo alginato, goma arábica, entre outros;
- Síntese das nanopartículas – o processo de gelificação iónica mostrou-se eficiente ao ser utilizado com a agitação magnética, tendo em vista que se obteve melhores condições em termos de características para as nanopartículas e, a versatilidade do processo de síntese, investigar as condições de produção das nanopartículas em meios de produção com equipamentos como o homogeneizador e centrífuga, para além disso testar outras condições, nomeadamente pH e tempo

de produção para cada um dos meios já citados, visando estabelecer uma maior padronização no processo de produção;

- Ensaios biológicos - aumentar a gama de microrganismos a serem utilizados em testes para as nanopartículas e malha, de forma a obter melhores condições de avaliação do mecanismo de ação do óleo de *Copaífera multijuga* Hayne, assim como realizar testes para avaliação da penetração dos microrganismos no substrato têxtil, devido a contaminação externa, bem como aplicar métodos de ensaios laboratoriais *in vivo*, de forma a elencar dados que contribuam para à avaliação do processo de cicatrização em feridas;
- Design do vestuário - realizar uma investigação aprofundada com relação aos parâmetros relacionados com o processo de produção do vestuário modular, com o propósito de se obter informações que auxiliem na produção, uma vez que as feridas crónicas possuem características diferentes em relação a feridas causadas por queimaduras. O processo de *design* deve ser pensado desde a produção, tipos de estruturas, funcionalização até o processo de embalagem, tendo em consideração a forma de libertação do princípio ativo dos constituintes incorporados nas nanopartículas, estes são fatores importantes para a determinação da viabilidade económica do produto;
- Propriedades do têxtil multifuncional – aplicar um estudo pormenorizado relacionado com as propriedades mecânicas, de conforto térmico e de gestão da humidade nas estruturas de malha a serem desenvolvidas, uma vez que o conceito multifuncional a ser aplicado requer que o têxtil, nomeadamente a malha em jersey apresente várias funcionalidades como a de gestão da humidade, baixo atrito, controlo térmico, não se limitando apenas as atividades antimicrobianas proporcionadas pelas nanopartículas de quitosano com óleo essencial de *Copaífera multijuga* Hayne.

REFERÊNCIAS

AATCC Test Method 100-2012 Antibacterial Finishes on Textile Materials Assessment of Fulltext Information (2012).

Abarca, R. L., Rodriguez, F. J., Guarda, A., Galotto, M. J., Bruna, J. E. (2016). Characterization of beta-cyclodextrin inclusion complexes containing an essential oil component. *Food chemistry*, 196, 968-975.

Abdelgawad, A. M., Hudson, S. M., Rojas, O. J. (2014). Antimicrobial wound dressing nanofiber mats from multicomponent (chitosan/silver-NPs/polyvinyl alcohol) systems. *Carbohydrate polymers*, 100, 166-178.

Abdel-Mohdy, F. A., Fouda, M. M., Rehan, M. F., Aly, A. S. (2008). Repellency of controlled-release treated cotton fabrics based on cypermethrin and prallethrin. *Carbohydrate polymers*, 73(1), 92-97.

Abou-Okeil, A., El-Shafie, A., Hebeish, A. (2007). Chitosan phosphate induced better thermal characteristics to cotton fabric. *Journal of applied polymer science*, 103(3), 2021-2026.

Acosta, E. (2009). Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Current opinion in colloid & interface science*, 14(1), 3-15.

Ahamed, M. N., Sankar, S., Kashif, P. M., Basha, S. H., Sastry, T. P. (2015). Evaluation of biomaterial containing regenerated cellulose and chitosan incorporated with silver nanoparticles. *International journal of biological macromolecules*, 72, 680-686.

Alay, S., Alkan, C., Göde, F. (2012). Steady-state thermal comfort properties of fabrics incorporated with microencapsulated phase change materials. *Journal of the Textile Institute*, 103(7), 757-765.

Anghel, I., Holban, A. M., Grumezescu, A. M., Andronescu, E., Ficai, A., Anghel, A. G., Chifiriuc, M. C. (2012). Modified wound dressing with phyto-nanostructured coating to prevent staphylococcal and pseudomonal biofilm development. *Nanoscale research letters*, 7(1), 690.

Anjum, S., Arora, A., Alam, M. S., Gupta, B. (2016). Development of antimicrobial and scar preventive chitosan hydrogel wound dressings. *International journal of pharmaceutics*, 508(1), 92-101.

Aouada, M. R. M. , (2009). Aplicação de nanopartículas em filmes utilizados em embalagens para alimentos. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.

Archana, D., Singh, B. K., Dutta, J., Dutta, P. K. (2013). In vivo evaluation of chitosan–PVP–titanium dioxide nanocomposite as wound dressing material. *Carbohydrate polymers*, 95(1), 530-539.

Arruebo, M., Fernández-Pacheco, R., Ibarra, M. R., Santamaría, J. (2007). Magnetic nanoparticles for drug delivery. *Nano today*, 2(3), 22-32.

Atiyeh, B. S., Hayek, S. N. (2005). Pressure sores with associated spasticity: a clinical challenge. *International wound journal*, 2(1), 77-80.

Avadi, M. R., Sadeghi, A. M. M., Mohammadpour, N., Abedin, S., Atyabi, F., Dinarvand, R., Rafiee-Tehrani, M. (2010). Preparation and characterization of insulin nanoparticles using chitosan and Arabic gum with ionic gelation method. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6(1), 58-63.

Bagre, A. P., Jain, K., Jain, N. K. (2013). Alginate coated chitosan core shell nanoparticles for oral delivery of enoxaparin: in vitro and in vivo assessment. *International journal of pharmaceutics*, 456(1), 31-40.

Bai, M. Y., Chou, T. C., Tsai, J. C., Yu, W. C. (2014). The effect of active ingredient-containing chitosan/polycaprolactone nonwoven mat on wound healing: In vitro and in vivo studies. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(7), 2324-2333.

Bajpai, S. K., Chand, N., Chaurasia, V. (2010). Investigation of water vapor permeability and antimicrobial property of zinc oxide nanoparticles-loaded chitosan-based edible film. *Journal of applied polymer science*, 115(2), 674-683.

Balunas, M. J., Kinghorn, A. D. (2005). Drug discovery from medicinal plants. *Life sciences*, 78(5), 431-441.

Bandoni, A. L., Czepack, M. P. (2008). Os recursos vegetais aromáticos no Brasil. Vitoria: Edufes, 624p.

Bansal, V., Sharma, P. K., Sharma, N., Pal, O. P., Malviya, R. (2011). Applications of chitosan and chitosan derivatives in drug delivery. *Advances in Biological Research*, 5(1), 28-37.

Bao, Y. H., Pan, W., Wang, T. W., Wang, Z., Wei, F. M., Xiao, F. (2011). Microencapsulation of fatty acid as phase change material for latent heat storage. *Journal of Energy Engineering*, 137(4), 214-219.

Barbosa, P., Medeiros, R. S., Sampaio, P. T., Vieira, G., Wiedemann, L. S., Veiga-Junior, V. F. (2012). Influence of abiotic factors on the chemical composition of copaiba oil (*Copaifera multijuga* Hayne): soil composition, seasonality and diameter at breast height. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(10), 1823-1833.

Bardají, D. K. R., da Silva, J. J. M., Bianchi, T. C., de Souza Eugênio, D., de Oliveira, P. F., Leandro, L. F., Bastos, J. K. (2016). *Copaifera reticulata* oleoresin: chemical characterization and antibacterial properties against oral pathogens. *Anaerobe*, 40, 18-27.

Bartels, V. (2011). *Handbook of medical textiles*. Elsevier., 221-247.

Bass, M.J., Phillips, L.G., (2007). Pressure sores. *Curr. Probl. Surg.* 44, 101–143.

Bawa, R. (2007). The future of nanomedicine. *Hopes and Visions for the 21st Century*, Bethesda, World Future Society, p. 427.

Béduneau, A., Saulnier, P., Benoit, J.P. (2007). Active targeting of brain tumors using nanocarriers. *Biomaterials*, 33, 4947–4967.

Belščak-Cvitanović, A., Stojanović, R., Manojlović, V., Komes, D., Cindrić, I. J., Nedović, V., Bugarski, B. (2011). Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate–chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. *Food research international*, 44(4), 1094-1101.

Bernela, M., Kaur, P., Chopra, M., Thakur, R. (2014). Synthesis, characterization of nisin loaded alginate–chitosan–pluronic composite nanoparticles and evaluation against microbes. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1093-1099.

Beyki, M., Zhavah, S., Khalili, S. T., Rahmani-Cherati, T., Abollahi, A., Bayat, M., Mohsenifar, A. (2014). Encapsulation of *Mentha piperita* essential oils in chitosan–cinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. *Industrial Crops and Products*, 54, 310-319.

- Bhuiyan, M. R., Hossain, M. A., Zakaria, M., Islam, M. N., Uddin, M. Z. (2016). Chitosan coated cotton fiber: physical and antimicrobial properties for apparel use. *Journal of Polymers and the Environment*, 1-9.
- Bishop, S. M., Walker, M., Rogers, A. A., Chen, W. Y. (2003). Importance of moisture balance at the wound-dressing interface. *Journal of wound care*, 12(4), 125-128.
- Bizzo, H. R., Hovell, A. M. C., Rezende, C. M. (2009). Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, 32(3), 588-594.
- Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N., Eccleston, G. M. (2008). Wound healing dressings and drug delivery systems: a review. *Journal of pharmaceutical sciences*, 97(8), 2892-2923.
- Bochner, R., Fizon, J. T., Assis, M. A., Avelar, K. E. S. (2012). Problemas associados ao uso de plantas medicinais comercializadas no Mercado de Madureira, município do Rio de Janeiro, Brasil.
- Bodini, S. F., Manfredini, S., EPP, M., Valentini, S., Santori, F. (2009). Quorum sensing inhibition activity of garlic extract and p-coumaric acid. *Lett Applied Microbiology*, Inglaterra, v. 49, n. 5, p. 551-558.
- Bolton, L. (2007). Operational definition of moist wound healing. *Journal of Wound Ostomy & Continence Nursing*, 34(1), 23-29.
- Bonan, R. F., Bonan, P. R., Batista, A. U., Sampaio, F. C., Albuquerque, A. J., Moraes, M. C., Oliveira, J. E., (2015). In vitro antimicrobial activity of solution blow spun poly (lactic acid)/polyvinylpyrrolidone nanofibers loaded with Copaiba (*Copaifera sp.*) oil. *Materials Science and Engineering: C*, 48, 372-377.
- Boonkaew, B., Kempf, M., Kimble, R., Supaphol, P., Cuttle, L. (2014). Antimicrobial efficacy of a novel silver hydrogel dressing compared to two common silver burn wound dressings: Acticoat™ and PolyMem Silver®. *Burns*, 40(1), 89-96.
- Boucard, N., Viton, C., Agay, D., Mari, E., Roger, T., Chancerelle, Y., Domard, A. (2007). The use of physical hydrogels of chitosan for skin regeneration following third-degree burns. *Biomaterials*, 28(24), 3478-3488.
- Breitwieser, D., Spirk, S., Fasl, H., Ehmann, H. M., Chemelli, A., Reichel, V. E., Ribitsch, V. (2013). Design of simultaneous antimicrobial and anticoagulant surfaces based on nanoparticles and polysaccharides. *Journal of Materials Chemistry B*, 1(15), 2022-2030.

Broussard, K. C., Powers, J. G. (2013). Wound dressings: selecting the most appropriate type. *Am J Clin Dermatol*; 14(6): 449-59.

Bueno, C. Z., Dias, A. M. A., de Sousa, H. J. C., Braga, M. E. M., Moraes, A. M. (2014). Control of the properties of porous chitosan–alginate membranes through the addition of different proportions of Pluronic F68. *Materials Science and Engineering C*, v. 44, p. 117–125.

Bueno, M. A., Bocquet, R., Turlonias, M., Rossi, R. M., Derler, S. (2013). Study of friction mechanisms of hairy textile fabrics. *Wear*, 303(1), 343-353.

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, 94(3), 223-253.

Busatta, C., Mossi, A. J., Rodrigues, M. R. A., Cansian, R. L., Oliveira, J. V. D. (2007). Evaluation of *Origanum vulgare* essential oil as antimicrobial agent in sausage. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38(4), 610-616.

Cai, N., Li, C., Luo, X., Xue, Y., Shen, L., Yu, F. (2016). A strategy for improving mechanical properties of composite nanofibers through surface functionalization of fillers with hyperbranched polyglycerol. *Journal of materials science*, 51(2), 797-808.

Calvo, P., Remuñán-López, C., Vila-Jato, J. L., Alonso, M. J. (1997). Novel hydrophilic chitosan–polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 63, n. 1, p. 125-132.

Campos, D. A., Ribeiro, A. C., Costa, E. M., Fernandes, J. C., Tavarina, F. K., Araruna, F. B., Eiras, C., Eaton, P., Leite, J. R. S. A., Pintado, M. M. (2012). Study of antimicrobial activity and atomic force microscopy imaging of the action mechanism of cashew tree gum. *Carbohydrate Polymers*, 90, 270-274.

Cantalino Santos, J., Carvalho Filho, D., Fraga Barros, T., Gil Guimarães, A. (2011). Atividade antimicrobiana in vitro dos óleos essenciais de orégano, alho, cravo e limão sobre bactérias patogênicas isoladas de vôngole. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4).

Carvalho, I., Henriques, M., Oliveira, J. C., Alves, C. F. A., Piedade, A. P., Carvalho, S. (2013). Influence of surface features on the adhesion of *Staphylococcus epidermidis* to Ag–TiCN thin films. *Science and Technology of Advanced Materials*, 14(3), 035009.

- Carvalho, J. C. T., Cascon, V., Possebon, L. S., Morimoto, M. S. S., Cardoso, L. G. V., Kaplan, M. A. C., Gilbert, B., (2005). Topical antiinflammatory and analgesic activities of *Copaifera duckei* Dwyer. *Phytotherapy Research*, 19(11), 946-950.
- Céline, P. B., Antoine, V., Denis, B., Laurent, V., Laurent, D., Catherine, F. (2013). Development and characterization of composite chitosan/active carbon hydrogels for a medical application. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(5), 2945-2953.
- Cerreto, F., Paolicelli, P., Cesa, S., Amara, H. M. A., D'Auria, F. D., Simonetti, G., Casadei, M. A. (2013). Solid lipid nanoparticles as effective reservoir systems for long-term preservation of multidose formulations. *AAPS PharmSciTech*, 14(2), 847-853.
- Chatterjee, K. N., Jhanji, Y., Grover, T., Bansal, N., Bhattacharyya, S. (2015). Selecting garment accessories, trims, and closures. *Garment Manufacturing Technology*, 129.
- Chattopadhyay, D., Inamdar, M. S. (2013). Improvement in properties of cotton fabric through synthesized nano-chitosan application. *Indian J Fibre Text Res* 38(1):14–21.
- Chen, C., Liu, L., Huang, T., Wang, Q., Fang, Y. e. (2013). Bubble template fabrication of chitosan/poly(vinyl alcohol) sponges for wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62, 188–193.
- Chen, F., Shi, Z., Neoh, K. G., Kang, E. T. (2009). Antioxidant and antibacterial activities of eugenol and carvacrol-grafted chitosan nanoparticles. *Biotechnology and bioengineering*, 104(1), 30-39.
- Chen, J. P., Chiang, Y. (2010). Bioactive electrospun silver nanoparticles-containing polyurethane nanofibers as wound dressings. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10, 7560–7564.
- Cheng, F.Y., Su, C.H., Wu, P.C., Yeh, C.S. (2010). Multifunctional polymeric nanoparticles for combined chemotherapeutic and near-infrared photothermal cancer therapy in vitro and in vivo. *Chem Commun (Camb)* 46:3167-9.
- Cheng, X., Ma, K., Li, R., Ren, X., Huang, T. S. (2014). Antimicrobial coating of modified chitosan onto cotton fabrics. *Applied Surface Science*, 309, 138-143.
- Chopra, M., Kaur, P., Bernela, M., Thakur, R. (2012). Synthesis and optimization of streptomycin loaded chitosan-alginate nanoparticles. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 1(10), 31-34.

Cimilli, S., Nergis, B., Candan, C., Ozdemir, M. (2009). A comparative study of some comfort related properties of socks from different fiber types. *Textile Research Journal*, 80, 948–957.

Colwell, J. C., Ratliff, C. R., Goldberg, M., Baharestani, M. M., Bliss, D. Z., Gray, M., Black, J. M. (2011). MASD part 3: peristomal moisture-associated dermatitis and periwound moisture-associated dermatitis: a consensus. *Journal of Wound Ostomy & Continence Nursing*, 38(5), 541-553.

Coman, D., Oancea, S., Vrinceanu, N. (2010). Biofunctionalization of textile materials by antimicrobial treatments: a critical overview. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(1), 4914.

Correa-Royero, J., Tangarife, V., Duran, C., Stashenko, E., Mesaarango, A. (2010). In Vitro Antifungal Activity and Cytotoxic Effect of Essential Oils and Extracts of Medicinal and Aromatic Plants Against *Candida krusei* and *Aspergillus fumigatus*. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 20(5): p. 734-741.

Çoruh, E. (2015). Optimization of comfort properties of single jersey knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.

Croisier, F., Jérôme, C. (2013). Chitosan-based biomaterials for tissueengineering. *European Polymer Journal*, 49(4), 780–792.

Dai, T., Tanaka, M., Huang, Y. Y., Hamblin, M. R. (2011). Chitosan preparations for wounds and burns: antimicrobial and wound-healing effects. *Expert review of anti-infective therapy*, 9(7), 857-879.

Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., Chiellini, E. (2011). Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. *Progress in polymer science*, 36(8), 981-1014.

Derler, S., Gerhardt, L. C. (2012). Tribology of skin: review and analysis of experimental results for the friction coefficient of human skin. *Tribology Letters*, 45(1), 1-27.

Derler, S., Rao, A., Ballistreri, P., Huber, R., Scheel-Sailer, A., Rossi, R. M. (2012). Medical textiles with low friction for decubitus prevention. *Tribology International*, 46(1), 208-214.

De-Souza, M. M., Garbeloto, M., Denez, K., Eger-Mangrich, I. (2006). Avaliação dos efeitos centrais dos florais de Bach em camundongos através de modelos farmacológicos específicos. *Rev Bras Farmacogn*, 16(3), 365-371.

- Devi, P. R., Kumar, C. S., Selvamani, P., Subramanian, N., Ruckmani, K. (2015). Synthesis and characterization of Arabic gum capped gold nanoparticles for tumor-targeted drug delivery. *Materials Letters*, 139, 241-244.
- Dhingra, N., Kar, A., Sharma, R., Bhasin, S. (2017). In-vitro antioxidative potential of different fractions from *Prunus dulcis* seeds: Vis a vis antiproliferative and antibacterial activities of active compounds. *South African Journal of Botany*, 108, 184-192.
- Dias, A. M. A., Braga, M. E. M., Seabra, I. J., Ferreira, P., Gil, M. H., de Sousa, H. C. (2011). Development of naturalbased wound dressings impregnated with bioactive compounds and using supercritical carbon dioxide. *International Journal of Pharmaceutics*, 408, 9–19.
- Dias, D. D. O., Colombo, M., Kelmann, R. G., Kaiser, S., Lucca, L. G., Teixeira, H. F., Koester, L. S. (2012). Optimization of Copaiba oil-based nanoemulsions obtained by different preparation methods. *Industrial Crops and Products*, 59, 154-162.
- Dimer, F. A., Friedrich, R. B., Beck, R. C. R., Guterres, S. S., Pohlmann, A. R. (2013). Impactos da Nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos. *Quim. Nova*, Vol. 36, No. 10, p. 1520-1526.
- Ding, D., Tang, T., Song, G., McDonald, A. (2011b). Characterizing the performance of a single-layer fabric system through a heat and mass transfer model – Part I: Heat and mass transfer model. *Textile Research Journal*, 81, 398–411.
- Diniz, S.P.S. de S., Bonzanini, F. (2005) Óleo de copaiba, composição e bioatividade antifúngica. II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel.
- Doll, T. A., Raman, S., Dey, R., Burkhard, P. (2013). Nanoscale assemblies and their biomedical applications. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(80), 20120740
- Domingo, C., Saurina, J. (2012). An overview of the analytical characterization of nanostructured drug delivery systems: Towards green and sustainable pharmaceuticals: A review. *Analytica Chimica Acta*, v. 744, n. 0, p. 8-22.
- dos Passos Menezes, P., Serafini, M. R., de Carvalho, Y. M. B. G., Santana, D. V. S., Lima, B. S., Quintans-Júnior, L. J., Scotti, M. T. (2016). Kinetic and physical-chemical study of the inclusion complex of β -cyclodextrin containing carvacrol. *Journal of Molecular Structure*, 1125, 323-330.

Doulabi, A. H., Mirzadeh, H., Imani, M., Samadi, N. (2013). Chitosan/polyethylene glycol fumarate blend film: Physical and antibacterial properties. *Carbohydrate polymers*, 92(1), 48-56.

Du, W. X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C. E., Friedman, M. (2009). Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. *Journal of Food Science*, 74(7).

Dustgania, A., Vasheghani Farahani, E., Imani, M. (2008). Preparation of chitosan nanoparticles loaded by dexamethasone sodium phosphate. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(2), 111-114.

Eccleston, G.M. (2007). Wound dressings. In: AultonME, editor. *Pharmaceutics: The science of dosage form design*. 3rd edition. UK: Churchill Livingstone. pp 264–271.

El Asbahani, A., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. A., Casabianca, H., Elaissari, A. (2015). Essential oils: from extraction to encapsulation. *International journal of pharmaceutics*, 483(1), 220-243.

El-Shafei, A., ElShemy, M., Abou-Okeil, A. (2015). Eco-friendly finishing agent for cotton fabrics to improve flame retardant and antibacterial properties. *Carbohydrate polymers*, 118, 83-90.

Emami, J., Boushehri, M. S., Varshosaz, J. (2014). Preparation, characterization and optimization of glipizide controlled release nanoparticles. *Research in pharmaceutical sciences*, 9(5), 301.

Erdumlu, N. (2015). Evaluation of drape, bending and formability of woven fabrics made from metal covered hybrid yarns. *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(1).

Eriksson, J., Khranovskyy, V., Söderlind, F., Käll, P. O., Yakimova, R., Spetz, A. L. (2009). ZnO nanoparticles or ZnO films: A comparison of the gas sensing capabilities. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 137(1), 94-102.

Esfandyari-Manesh, M., Ghaedi, Z., Asemi, M., Khanavi, M., Manayi, A., Jamalifar, H., Dinarvand, R. (2013). Study of antimicrobial activity of anethole and carvone loaded PLGA nanoparticles. *Journal of Pharmacy Research*, 7(4), 290-295.

Fadeel, B., Garcia-Bennett, A. E. (2010). Better safe than sorry: understanding the toxicological properties of inorganic nanoparticles manufactured for biomedical applications. *Advanced drug delivery reviews*, 62(3), 362-374.

Fan, W., Yan, W., Xu, Z., Ni, H. (2012). Formation mechanism of monodisperse, low molecular weight chitosan nanoparticles by ionic gelation technique. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 90, 21-27.

Fardood, S. T., Ramazani, A., Moradi, S., Asiabi, P. A. (2017). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using arabic gum and photocatalytic degradation of direct blue 129 dye under visible light. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 1-6.

Faria-Tischer, P. C. S., Tischer, C. A. (2012). Nanobiotechnology: platform technology for biomaterials and biological applications the nanostructures. *BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports* 33 v.1, n.1, p. 32-53.

Ferrero, F., Periolatto, M., Vineis, C., Varesano, A. (2014). Chitosan coated cotton gauze for antibacterial water filtration. *Carbohydrate polymers*, 103, 207-212.

Fiorani, G., Saoncella, O., Kaner, P., Altinkaya, S. A., Figoli, A., Bonchio, M., Carraro, M. (2014). Chitosan-polyoxometalate nanocomposites: Synthesis, characterization and application as antimicrobial agents. *Journal of Cluster Science*, 25(3), 839-854.

Fonder, M. A., Lazarus, G. S., Cowan, D. A., Aronson-Cook, B., Kohli, A. R., Mamelak, A. J. (2008). Treating the chronic wound: a practical approach to the care of nonhealing wounds and wound care dressings. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 58(2), 185-206.

Freeman, J. W., Wright, L. D., Laurencin, C. T., Bhattacharyya, S. In: Gonsalves, K.E., Halberstadt, C. R., Laurencin, C. T., Nair, L. S. (2008). *Biomedical Nanostructures*. New Jersey. John Wiley & Sons.

Fu, X., Shen, Y., Jiang, X., Huang, D., Yan, Y. (2011). Chitosan derivatives with dual-antibacterial functional groups for antimicrobial finishing of cotton fabrics. *Carbohydrate polymers*, 85(1), 221-227.

Gao, Y., Cranston, R. (2008). Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. *Textile research journal*, 78(1), 60-72.

Garcia, R., Yamaguchi, M. Óleo de Copaíba e suas Propriedades Medicinais: Revisão Bibliográfica. *Revista Saúde e Pesquisa*, v. 5, n. 1, p. 137-146, 2012.

Garmus, T. T., Paviani, L. C., Queiroga, C. L., Cabral, F. A. (2015). Extraction of phenolic compounds from pepper-rosmarin (*Lippia sidoides* Cham.) leaves by sequential extraction in fixed bed extractor using supercritical CO₂, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*, 99, 68-75.

Gary Sibbald, R. (2005). The effect of a silver-containing Hydrofiber® dressing on superficial wound bed and bacterial balance of chronic wounds. *International wound journal*, 2(4), 348-356.

Gelmini, F., Beretta, G., Anselmi, C., Centini, M., Magni, P., Ruscica, M., Facino, R. M. (2013). GC–MS profiling of the phytochemical constituents of the oleoresin from *Copaifera langsdorffii* Desf. and a preliminary in vivo evaluation of its antipsoriatic effect. *International journal of pharmaceutics*, 440(2), 170-178.

George, M., Abraham, T. E. (2006). Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan – a review. *Journal of Controlled Release*, v. 114, p. 1–14.

Gerhardt, L. C., Lottenbach, R., Rossi, R. M., Derler, S. (2013). Tribological investigation of a functional medical textile with lubricating drug-delivery finishing. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 108, 103-109.

Gerhardt, L. C., Strässle, V., Lenz, A., Spencer, N. D., Derler, S. (2008). Influence of epidermal hydration on the friction of human skin against textiles. *Journal of The Royal Society Interface*, 5(28), 1317-1328.

Ghosh, V., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N. (2014). Eugenol-loaded antimicrobial nanoemulsion preserves fruit juice against microbial spoilage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 114, 392-397.

Gils, P. S., Ray, D., Sahoo, P. K. (2010). Designing of silver nanoparticles in gum arabic based semi-IPN hydrogel. *International journal of biological macromolecules*, 46(2), 237-244.

Goelzer, F. D. E., Faria-Tischer, P., Vitorino, J., Sierakowski, M., Tischer, C. A. (2009) Production and characterization of nanospheres of bacterial cellulose from *Gluconoacetobacter xylinus* from processed rice bark. *Materials Science & Engineering. C, Biomimetic Materials, Sensors and Systems*, v. 29, p. 546-551.

Gortzi, O., Lala, S., Chinou, I., Tsaknis, J. (2007). Evaluation of the antimicrobial and antioxidant activities of *Origanum dictamnus* extracts before and after encapsulation in liposomes. *Molecules*, 12(5), 932-945.

Gou, J., Zou, Y., Ahn, J. (2011). Enhancement of antioxidant and antimicrobial activities of *Dianthus superbus*, *Polygonum aviculare*, *Sophora flavescens*, and *Lygodium japonicum* by pressure-assisted water extraction. *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 283-287.

- Goy, R. C., Britto, D. D., Assis, O. B. (2009). A review of the antimicrobial activity of chitosan. *Polímeros*, 19(3), 241-247.
- Guerra-Sanchez, M. G., Vega-Pérez, J., Velazquez-Del Valle, M. G., Hernandez-Lauzardo, A. N. (2009). Antifungal activity and release of compounds on *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. by effect of chitosan with different molecular weights. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 93(1), 18-22.
- Guterres, S. S., Alves, M. P., Pohlmann, A. R. (2007). Polymeric nanoparticles, nanospheres and nanocapsules, for cutaneous applications. *Drug target insights*, 2, 147.
- Gutiérrez, L., Batlle, R., Sánchez, C., Nerín, C. (2010). New approach to study the mechanism of antimicrobial protection of an active packaging. *Foodborne Pathogens and Disease*, 7(9), 1063-1069.
- Harmon, A. M., Kong, W., Buensuceso, C. S., Gorman, A. J., Muench, T. R. (2011). Effects of fibrin pad hemostat on the wound healing process in vivo and in vitro. *Biomaterials*, 32(36), 9594-9601.
- Hemaiswarya, S., Kruthiventi, A. K., Doble, M. (2008). Synergism between natural products and antibiotics against infectious diseases. *Phytomedicine*, 15(8), 639-652.
- Herrero-Jáuregui, C., Casado, M. A., das Graças Bichara Zoghbi, M., Célia Martins-da-Silva, R. (2011). Chemical Variability of *Copaifera reticulata* Ducke Oleoresin. *Chemistry & biodiversity*, 8(4), 674-685.
- Hess, C. T., Kirsner, R. S. (2003). Orchestrating wound healing: assessing and preparing the wound bed. *Advances in skin & wound care*, 16(5), 246-257.
- Horrocks, A. (2011). Flame Retardant Challenges for Textiles and Fibres: New Chemistry Versus Innovative Solutions, *Polymer Degradation and Stability*, 96, p. 377-392.
- Hu, b., Pan, C., Sun, Y., Hou, Z., Ye, h., Hu, b., Zeng, X. (2008). Optimization of fabrication parameters to produce chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for delivery of tea catechins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 56, n. 16, p. 7451-7458.
- Hussain, U., Bin Younis, F., Usman, F., Hussain, T., Ahmed, F. (2015). Comfort and Mechanical Properties of Polyester/Bamboo and Polyester/Cotton Blended Knitted Fabric. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(2), 61-69.

- Ibrahim, N. A., El-Gamal, A. R., Gouda, M., Mahrous, F. (2010). A new approach for natural dyeing and functional finishing of cotton cellulose. *Carbohydrate polymers*, 82(4), 1205-1211.
- Ilk, S., Sağlam, N., Özgen, M., Korkusuz, F. (2017). Chitosan nanoparticles enhances the anti-quorum sensing activity of kaempferol. *International journal of biological macromolecules*, 94, 653-662.
- James, R. (2011). Infection prevention and control and the role of medical textiles. *Handbook of Medical Textiles*, 297.
- Jang, K. I., Lee, H. G. (2008). Stability of chitosan nanoparticles for L-ascorbic acid during heat treatment in aqueous solution. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(6), 1936-1941.
- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Kumar, P. S., Nair, S. V., Tamura, H. (2011). Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications. *Biotechnology advances*, 29(3), 322-337.
- John A. B. (2009). *Handbook of Metal Physics, Metallic Nanoparticles*, Elsevier, Medicine, 8, p. 147–166.
- Jones, I. and Wise, R.J. (2005). 'Novel joining methods applicable to textiles and smart garments, Wearable Futures Conference presentation, Newport UK.
- Jones, V., Grey, J. E., Harding, K. G. (2006). ABC of wound healing: Wound dressings. *BMJ: British Medical Journal*, 332(7544), 777.
- Joshi, M., Bhattacharyya, A. (2011). Nanotechnology – a New Route to High Performance Functional Textiles, *Textile Progress*, 43:3, p. 155-233.
- Junior, V. F. V., Pinto, A. C. (2002). O gênero copaifera L. *QUÍMICA NOVA*, V. 25, P. 273-286.
- Kakvan, A., Shaikhzadeh Najar, S., Psikuta, A. (2015). Study on effect of blend ratio on thermal comfort properties of cotton/nylon-blended fabrics with high-performance Kermel fibre. *The Journal of The Textile Institute*, 106(6), 674-682.
- Kanakaraj, P., Ramachandran, R. (2015). Active Knit Fabrics-Functional Needs of Sportswear Application. *Journal of Textile & Apparel Technology & Management (JTATM)*, 9(2).

Karaca, E., Kahraman, N., Omeroglu, S., Becerir, B. (2012). Effects of fiber cross sectional shape and weave pattern on thermal comfort properties of polyester woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (3 (92)), 67-72.

Karamodini, M. K., Emami, S. A., Ghannad, M. S., Sani, E. A., Sahebkar, A. (2011). Antiviral activities of aerial subsets of *Artemisia* species against Herpes Simplex virus type 1 (HSV1) in vitro. *Asian Biomedicine*, 5(1), 63-68.

Katayama, S., Zhao, L., Yonezawa, S., Iwai, Y. (2012). Modification of the surface of cotton with supercritical carbon dioxide and water to support nanoparticles. *The Journal of Supercritical Fluids*, 61, 199–205.

Keawchaon, L., Yoksan, R. (2011). Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 84(1), 163-171.

Khalili, S. T., Mohsenifar, A., Beyki, M., Zhavah, S., Rahmani-Cherati, T., Abdollahi, A., Tabatabaei, M. (2015). Encapsulation of Thyme essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 502-508.

Klode, J., Schöttler, L., Stoffels, I., Körber, A., Schadendorf, D., Dissemmond, J. (2011). Investigation of adhesion of modern wound dressings: A comparative analysis of 56 different wound dressings. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 25, 933–939.

Kobayashi, C., Fontanive, T. O., Enzweiler, B. G., de Bona, L. R., Massoni, T., Apel, M. A., Suyenaga, E. S. (2011). Pharmacological evaluation of *Copaifera multijuga* oil in rats. *Pharmaceutical biology*, 49(3), 306-313.

Kong, M., Chen, X. G., Xing, K., Park, H. J. (2010). Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. *International journal of food microbiology*, 144(1), 51-63.

Kontogiannopoulos, K. N., Assimopoulou, A. N., Tsvintzelis, I., Panayiotou, C., Papageorgiou, V. P. (2011). Electrospun fiber mats containing shikonin and derivatives with potential biomedical applications. *International journal of pharmaceutics*, 409(1), 216-228.

Kumar, A., Moin, A., S. R., Ahmed, A., Shivakumar, H. G. (2012). Cashew gum a versatile hydrophilic polymer: a review. *Current Drug Therapy*, 7, 2-12.

Kumar, S., Deepak, V., Kumari, M., Dutta, P. K. (2016). Antibacterial activity of diisocyanate-modified chitosan for biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 84, 349-353.

Kumar, S., Lakshmanan, V. K., Raj, M., Biswas, R., Hiroshi, T., Nair, S. V., Jayakumar, R. (2013). Evaluation of wound healing potential of β -chitin hydrogel/nano zinc oxide composite bandage. *Pharmaceutical research*, 30(2), 523-537.

Kunjachan, S., Jose, S., Lammers, T. (2014). Understanding the mechanism of ionic gelation for synthesis of chitosan nanoparticles using qualitative techniques. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP): Free full text articles from Asian J Pharm*, 4(2).

Kuroda, J. I., Kuratsu, J. I., Yasunaga, M., Koga, Y., Saito, Y., Matsumura, Y. (2009). Potent antitumor effect of SN-38-incorporating polymeric micelle, NK012, against malignant glioma. *International journal of cancer*, 124(11), 2505-2511.

Lai, F., Wissing, S. A., Müller, R. H., Fadda, A. M. (2006). *Artemisia arborescens* L essential oil-loaded solid lipid nanoparticles for potential agricultural application: preparation and characterization. *Aaps Pharmscitech*, 7(1), E10.

Lalani, R., Liu, L. (2012). Zwitterionic poly(sulfobetaine methacrylate) for nonadherent, superabsorbent, and antimicrobial wound dressing applications. *Biomacromolecules*, 13, 1853–1863.

Lamprecht A., Benoit, J.P. (2006). Etoposide nanocarriers suppress glioma cell growth by intracellular drug delivery and simultaneous P-glycoprotein inhibition. *J Control Release*;112:208-13.

Laus, R., Costa, T. G., Szpoganicz, B., Fávère, V. T. (2010). Adsorption and desorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions using chitosan crosslinked with epichlorohydrin-triphosphate as the adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 183(1), 233-241.

Le Tien, C., Lacroix, M., Ispas-Szabo, P., Mateescu, M. A. (2003). N-acylated chitosan: hydrophobic matrices for controlled drug release. *Journal of Controlled Release*, 93(1), 1-13.

Leandro, L. M., de Sousa Vargas, F., Barbosa, P. C. S., Neves, J. K. O., da Silva, J. A., da Veiga-Junior, V. F. (2012). Chemistry and biological activities of terpenoids from copaiba (*Copaifera* spp.) oleoresins. *Molecules*, 17(4), 3866-3889.

- Lee, D. W., Yun, K. S., Ban, H. S., Choe, W., Lee, S. K., Lee, K. Y. (2009). Preparation and characterization of chitosan/polyguluronate nanoparticles for siRNA delivery. *Journal of controlled release*, 139(2), 146-152.
- Lee, J. S., Kim, G. H., Lee, H. G. (2010). Characteristics and antioxidant activity of *Elsholtzia splendens* extract-loaded nanoparticles. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(6), 3316-3321.
- Li, X., Fang, Y., Zhang, H., Nishinari, K., Al-Assaf, S., Phillips, G. O. (2011). Rheological properties of gum arabic solution: From Newtonianism to thixotropy. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 293-298.
- Lima, A. C., dos Santos, R. A., Almeida, F. A. G., Bandeira, C. T. (2001). Estimulantes químicos na extração da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). *Ciência Rural*, 31, 409-415.
- Lima, I. O., Oliveira, R. A. G., Lima, E. O., Farias, N. P., Souza, E. L. (2006). Atividade Antifúngica de Óleos Essenciais sobre Espécies de *Cândida*. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 16(2), p. 197-201.
- Lima, M. S., Quintans-Júnior, L. J., de Santana, W. A., Kaneto, C. M., Soares, M. B. P., Villarreal, C. F. (2013). Anti-inflammatory effects of carvacrol: evidence for a key role of interleukin-10. *European journal of pharmacology*, 699(1), 112-117.
- Liu, H., Gao, C. (2009). Preparation and properties of ionically cross-linked chitosan nanoparticles. *Polymers for Advanced Technologies*, 20(7), 613-619.
- Lode, H. M. (2009). Clinical impact of antibiotic-resistant Gram-positive pathogens. *Clinical microbiology and infection*, 15(3), 212-217.
- Lou, C.W., Lin, C.W., Chen Y.S., Yao, C.H., Lin Z.S. (2008c). Properties evaluation of tencel/cotton nonwoven fabric coated with chitosan for wound dressing, *Text Res J*, 78, 248 – 253.
- Lucca, L. G., de Matos, S. P., Borille, B. T., Dias, D. D. O., Teixeira, H. F., Veiga, V. F., Koester, L. S. (2015). Determination of β -caryophyllene skin permeation/retention from crude copaiba oil (*Copaifera multijuga* Hayne) and respective oil-based nanoemulsion using a novel HS-GC/MS method. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 104, 144-148.
- Maeda, N., Miao, J., Simmons, T. J., Dordick, J. S., Linhardt, R. J. (2014). Composite polysaccharide fibers prepared by electrospinning and coating. *Carbohydrate polymers*, 102, 950-955.

Magalhães, H. M., Aquino, C. F. Soares, E. P. S., Tuffi, L. D. S., Lopes, P. S. N. (2013). Ação alelopática de óleos essenciais de alecrim-pimenta e capimsanto na germinação de aquênios de alface. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 2, p. 485-496.

Manshahia, M., Das, A. (2014). High active sportswear—A critical review, *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, 39, 441-449.

Masson-Meyers, D., Enwemeka, C. S., Bumah, V., Andrade, T., Frade, M. A. (2013). Topical treatment with *Copaifera langsdorffii* oleoresin improves wound healing in rats. *International Journal of Phytomedicine*, 5(3), 378.

Mathew, S., Abraham, T. E. (2008). Characterisation of ferulic acid incorporated starch–chitosan blend films. *Food Hydrocolloids*, 22(5), 826-835.

Matos Gomes, N., de Rezende, C. M., Fontes, S. P., Matheus, M. E., da Cunha Pinto, A., Fernandes, P. D. (2010). Characterization of the antinociceptive and anti-inflammatory activities of fractions obtained from *Copaifera multijuga* Hayne. *Journal of ethnopharmacology*, 128(1), 177-183.

Matos Gomes, N., de Rezende, C. M., Fontes, S. P., Matheus, M. E., da Cunha Pinto, A., Fernandes, P. D. (2010). Characterization of the antinociceptive and anti-inflammatory activities of fractions obtained from *Copaifera multijuga* Hayne. *Journal of ethnopharmacology*, 128(1), 177-183.

Maver, T., Maver, U., Mostegel, F., Griesser, T., Spirk, S., Smrke, D. M., Stana-Kleinschek, K. (2015). Cellulose based thin films as a platform for drug release studies to mimic wound dressing materials. *Cellulose*, 22(1), 749-761.

Mendonça, D. E., Onofre, S.B. (2009). Atividade antimicrobiana do óleo-resina produzido pela copaiba - *Copaifera multijuga* Hayne (Leguminosae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.19, n. 2b,p. 577-581.

Mohammed, M.H., P.A. Williams, and O. Tverezovskaya (2013) Extraction of chitin from prawn shells and conversion to low molecular mass Chitosan. *Food Hydrocolloids* 31: 166-171.

Morelli, C.L., Mahrous, M., Belgacem, M.N., Branciforti, M.C., Bretas, R.,E.,S., Bras, J., (2015). Natural copaiba oil as antibacterial agent for bio-based active packaging. *Industrial Crops and Products* 70: 134-141.

- Morgado, P. I., Aguiar-Ricardo, A., Correia, I. J. (2015). Asymmetric membranes as ideal wound dressings: an overview on production methods, structure, properties and performance relationship. *Journal of Membrane Science*, 490, 139-151.
- Morgan, D. (2009). Wounds-what should a dressings formulary include?. *Pharmaceut. J*, 9, 261-266.
- Morris, G. A., Castile, J., Smith, A., Adams, G. G., Harding, S. E. (2011). The effect of prolonged storage at different temperatures on the particle size distribution of tripolyphosphate (TPP)-chitosan nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 84(4), 1430-1434.
- Muñoz-Bonilla, A., Fernández-García, M. (2012). Polymeric materials with antimicrobial activity. *Progress in Polymer Science*, 37(2), 281-339.
- Muruganathan, U., Srinivasan, S., Indumathi, D. (2013). Antihyperglycemic effect of carvone: Effect on the levels of glycoprotein components in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Acute Disease*, 2(4), 310-315.
- Muzzarelli, R. A. (2009). Chitins and chitosans for the repair of wounded skin, nerve, cartilage and bone. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 167-182.
- Nagavarma, B. V. N., Yadav, H. K., Ayaz, A., Vasudha, L. S., Shivakumar, H. G. (2012). Different techniques for preparation of polymeric nanoparticles-a review. *Asian J. Pharm. Clin. Res*, 5(3), 16-23.
- Nasti, A., Zaki, N. M., de Leonardis, P., Ungphaiboon, S., Sansongsak, P., Rimoli, M. G., Tirelli, N. (2009). Chitosan/TPP and chitosan/TPP-hyaluronic acid nanoparticles: systematic optimisation of the preparative process and preliminary biological evaluation. *Pharmaceutical research*, 26(8), 1918-1930.
- National Institute for Health and Clinical Excellence, (2013). Arquivo captado em [<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>], acesso em 25.10.2016.
- Nawalakhe, R., Shi, Q., Vitichuli, N., Noar, J., Caldwell, J. M., Breidt, F., McCord, M. G. (2013). Novel atmospheric plasma enhanced chitosan nanofiber/gauze composite wound dressings. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(2), 916-923.
- Neves, A. L. P., Milioli, C. C., Müller, L., Riella, H. G., Kuhnen, N. C., Stulzer, H. K. (2014). Factorial design as tool in chitosan nanoparticles development by ionic gelation technique. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 445, 34-39.

- Niemczyk, A., El Fray, M., Franklin, S. E. (2015). Friction behaviour of hydrophilic lubricious coatings for medical device applications. *Tribology International*, 89, 54-61.
- Nordback, P. H., Miettinen, S., Kääriäinen, M., Haaparanta, A. M., Kellomäki, M., Kuokkanen, H., Seppänen, R. (2015). Chitosan membranes in a rat model of full-thickness cutaneous wounds: healing and IL-4 levels. *Journal of wound care*, 24(6).
- Oğlakcioğlu, N., Marmarali, A. (2007). Thermal comfort properties of some knitted structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 15(5-6), 64-65.
- Okan, D., Woo, K., Ayello, E. A., Sibbald, G. (2007). The role of moisture balance in wound healing. *Advances in skin & wound care*, 20(1), 39-53.
- Oliveira, E. F., Paula, H. C., Paula, R. C. (2014). Alginate/cashew gum nanoparticles for essential oil encapsulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 113, 146-151.
- Öner, E., Okur, A. (2013). The effect of different knitted fabrics' structures on the moisture transport properties. *Journal of the Textile Institute*, 104(11), 1164-1177.
- Onofrei, E., Rocha, A. M., Catarino, A. (2011). The influence of knitted fabrics' structure on the thermal and moisture management properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 6(4), 10-22.
- Ou, K. L., Hosseinkhani, H. (2014). Development of 3D in vitro technology for medical applications. *International journal of molecular sciences*, 15(10), 17938-17962.
- Ozay, O., Akcali, A., Otkun, M.T., Silan, C., Aktas, N., Sahiner, N. (2010). P(4-VP) based nanoparticles and composites with dual action as antimicrobial materials. *Colloids Surf B Biointerfaces*.
- Panwar, R., Pemmaraju, S. C., Sharma, A. K., Pruthi, V. (2016). Efficacy of ferulic acid encapsulated chitosan nanoparticles against *Candida albicans* biofilm. *Microbial pathogenesis*, 95, 21-31.
- Papadimitriou, S., Bikiaris, D., Avgoustakis, K., Karavas, E., Georgarakis, M. (2008). Chitosan nanoparticles loaded with dorzolamide and pramipexole. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 44-54.
- Pascoal, D. R. C., Cabral-Albuquerque, E. C. M., Velozo, E. S., de Sousa, H. C., de Melo, S. V., Braga, M. E. M. (2017). Copaiba oil-loaded commercial wound dressings using supercritical CO₂: A potential alternative topical antileishmanial treatment. *The Journal of Supercritical Fluids*.

- Passos, J. J., De Sousa, F. B., Mundim, I. M., Bonfim, R. R., Melo, R., Viana, A. F., Sinisterra, R. D. (2013). Double continuous injection preparation method of cyclodextrin inclusion compounds by spray drying. *Chemical engineering journal*, 228, 345-351.
- Patel, N., Hatch, D., Wells, C. M., Ahn, D., Harris, M., Jennings, J. A., Armstrong, D. G. (2017). Characteristics and clinical assessment of antibiotic delivery by chitosan sponge in the high-risk diabetic foot: a case series. *Journal of Wound Care*, 26(sup4), S32-S38.
- Pawar, H. V., Tetteh, J., Boateng, J. S. (2013). Preparation, optimisation and characterisation of novel wound healing film dressings loaded with streptomycin and diclofenac. *Colloids Surf B*, 102, 102–110.
- Peiffer, J., Kim, K., Takatera, M. (2016). Verification of the effect of yarn torsional rigidity on fabric bending rigidity in any direction. *Textile Research Journal*, 87(4), 2017: 424-432.
- Pereira, M. C., Vilela, G. R., Soares Costa, L. M. A., Silva, R. F., Fernandes, A. F., Fonseca, E. W. N., Piccoli, R. H. (2006). Inibição do Desenvolvimento Fúngico através da utilização de Óleos Essenciais de Condimentos. *Ciênc. agrotec., Lavras*, v. 30, n. 4, p. 731-738.
- Pereira, R., Carvalho, A., Vaz, D. C., Gil, M. H., Mendes, A., Bártolo, P. (2013). Development of novel alginate based hydrogel films for wound healing applications. *International journal of biological macromolecules*, 52, 221-230.
- Perelshtein I , Applerot G , Perkas N , Guibert G , Mikhailov S. (2008). A sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their anti-bacterial activity , *Nanotechnology* , 19 , 245705 – 245711.
- Periolatto, M., Ferrero, F. (2013). Cotton filter fabrics functionalization by chitosan UV-grafting for removal of dyes. *Chemical Engineering*, 32.
- Perry, J. D., Naqvi, S. H., Mirza, I. A., Alizai, S. A., Hussain, A., Ghirardi, S., Livermore, D. M. (2011). Prevalence of faecal carriage of Enterobacteriaceae with NDM-1 carbapenemase at military hospitals in Pakistan, and evaluation of two chromogenic media. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 66(10), 2288-2294.
- Petrylyte, S., Petrusis, D. (2011). Modern textiles and biomaterials for healthcare. *Handbook of Medical Textiles*, 1.

- Pieri, F. A., Silva, V. O., Vargas, F. S., Veiga Junior, V. F., Moreira, M. A. S. (2014). Antimicrobial activity of *Copaifera langsdorffii* oil and evaluation of its most bioactive fraction against bacteria of dog's dental plaque. *Pak Vet J*, 34(2), 165-169.
- Pitombeira, N. A. O., Neto, J. G. V., Silva, D. A., Feitosa, F. P. A., Paula, H. C. B. Paula, R. C. (2015). Self-assembled nanoparticles of acetylated cashew gum: characterization and evaluation as potential drug carrier. *Carbohydrate Polymers*, 117, 610-615.
- Podpovitny, M. , Chen, X. , Schacher, L. , Adolphe, D., Haikel, Y. (2008). Dentists gowns: new design for better comfort and patient's perception of professionalism, *Proceedings of the 8th AUTEX 2008 World Textile Conference* , 24–26 June , Biela . CD edition.
- Prashanth, K. H., Tharanathan, R. N. (2007). Chitin/chitosan: modifications and their unlimited application potential—an overview. *Trends in food science & technology*, 18(3), 117-131.
- Raafat, D., von Bargaen, K., Haas, A., Sahl, H.G. (2008). Insights into the mode of action of chitosan as an antibacterial compound. *Appl Environ Microbiol* 74(12), 3764–3773.
- Raic, A., Rödling, L., Kalbacher, H., Lee-Thedieck, C. (2014). Biomimetic macroporous PEG hydrogels as 3D scaffolds for the multiplication of human hematopoietic stem and progenitor cells. *Biomaterials*, 35(3), 929-940.
- Raja, D., Prakash, C., Gunasekaran, G., Koushik, C. V. (2015). A study on thermal properties of single-jersey knitted fabrics produced from ring and compact folded yarns. *The Journal of The Textile Institute*, 106(4), 359-365.
- Rajendran, R., Radhai, R., Kotresh, T. M., Csiszar, E. (2013). Development of antimicrobial cotton fabrics using herb loaded nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 91(2), 613-617.
- Rajendran, S., Anand, S . C. (2011). Hi-tech textiles for interactive wound therapies. In: Bartels, V. (Ed.). *Handbook of medical textiles*. Elsevier.
- Rakmanee, T., Olsen, I., Griffiths, G. S., Donos, N. (2010). Development and validation of a multiplex bead assay for measuring growth mediators in wound fluid. *Analyst*, 135(1), 182-188.

Ramkumar, S. S., Purushothaman, A., Hake, K. D., McAlister III, D. D. (2007). Relationship Between Cotton Varieties and Moisture Vapor Transport of Knitted Fabrics. *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, 2(4).

Rampino, A., Borgogna, M., Blasi, P., Bellich, B., Cesàro, A. (2013). Chitosan nanoparticles: Preparation, size evolution and stability. *International journal of pharmaceutics*, 455(1), 219-228.

Rebelo, R., Fangueiro, R., Carvalho, S., Henriques, M., Rana, S. (2014). Methods of incorporation antimicrobial agents in stents. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 3(2), 409-422.

Rejinold, N. S., Muthunarayanan, M., Muthuchelian, K., Chennazhi, K. P., Cair, S. V., Jayakumar, R., Saponin-loaded chitosan nanoparticles and their cytotoxicity to cancer cell lines in vitro. *Carbohydrate Polymers*, v. 84, n. 1, p. 407-416, 2011.

Ribeiro, M. P., Espiga, A., Silva, D., Baptista, P., Henriques, J., Ferreira, C., Correia, I. J. (2009). Development of a new chitosan hydrogel for wound dressing. *Wound repair and regeneration*, 17 (6), 817-824

Riboldi, B. M. (2009). *Nanotecnologia: fundamentos e aplicações*. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro.

Rinaudo, M. (2008). Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. *Polymer International*, v. 57, p. 397–430.

Rodrigues, S., da Costa, A. M. R., Grenha, A. (2012). Chitosan/carrageenan nanoparticles: Effect of cross-linking with tripolyphosphate and charge ratios. *Carbohydrate Polymers*, 89(1), 282-289.

Romanelli, M., Vowden, K., Weir, D. (2010). Exudate management made easy. *Wounds International*, 1(2), 1-5.

Rossato Badke, M., Denardin Budó, M. D. L., Titonelli Alvim, N. A., Dolejal Zanetti, G., Heisler, E. V. (2012). Saberes e práticas populares de cuidado em saúde com o uso de plantas medicinais. *Texto & contexto enfermagem*, 21(2).

Rotaru, G. M., Pille, D., Lehmeier, F. K., Stämpfli, R., Scheel-Sailer, A., Rossi, R. M., Derler, S. (2013). Friction between human skin and medical textiles for decubitus prevention. *Tribology International*, 65, 91-96.

Rothenfluh, D. A., Bermudez, H., O'Neil, C. P., Hubbell, J. A. (2008). Biofunctional polymer nanoparticles for intra-articular targeting and retention in cartilage. *Nature materials*, 7(3), 248.

Rozwalka, L. C., Costa Lima, M. L. R. Z., Mio, L. L. M., Nakashima, T. (2008). Extratos, de Coctos e Óleos Essenciais de Plantas Mediciniais e Aromáticas na Inibição de *Glomerella cingulata* e *Colletotrichum Gloeosporioides* de Frutos de Goiaba. *Ciência Rural*, v.38, n.2, p. 301-307.

Rubio-Rodríguez, N., Sara, M., Beltrán, S., Jaime, I., Sanz, M. T., Rovira, J. (2008). Supercritical fluid extraction of the omega-3 rich oil contained in hake (*Merluccius capensis*–*Merluccius paradoxus*) by-products: study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality. *The Journal of Supercritical Fluids*, 47(2), 215-226.

Rudzinski, W. E., Palacios, A., Ahmed, A., Lane, M. A., Aminabhavi, T. M. (2016). Targeted delivery of small interfering RNA to colon cancer cells using chitosan and PEGylated chitosan nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 147, 323-332.

Saether, H. V., Holme, H. K., Maurstad, D. G., Smidrod, O., Stokke, B. T. (2008). Polyelectrolyte complex formation using alginate and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, v. 74, p. 813–821.

Sahoo, S.K, Labhasetwar, V. (2005). Enhanced antiproliferative activity of transferrin-conjugated paclitaxel-loaded nanoparticles is mediated via sustained intracellular drug retention. *Mol Pharm*; 2:373-83.

Sahoo, S.K., Ma, W., Labhasetwar V. (2004). Efficacy of transferrin-conjugated paclitaxel-loaded nanoparticles in a murine model of prostate cancer. *Int J Cancer*.

Sakloetsakun, D., Preechagoon, D., Bernkop-Schnürch, A., Pongjanyakul, T. (2016). Chitosan–gum arabic polyelectrolyte complex films: physicochemical, mechanical and mucoadhesive properties. *Pharmaceutical development and technology*, 21(5), 590-599.

Salah, F., El Ghouli, Y., Roudesli, S. (2016). Bacteriological effects of functionalized cotton dressings. *The Journal of The Textile Institute*, 107(2), 171-181.

- Sánchez-Silva, L., Rodríguez, J. F., Romero, A., Borreguero, A. M., Carmona, M., and Sánchez, P. (2010). Microencapsulation of PCMs with a styrene-methyl methacrylate copolymer shell by suspension-like polymerization. *Chem. Eng. J.*, 157(1), 216–222.
- Sandri, G., Bonferoni, M. C., D'Autilia, F., Rossi, S., Ferrari, F., Grisoli, P., Caramella, C. (2013). Wound dressings based on silver sulfadiazine solid lipid nanoparticles for tissue repairing. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 84(1), 84-90.
- Santo Pereira, A. E., Silva, P. M., Oliveira, J. L., Oliveira, H. C., Fraceto, L. F. (2017). Chitosan nanoparticles as carrier systems for the plant growth hormone gibberellic acid. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 150, 141-152.
- Santos, A. O. D., Izumi, E., Ueda-Nakamura, T., Dias-Filho, B. P., Veiga-Júnior, V. F. D., Nakamura, C. V. (2013). Antileishmanial activity of diterpene acids in copaiba oil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 108(1), 59-64.
- Santos, A. O. D., Ueda-Nakamura, T., Dias Filho, B. P., Veiga Junior, V. F., Pinto, A. C., Nakamura, C. V. (2008). Antimicrobial activity of Brazilian copaiba oils obtained from different species of the *Copaifera* genus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 103(3), 277-281.
- Santos, R. C. V., dos Santos Alves, C. F., Schneider, T., Lopes, L. Q. S., Aurich, C., Giongo, J. L., de Almeida Vaucher, R. (2012). Antimicrobial activity of Amazonian oils against *Paenibacillus* species. *Journal of invertebrate pathology*, 109(3), 265-268.
- Sarwar, A., Katas, H., Zin, N. M. (2014). Antibacterial effects of chitosan–tripolyphosphate nanoparticles: impact of particle size molecular weight. *Journal of nanoparticle research*, 16(7), 2517.
- Schultz, G., Mazingo, D., Romanelli, M., Claxton, K. (2005). Wound healing and Time: new concepts and scientific applications. *Wound repair and regeneration*, 13(s4), S1-S11.
- Seeman, N. C. (2010). Nanomaterials based on DNA. *Annual review of biochemistry*, 79, 65-87.
- Shahid, M., Mohammad, F. (2013). Green chemistry approaches to develop antimicrobial textiles based on sustainable biopolymers—A review. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 52(15), 5245-5260.
- Sharma, S., Sanpui, P., Chattopadhyay, A., Ghosh, S. S. (2012). Fabrication of antibacterial silver nanoparticle–sodium alginate–chitosan composite films. *Rsc Advances*, 2(13), 5837-5843.

- Silva, F., Ferreira, S., Queiroz, J. A., Domingues, F. C. (2011). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: its antibacterial activity and mode of action evaluated by flow cytometry. *Journal of Medical Microbiology*, 60(10), 1479-1486.
- Silva, G. R. D. (2015). Estudo de formação e estabilidade de nanopartículas de poliácido láctico para liberação controlada do óleo essencial de *Shinus Molle* L (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Silva, T. H., Alves, A., Ferreira, B. M., Oliveira, J. M., Reys, L. L., Ferreira, R. J. F., Sousa, R. A., Silva, S. S., Mano, J. F., Reis, R. L. (2012). Materials of marine origin: a review on polymers and ceramics of biomedical interest. *International Materials Reviews*, v. 57, n. 5, p. 276-307.
- Simões, C.A.C.G., Conde, N.C.O., Venâncio, G.N., Milério, P.S.L.L., Bandeira, M.F.C.L., Veiga Júnior, V.F. (2016). Antibacterial Activity of Copaiba Oil Gel on Dental Biofilm. *The Open Dentistry Journal* 10: 188-195.
- Singh, H. P., Kaur, S., Negi, K., Kumari, S., Saini, V., Batish, D. R., Kohli, R. K. (2012). Assessment of in vitro antioxidant activity of essential oil of *Eucalyptus citriodora* (lemon-scented Eucalypt; Myrtaceae) and its major constituents. *LWT-Food science and Technology*, 48(2), 237-241.
- Singh, P., Shukla, R., Prakash, B., Kumar, A., Singh, S., Mishra, P. K., Dubey, N. K. (2010). Chemical profile, antifungal, antiaflatoxic and antioxidant activity of *Citrus maxima* Burm. and *Citrus sinensis* (L.) Osbeck essential oils and their cyclic monoterpene, DL-limonene. *Food and Chemical Toxicology*, 48(6), 1734-1740.
- Sinha, M., Banik, R. M., Haldar, C., Maiti, P. (2013). Development of ciprofloxacin hydrochloride loaded poly (ethylene glycol)/chitosan scaffold as wound dressing. *Journal of Porous Materials*, 20(4), 799-807.
- Sionkowska, A., Kaczmarek, H., Wisniewski, M., Skopinska, J., Lazare, S., Tokarev, V. (2006). The influence of UV irradiation on the surface of chitosan films, *Surface Science* 600, 3775-3779.
- Sionkowska, A., Kaczmarek, H., Wisniewski, M., Skopinska, J., Lazare, S., Tokarev, V. (2006). The influence of UV irradiation on the surface of chitosan films. *Surface science*, 600(18), 3775-3779.
- Škrinjar, M. M., Nemet, N. T. (2009). Antimicrobial effects of spices and herbs essential oils. *Acta periodica technologica*, (40), 195-209.

Soares, D. C., Portella, N. A., Ramos, M. F. D. S., Siani, A. C., Saraiva, E. M. (2013). Trans- β -Caryophyllene: An effective antileishmanial compound found in commercial copaiba oil (*Copaifera* spp.). *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2013.

Solórzano-Santos, F., Miranda-Navales, M. G. (2011). Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, v.23, p.1-6,

Song, G., Paskaluk, S., Sati, R., Crown, E. M., Doug Dale, J., Ackerman, M. (2011). Thermal protective performance of protective clothing used for low radiant heat protection. *Textile Research Journal*, 81(3), 311-323.

Sricharussin, W., Sopajaree, C., Maneerung, T., Sangsuriya, N. (2009). Modification of cotton fabrics with β -cyclodextrin derivative for aroma finishing. *The journal of the Textile Institute*, 100(8), 682-687.

Stanković, S. B., Popović, D., Poparić, G. B. (2008). Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers. *Polymer Testing*, 27(1), 41-48.

Steiniger, S. C., Kreuter, J., Khalansky, A. S., Skidan, I. N., Bobruskin, A. I., Smirnova, Z. S., Gelperina, S. E. (2004). Chemotherapy of glioblastoma in rats using doxorubicin-loaded nanoparticles. *International Journal of Cancer*, 109(5), 759-767.

Stylios, G. K. (2005). Interactive smart textiles: innovation and collaboration in Japan and South Korea. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 17(1).

Sundar, S., Kundu, J., Kundu, S. C. (2010). Biopolymeric nanoparticles. *Science and Technology of Advanced Materials*, 11(1), 014104.

Svetlichny, G., Kulkamp-Guerreiro, I. C., Cunha, S. L., Silva, F. E. K., Bueno, K., Pohlmann, A. R., Guterres, S. S. (2015). Solid lipid nanoparticles containing copaiba oil and allantoin: development and role of nanoencapsulation on the antifungal activity. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 70(3), 155-164.

Svetlichny, G., Kulkamp-Guerreiro, I. C., Dalla Lana, D. F., Bianchin, M. D., Pohlmann, A. R., Fuentesfria, A. M., Guterres, S. S. (2017). Assessing the performance of copaiba oil and allantoin nanoparticles on multidrug-resistant *Candida parapsilosis*. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*.

- Svoboda, K. P., Greenaway, R. I. (2003). Investigation of volatile oil glands of *Satureja hortensis* L. (summer savory) and phytochemical comparison of different varieties. *The International Journal of Aromatherapy*, v. 13, n. 4, p. 196- 202.
- Tan, C. P., Man, Y. B. (2002). Comparative differential scanning calorimetric analysis of vegetable oils: I. Effects of heating rate variation. *Phytochemical Analysis*, 13(3), 129-141.
- Tepe, B., Daferera, D., Sökmen, M., Polissiou, M., Sökmen, A. (2004). In vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and various extracts of *Thymus eigi* M. Zohary et PH Davis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(5), 1132-1137.
- Thompson, J. A. (2011). Microbead-based biosensing in microfluidic devices (Doctoral dissertation, University of Pennsylvania). Disponível em < <http://repository.upenn.edu/edissertations/334>>. Acesso em: 09 de Maio de 2014.
- Tian, J., Wong, K. K., Ho, C. M., Lok, C. N., Yu, W. Y., Che, C. M., Tam, P. K. (2007). Topical delivery of silver nanoparticles promotes wound healing. *ChemMedChem*, 2(1), 129-136.
- Tripathi, S., Mehrotra, G. K., Dutta, P. K. (2011). Chitosan–silver oxide nanocomposite film: preparation and antimicrobial activity. *Bulletin of Materials Science*, 34(1), 29-35.
- Tsai, C. Y., Woung, L. C., Yen, J. C., Tseng, P. C., Chiou, S. H., Sung, Y. J., Cheng, Y. H. (2016). Thermosensitive chitosan-based hydrogels for sustained release of ferulic acid on corneal wound healing. *Carbohydrate polymers*, 135, 308-315.
- Turner, G. W., Croteau, R. (2004). Organization of monoterpene biosynthesis in mentha. immunocytochemical localizations of geranyl diphosphate synthase, limonene-6-Hydroxylase, isopiperitenol dehydrogenase, and pulegone reductase. *Plant Physiology*. V. 136. p. 4215-4227.
- Uzun, M., Sancak, E., Usta, I. and Akalin, M. (2012). Surface modification of cotton and polyester fabrics using alginate and copper (II) sulphate interactions: Characteristics of thermal comfort properties. *RMUTP Int. Conf. Textiles and Fashion 2012*, section I.
- Valhov, H., QIN, J., Johansson, S. M., Ahlborg, N., Muhammed, M. A., Scheynius, A., Gabrielsson, S. (2006). The Importance of an Endotoxin-Free Environment during the Production of Nanoparticles Used in Medical Applications. *Nano Letter*, Vol. 6, N. 8, p. 1682-1686.

- Varesano, A., Vineis, C., Aluigi, A., Rombaldoni, F. (2011). Antimicrobial polymers for textile products. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*, 3, 99-110.
- Vargas, F. S., Almeida, P., Aranha, E. S. P., de A Boleti, A. P., Newton, P., de Vasconcellos, M. C., Lima, E. S. (2015). Biological activities and cytotoxicity of diterpenes from *Copaifera* spp. oleoresins. *Molecules*, 20(4), 6194-6210.
- Vaucher, R. A., Giongo, J. L., Bolzan, L. P., Côrrea, M. S., Fausto, V. P., dos Santos Alves, C. F., Brandelli, A. (2015). Antimicrobial activity of nanostructured Amazonian oils against *Paenibacillus* species and their toxicity on larvae and adult worker bees. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 18(2), 205-210.
- Veiga-Junior, V. F., Rosas, E. C., Carvalho, M. V. D., Henriques, M. D. G. M. D. O., Pinto, A. C. 2007. Chemical composition and anti-inflammatory activity of copaiba oils from *Copaifera cearensis* Huber ex Ducke, *Copaifera reticulata* Ducke and *Copaifera multijuga* Hayne—a comparative study. *Journal of ethnopharmacology*, 112(2), 248-254.
- Vihodceva, S., Kukle, S. (2012). Thin Coatings on the Raw Cotton Textile Deposited by the Sol-Gel Method. *Material Science. Textile and Clothing Technology*. p. 69-73.
- Vilhena, L., Ramalho, A. (2016). Friction of human skin against different fabrics for medical use. *Lubricants*, 4(1), 6.
- Vowden, K., Vowden, P. (2014). Wound dressings: principles and practice. *Surgery (Oxford)*, 32(9), 462-467.
- Vrignaud, S., Benoit, J.P., Saulnier, P. (2011). Strategies for the nanoencapsulation of hydrophilic molecules in polymer-based nanoparticles. *Biomaterials*. v. 32, n. 33, p. 8593-8604.
- Wang, L., Liu, F., Jiang, Y., Chai, Z., Li, P., Cheng, Y., Leng, X. (2011). Synergistic antimicrobial activities of natural essential oils with chitosan films. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(23), 12411-12419.
- Wieder, M. E., Hone, D. C., Cook, M. J., Handsley, M. M., Gavrilovic, J., Russell, D. A. (2006). Intracellular photodynamic therapy with photosensitizer-nanoparticle conjugates: cancer therapy using a 'Trojan horse'. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 5(8), 727-734.

Wiegand, C., Hipler, U. C. (2010, August). Polymer-based Biomaterials as Dressings for Chronic Stagnating Wounds. In *Macromolecular symposia* (Vol. 294, No. 2, pp. 1-13). WILEY-VCH Verlag.

Wollina, U., Abdel-Naser, M. B., Verma, S. (2006). Skin physiology and textiles—consideration of basic interactions. In *Biofunctional Textiles and the Skin* (Vol. 33, pp. 1-16). Karger Publishers.

Wollina, U., Heide, M., Müller-Litz, W., Obenauf, D., Ash, J. (2003). Functional textiles in prevention of chronic wounds, wound healing and tissue engineering. In *Textiles and the Skin* (Vol. 31, pp. 82-97). Karger Publishers.

Xing, K., Chen, X. G., Liu, C. S., Cha, D. S., Park, H. J. (2009). Oleoyl-chitosan nanoparticles inhibits *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* by damaging the cell membrane and putative binding to extracellular or intracellular targets. *International journal of food microbiology*, 132(2), 127-133.

Xu, R., Luo, G., Xia, H., He, W., Zhao, J., Liu, B., Yao, Z. (2015). Novel bilayer wound dressing composed of silicone rubber with particular micropores enhanced wound re-epithelialization and contraction. *Biomaterials*, 40, 1-11.

Yi, E., Yoo, E. S. (2010). A Novel bioactive fabric dyed with unripe citrus grandis osbeck Extract Part 1: dyeing properties and antimicrobial activity on cotton knit fabrics. *Textile Research Journal*, 80(20), p. 2117-2123.

Yien, L., Zin, N. M., Sarwar, A., Katas, H. (2012). Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties. *International Journal of Biomaterials*, 2012.

Yin, N., Chen, S., Li, Z., Ouyang, Y., Hu, W., Tang, L., Wang, H. (2012). Porous bacterial cellulose prepared by a facile surfactant-assisted foaming method in azodicarbonamide-NaOH aqueous solution. *Materials Letters*, 81, 131-134.

Yoksan, R., Jirawutthiwongchai, J., Arpo, K. (2010). Encapsulation of ascorbyl palmitate in chitosan nanoparticles by oil-in-water emulsion and ionic gelation processes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76(1), 292-297.

Yoshimura, T., Uchikoshi, I., Yoshiura, Y., Fujioka, R. (2005). Synthesis and characterization of novel biodegradable superabsorbent hydrogels based on chitin and succinic anhydride. *Carbohydrate Polymers*, 61(3), 322-326.

- Younes, I., Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine drugs*, 13(3), 1133-1174.
- Yusuf, S., Okuwa, M., Shigeta, Y., Dai, M., Iuchi, J.T., Sulaiman, R., Usman, A., Sukmawati, K., Sugama, J., Nakatani, T., Sanada, H., (2013). Microclimate and development of pressure ulcers and superficial skin changes. *Int. Wound J.*, <http://dxdoi.org/10.1111/iwj.12048>.
- Zahedi, P., Rezaeian, I., Ranaei-Siadat, S. O., Jafari, S. H., Supaphol, P. (2010). A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages. *Polymers for Advanced Technologies*, 21(2), 77-95.
- Zain, M. E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 129-144.
- Zhang, D., Zhou, W., Wei, B., Wang, X., Tang, R., Nie, J., Wang, J. (2015). Carboxyl-modified poly (vinyl alcohol)-crosslinked chitosan hydrogel films for potential wound dressing. *Carbohydrate polymers*, 125, 189-199.
- Zhang, H. C., Yang, S. F., Fang, J. Y., Deng, Y., Wang, D. F., Zhao, Y. (2014). Optimization of the fermentation conditions of *Rhizopus japonicus* M193 for the production of chitin deacetylase and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 101(30), 57e67.
- Zhang, J., Ge, T., Cao, Y. (2009). Patchwork, Functions and Origin of Clothing for Women in Jiangnan Watery Region of China. *Asian Social Science*, 5(2), 77.
- Zhao, J., Tang, Y., Liu, Y., Cui, L., Xi, X., Zhang, N., Zhu, P. (2015). Design carboxymethyl cotton knitted fabrics for wound dressing applications: Solvent effects. *Materials Design*, 87, 238-244.
- Zhong, W., Ahmad, A., Xing, M.M., Yamada P., Hamel, C. (2008). Impact of textiles on formation and prevention of skin lesions and bedsores. *Cutan Ocul Toxicol.* 27:21–8.
- Zhong, W., Xing, M.M., Pan, N., Maibach H.I. (2006). Textiles and human skin, microclimate, cutaneous reactions: an overview. *Cutan Ocul Toxicol*, 25:23–39.
- Zhou, H. Y., Chen, X. G., Kong, M., Liu, C. S., Cha, D. S., Kennedy, J. F. (2008). Effect of molecular weight and degree of chitosan deacetylation on the preparation and characteristics of chitosan thermosensitive hydrogel as a delivery system. *Carbohydrate polymers*, 73(2), 265-273.

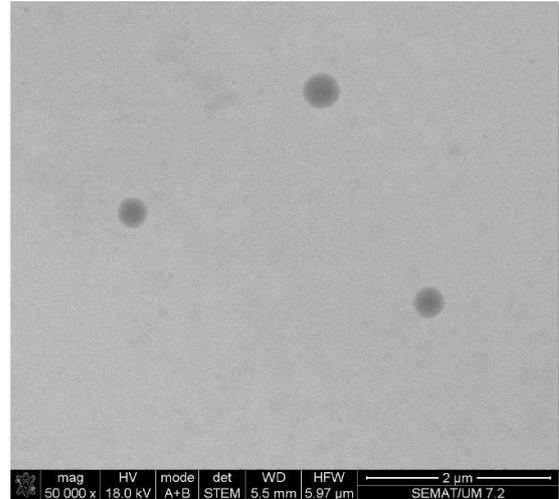
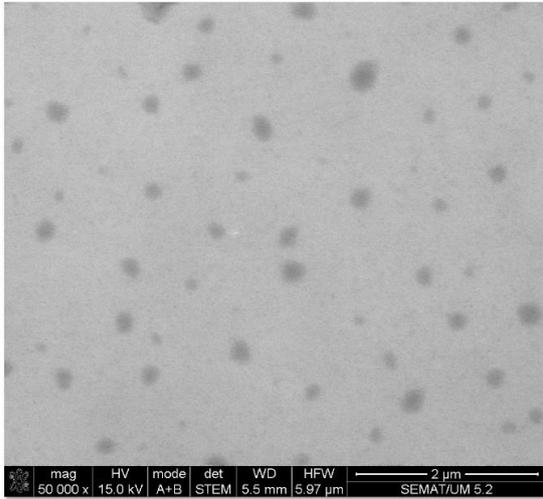
Zhou, Y., Yang, H., Liu, X., Mao, J., Gu, S., Xu, W. (2013). Potential of quaternization-functionalized chitosan fiber for wound dressing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 52, 327–332.

Ziech, R. E., Farias, L. D., Balzan, C., Ziech, M. F., Heinzmann, B. M., Lameira, O. A., Vargas, A. C. D. (2013). Antimicrobial activity of copaiba oil (*Copaifera reticulata*) against coagulase positive *Staphylococcus* of canine otitis. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33(7), p. 909-913.

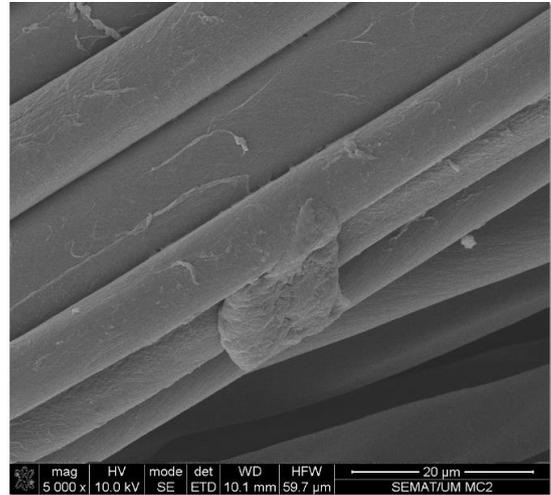
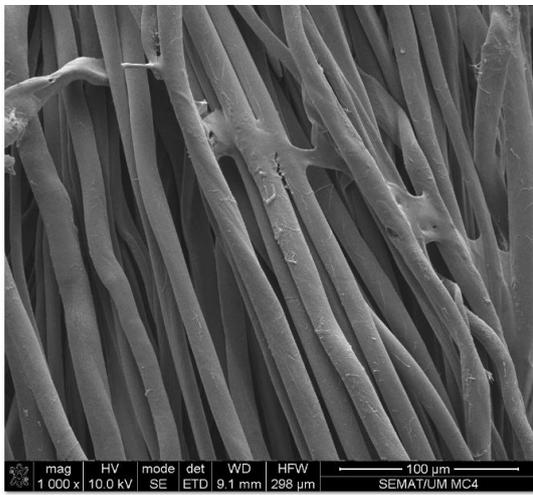
Zimmerman-Franco, D. C., Bolutari, E. B., Polonini, H. C., do Carmo, A. M. R., das Graças AM Chaves, M., Raposo, N. R. (2013). Antifungal activity of *Copaifera langsdorffii* Desf oleoresin against dermatophytes. *Molecules*, 18(10), p. 12561-12570.

Zoghbi, M. D. G. B., Andrade, E. H., Martins-da-Silva, R. C., Trigo, J. R. (2009). Chemical variation in the volatiles of *Copaifera reticulata* Ducke (Leguminosae) growing wild in the states of Pará and Amapá, Brazil. *Journal of Essential Oil Research*, 21(6), p. 501-503.

ANEXO 1



Imagens das nanopartículas de quitosano



Revestimento de quitosano na malha de algodão

ANEXO 2

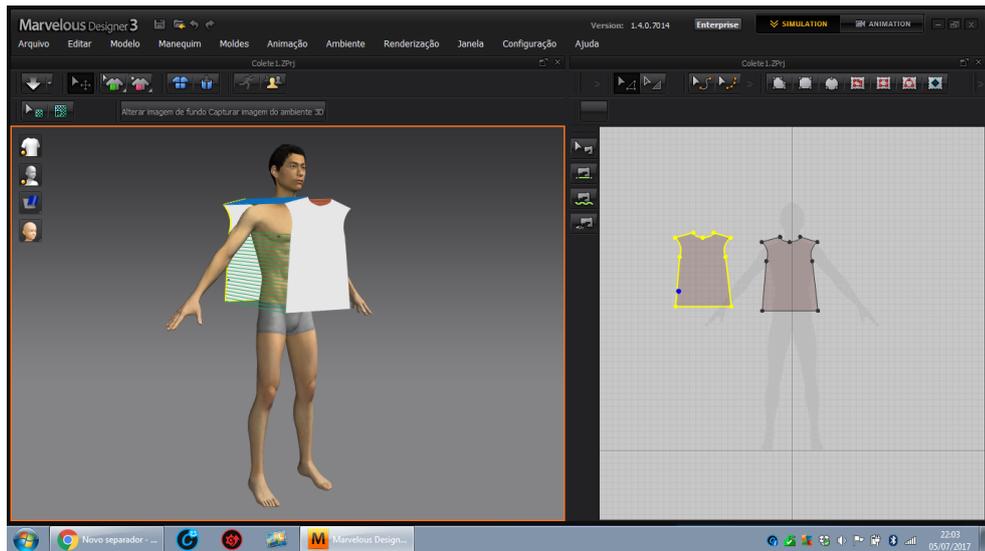


Imagem do Software Marvelous Designer3

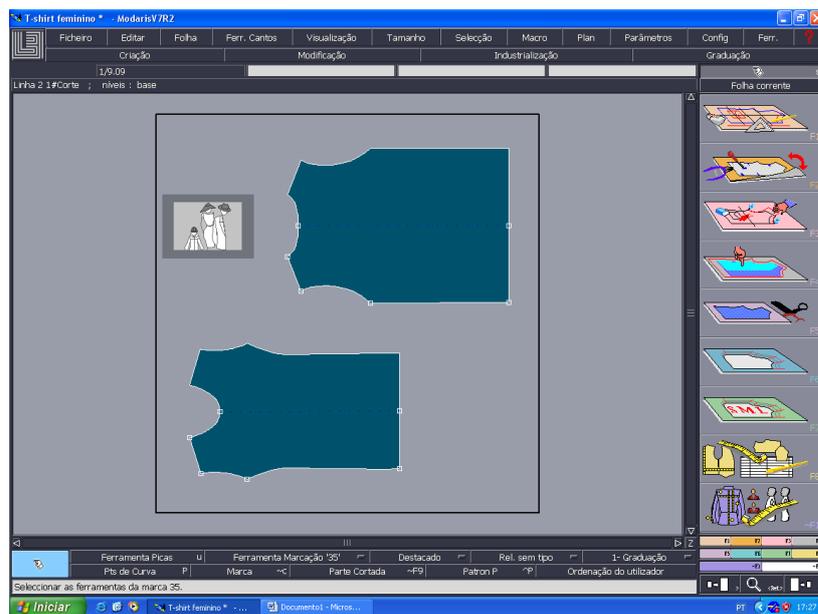


Imagem do Software CAD (Computer-aided design) para modelação

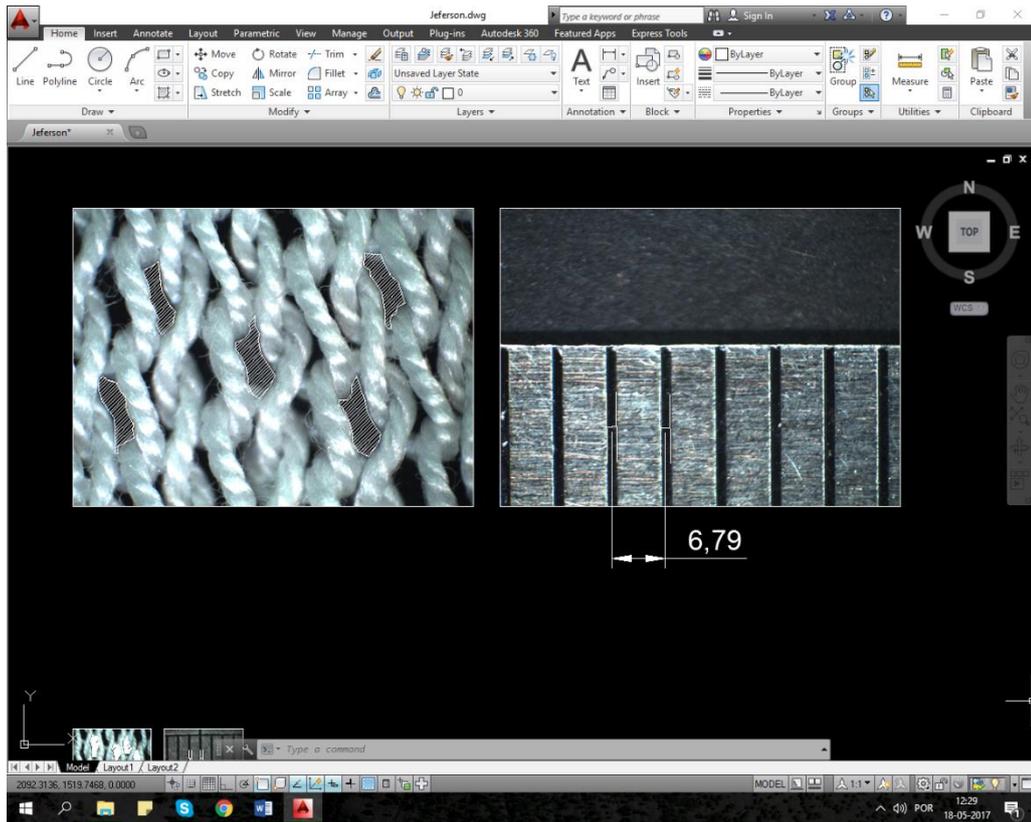


Imagem do Software AutoCAD

ANEXO 3

Programação Desenvolvida no *Software MATLAB*

clear all

close all

clc

% AMOSTRAS é composta em sua 1a coluna pelo número da amostra, da 2a a 5a

% coluna pelos valores de comportamento térmico, sendo na sequência:

% Condutividade térmica (extraída da tabela 1), Resistência térmica

% (extraída da Tabela 2), Fluxo de calor (extraído da Tabela 3)e

% Permeabilidade ao ar (extraída da Tabela 4), da 6a a 10a coluna pelos

% valores de gestão da umidade, sendo na sequência: Capilaridade estática

% no sentido da teia (extraída da Tabela 5), Capilaridade estática no

% sentido da trama (extraída da Tabela 6), Capilaridade dinâmica no sentido

% da teia (extraída da Tabela 7), Capilaridade dinâmica no sentido da trama

% (extraída da Tabela 8) e Absorção do vapor d'água (extraída da Tabela 9),

% da 11a a 13a coluna pelos valores das propriedades físicas, sendo na

% sequência: Flexibilidade no sentido da teia (extraído da Tabela 10),

% Flexibilidade no sentido da trama (extraído da Tabela 11) e Atrito

% cinético (extraído da Tabela 12).

% PESOS é composto pelos multiplicadores atribuídos a cada uma das colunas

% da matriz AMOSTRA em função dos critérios de importância adotados pelo

% analista, constituindo dessa forma um valor ponderado a cada um dos 3

% parâmetros considerados e suas subdivisões.

% Por meio do somatório dos valores obtidos da interrelação entre a

% matrizes AMOSTRAS eo vetor PESOS, obtém-se o valor total obtido para cada

% uma das cinco amostras, sendo os valores encontrados, de forma

% decrescente os que melhor se enquadram nos critérios de importância do

% operador, e ao dividir esses resultados pelo somatório dos valores

% adotados no vetor PESOS, obtém-se, afim de uma melhor leitura, os mesmos

% valores variando entre 1 e 10.

```
AMOSTRAS = [ 1  6.0  6.0  7.0  6.0  9.3  9.5  9.0  8.5  9.5  8.0  8.0  7.0;  
            2  7.0  7.0  8.0  7.0  9.2  9.3  9.3  9.3  9.2  7.5  7.5  7.5;  
            3  8.5  8.6  8.1  7.5  9.1  9.1  9.0  9.0  9.1  7.3  7.3  9.0;  
            4  9.0  9.0  9.0  8.0  7.0  7.5  6.5  7.0  7.0  5.5  5.5  9.3;  
            5  9.5  9.5  9.5  8.5  4.0  4.0  5.0  5.5  6.5  4.0  4.0  9.5];
```

```
PESOS = [6.2500  7.5000  5.0000  6.2500  4.5000  4.5000  6.0000  6.0000  9.0000  
        13.5000 13.5000 18.0000];
```

```
a = size(AMOSTRAS);
```

```
b = size(PESOS);
```

```
l = 0;
```

```
for n = 1:b(2)
```

```
    l = l + PESOS(n);
```

```
end
```

```
for m = 1:a(1)
```

```
    k = 0;
```

```
    for n = 2:a(2)
```

```
        k = k + AMOSTRAS(m,n) * PESOS(n - 1);
```

```
    end
```

```
    Resultados(1,m) = m;
```

```
    Resultados(2,m) = k / l;
```

end

for m = 1:a(1)

Max = 0;

Resultadosout(m,1) = m;

for n = 1:a(1)

if Resultados(2,n) > Max

Max = Resultados(2,n);

Resultadosout(m,2) = Resultados(1,n);

Resultadosout(m,3) = Resultados(2,n);

end

end

Resultados(2,Resultadosout(m,2)) = 0;

end

Resultadosout

Resultadosout = 1.0000 3.0000 8.3590
2.0000 2.0000 7.9515
3.0000 1.0000 7.7210
4.0000 4.0000 7.4390
5.0000 5.0000 6.6775

1ª coluna: sequência da maior para menor

2ª coluna: sequência de amostras

3ª coluna: nota obtida