



FIOS DE QUITOSANA E GLICEROL PARA APLICAÇÃO COMO FIO DE SUTURA

LEITE, Cyro Emmanuel D. V. (CERTBIO/UFCG)

ritaalvesleal@hotmail.com

SILVA, José Martinho de Albuquerque (IESP)

SILVA, Milena Costa da (CERTBIO/UFCG)

FOOK, Marcus Vinicius Lia (CERTBIO/UFCG)

MACIEL, Tuanny da Silva (IESP)

CRUZ, Rita de Cássia A. L. (IESP)

RESUMO

Os fios de suturas podem ser classificados de acordo com o tipo de material. Este trabalho objetivou obter fibras densas de quitosana e avaliar a presença do glicerol na perspectiva de aperfeiçoar propriedades mecânicas/biológicas, para aplicação como fios de sutura biodegradável. A quitosana tem sido bastante utilizada para aplicações médicas por apresentar características atrativas para serem utilizadas como biomaterial, tais como: biodegradabilidade, biocompatibilidade, não apresenta toxicidade, sua capacidade hemostática e sua capacidade de pode inibir o crescimento de microrganismos. O trabalho mostrou-se promissor, pois foram obtidos resultados satisfatórios na resistência à tração dos fios, onde todas as amostras ficaram acima dos resultados exigidos pela norma ABNT NBR 13904.

PALAVRAS-CHAVE: Suturas, Biomaterial, Resistência

ABSTRACT

Suture threads can be classified according to the type of material. This work aimed to obtain dense chitosan fibers and to evaluate the presence of glycerol in the perspective of improving mechanical / biological properties, for application as biodegradable suture yarns. Chitosan has been widely used for medical applications because it has attractive characteristics to be used as biomaterial, such as: biodegradability, biocompatibility, no toxicity, its hemostatic capacity and its ability to inhibit the growth of microorganisms. The work proved to be promising because satisfactory results were obtained in the tensile strength of the strands, where all samples were above the results required by the ABNT NBR 13904 standard.

KEYWORDS: Sutures, Biomaterial, Resistance



1 INTRODUÇÃO

Fios de suturas cirúrgicos são biomateriais que tem uma função dupla na reparação de tecido, sendo uma primeira função de proteger a ação cirúrgica realizada, e uma segunda de ação estética, podendo também ser aplicado na fixação de implantes e próteses (Kandimalla et al., 2016). Assim sendo, para que se alcance a regeneração tecidual bem sucedida é imprescindível que os fios de suturas apresentem contribuições desejáveis para a sua finalidade como: criar um ambiente susceptível para o crescimento do tecido, ser antimicrobiano, não tóxico, ter boa compatibilidade e boas propriedades mecânicas, bem como, proporcionar mínima reação tecidual (HUAIXAN et al., 2016; KANDIMALLA et al., 2016).

Os fios de suturas podem ser classificados de acordo com o tipo de material (natural ou sintético), com relação a degradabilidade (absorvíveis e não absorvíveis) e de acordo com o número de filamentos (monofilamentar ou multifilamentar). Podendo ainda ser impregnados ou revestidos com fármacos (GOGOI et al., 2014; KIM et al., 2007; PILLAI e SHARMA, 2010; VIJU e THILAGAVATHI, 2012).

A quitosana tem sido bastante utilizada para aplicações médicas por apresentar características atrativas para ser utilizada como biomaterial, tais como: biodegradabilidade (SHEN e KAMDEM, 2015), biocompatibilidade (LEE et al., 2013), não apresenta toxicidade (WANG et al., 2016), sua capacidade hemostática (GU et al., 2016), como também a sua capacidade de pode inibir o crescimento de microrganismos (MOHAMMADI et al., 2016).

Fios de quitosana obtidos a partir da técnica de fiação úmida têm sido reportados, e pesquisas nesta área foram e estão sendo realizadas, por ser uma técnica simples e de custo competitivo, quando comparada com outras técnicas de fiação (fusão (YANG et al., 2015); sopro (JU et al., 2016) e etc.). O método baseia-se na dissolução da quitosana em solução ácida, seguida da coagulação em um banho (DESORME et al., 2013).

As fibras poliméricas que são usadas na medicina podem ser fabricadas por três principais técnicas; “melt spinning” (FAMBRI et al., 2006), “dry spinning” e “wet spinning” (ELLIS e CHAUDHURI, 2007). Todas essas técnicas baseiam-se na extrusão de uma massa fundida de polímero ou da solução.

De acordo com Delgado (2011), o processo de wet spinning ou fiação úmida foi desenvolvido por vários investigadores (PAUL, 1968; MONCRIEFF, 1970; ZIABICKI;



KAWAI, 1985) e permite obter fibras com diâmetros na escala dos micrómetros (microfibras) a partir da quitosana previamente dissolvida.

Godeiro (2010) observou que o fio de quitosana utilizado nas suturas do peritônio de ratos apresentou menor reação tecidual, com menor infiltrado inflamatório, menor presença de fibroblasto e menor deposição de colágeno quando comparado ao fio de nylon.

Huaixan (2013) em seus estudos fez uma comparação entre as histerorrafias com fios de sutura dos tipos categute e quitosana, e observou que o fio de quitosana promoveu efeito preventivo no processo de formação de aderências pós-cirúrgicas das áreas de histerorrafia, com aumento da deposição de colágeno do tipo III no processo de reparação tecidual e conferindo melhor qualidade cicatricial, quando comparado ao categute.

De acordo com João (2010), a técnica de fiação úmida (wet spinning) consiste num processo de extrusão e precipitação com a finalidade de produzir fibras, normalmente de polímeros que precisam ser dissolvidos previamente para poderem ser fiados.

A fiação úmida da quitosana tem por teoria base a capacidade deste material (quando dissolvido e em solução) precipitar na presença de determinados agentes coagulantes. Colocando a solução de quitosana a uma seringa e posteriormente passando-a por uma agulha, é possível obter fibras coaguladas e bem orientadas que, posteriormente serão recolhidas num coletor apropriado (KUMAR, 1999; KNAUL et al., 1998).

Cruz et al. (2016) obteve fios de quitosana pela técnica de fiação úmida com diferentes solventes, avaliando a influência da utilização dos solventes na resistência mecânica e no diâmetro, verificando que as fibras apresentaram boas propriedades para aplicação como suturas.

Apesar de apresentarem vantagens com relação às características biológicas, quando comparadas com as fibras de origem sintética, as fibras de quitosana de modo geral apresentam menor resistência mecânica (LI et al., 2016), sendo a melhoria dessa uma das metas do trabalho proposto.



Por conseguinte, neste estudo objetivou-se obter fibras densas de quitosana e avaliar a presença do glicerol na perspectiva de otimizar propriedades mecânicas/biológicas, para aplicação como fios de sutura biodegradável.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a realização da pesquisa foram:

- Quitosana em pó, de médio peso molecular, de grau médico, com grau de desacetilação entre 75 – 85%;
- Hidróxido de Sódio;
- Metanol;
- Ácido Lático, P.A;
- Glicerina.

2.2 MÉTODOS

- **Preparação das soluções de quitosana**

A solução de quitosana foi preparada a partir da dissolução do polímero em solução ácida (1% v/v), para obter solução com concentração final da solução polimérica de 4,5% (m/v), sob agitação mecânica.

A Tabela 1 apresenta a identificação adotada para as amostras.

Tabela 1. Identificação das amostras de quitosana

Concentração da Quitosana (QT)	Identificação
4,5%	QT4,5

- **Preparação das Soluções de Quitosana e Glicerina**

Foi adicionado à solução de quitosana um polímero para estudar o seu efeito na estrutura e resistência dos fios produzidos, a glicerina. Foram preparadas soluções de acordo com as concentrações apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Identificação das amostras de quitosana com glicerina

Concentração da Quitosana (QT)	Concentração de glicerina	Identificação
4,5%	0,45%	QT4,5-G0,45
	0,90%	QT4,5-G0,90

- **Preparação dos fios**

Para a obtenção dos fios foram utilizadas seringas 20 ml, agulhas com abertura de 1 mm e utilizado uma velocidade de extrusão de 45ml/h.

A solução de quitosana foi injetada com velocidade pré-estabelecida, diretamente no banho coagulante, formando os fios logo após o contato entre solução de quitosana e o banho coagulante. Após este processo os fios permaneceram em repouso na solução coagulante por aproximadamente 1 hora e, em seguida os mesmos passaram por banhos de lavagens e secagem.

Os fios foram lavados até apresentarem aproximadamente um pH 7 e em seguida foram submetidos ao processo de secagem em estufa por aproximadamente 24 horas.

2.3 CARACTERIZAÇÕES

- **Avaliação Dimensional**

Após estarem totalmente secos, os fios foram submetidos a uma avaliação dimensional. Para esta etapa foram medidos os diâmetros de 05 amostras com um micrómetro digital (Mitutoyo, 0-25mm, 0.001mm), com o cuidado de não esmagar o fio para obter-se um valor com significado estatístico. As medições foram realizadas no momento do ensaio de tração.

- **Ensaio Mecânico sob Tração**

O ensaio mecânico sob tração, foi realizado na INSTRON 6633, máquina universal de testes, com velocidade de 120 mm/min, distâncias entre as cargas de 100mm, célula de carga de 500N. Esses são parâmetros adaptados da Norma ASTM D2256. O ensaio foi realizado a partir de n=05 amostras. A partir desse ensaio será



possível obter resultados de resistência à tração, alongamento do fio, tensão e o módulo de Young.

- **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

Os fios foram caracterizados morfológicamente por microscopia eletrônica de varredura utilizando um microscópio eletrônico de bancada, PHENON, modelo MEV PROX, (PHENOM WORD), com aumento de até 45000x, profundidade de foco de 1 mm, resolução de 30nm, 5,10 e15KV, baixo vácuo e pressão variada (1 a 270Pa), sem recobrimento metálico. O MEV foi utilizado para identificar a morfologia da superfície dos fios. Também utilizou-se do detector de EDS que é interno ao MEV PHENON, sendo um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais, no qual os elementos químicos presentes numa amostra podem ser identificados através do espectro de raios-X emitido pela amostra. Este acessório foi utilizado com o objetivo de verificar se há resíduos da solução coagulante na superfície dos fios.

- **Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

A técnica de FTIR em modo de absorbância será utilizada para caracterizar os materiais de partida e os fios após a sua obtenção. A caracterização por espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier foi realizada em um espectrômetro modelo Spectrum 400 FT Mid-IR PerkinElmer, para cada amostra foram obtidos cinco espectros entre 4000 e 650 cm^{-1} , após serem realizados 16 varrimentos com uma resolução de 4 cm^{-1} .

- **Citotoxicidade (Avaliação da Viabilidade Celular)**

Os testes de citotoxicidade foram realizados com a finalidade avaliar a resposta celular dos fios seguindo a norma ISO 10993-5, através da determinação da porcentagem da viabilidade celular, utilizando o método da redução do MTT [brometo de 3-(4,5-dimetiliazol-2-il)- 2,5-difeniltetrazólio], que estabelece uma correlação entre a atividade metabólica celular e o número de células viáveis em cultura in vitro. Para



avaliação da citotoxicidade de todos os fios estudados, foram utilizados a linha celular L929. A viabilidade celular será calculada em porcentagem, considerando o controle negativo com 100% de viabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

- **Avaliação Dimensional**

Foram calculados os diâmetros de todos os fios produzidos. As seguintes análises foram realizadas com grupos de 5 amostras. Os valores médios encontram-se na Tabela 4.

Tabela 3. Diâmetro das fibras de quitosana

	Diâmetro Médio (mm)	Desvio Padrão
QT4,5	0,174	0,01375
QT4,5-G0,45	0,195	0,03356
QT4,5-G0,90	0,176	0,01513

De acordo com o resultados da Tabela 4, verifica-se que há uma certa discordância entre o esperado para cada concentração e os diâmetros médios obtidos. Encontra-se uma divergência ao analisar as concentrações de quitosana individualmente com o acréscimo de glicerina, onde o esperado seria que o aditivo proporcionasse uma redução do diâmetro em comparação com as fibras sem o mesmo, por ser um agente fluidificante. De acordo com Delgado (2011), a adição de glicerina provoca uma redução no diâmetro e um aumento do seu módulo de Young e tensão de ruptura.

Observando como um todo, a discrepância pode estar relacionada a falhas no momento da leitura do diâmetro, ou nas etapas de processamento, como por exemplo na etapa de enrolamento para secagem, que pode haver movimentos que ocasionam o estreitamento do fio, e conseqüentemente a amostra a ser analisada dimensionalmente deve ser muito bem escolhida pelo analista, a fim de obter-se as melhores partes do fio que não foram distorcidas durante o processamento.

A partir da análise dimensional dos fios é possível classificar os mesmos de acordo com a norma ABNT NBR 13904. Essa classificação foi feita embasada nos objetivos propostos, que são fios de sutura, logo, de acordo com a norma, estão



classificados como fios cirúrgicos. A Tabela 5 classifica os fios perante a norma ABNT NBR 13904.

Tabela 4. Relação entre número cirúrgico e diâmetro médio obtido

	Diâmetro Médio (mm)	Classificação
QT4,5	0,174	5-0
QT4,5-G0,45	0,195	5-0
QT4,5-G0,90	0,176	5-0

Analisando a Tabela 5, apesar de diâmetros médios relativamente diferentes, todos os fios classificam-se como sendo do tipo 5-0 de acordo com a norma.

- **Ensaio Mecânico sob Tração**

De acordo com a norma ABNT NBR 13904, os fios são classificados de acordo com seus respectivos diâmetros, e cada tipo deve apresentar uma específica resistência mínima à tração. Na Tabela 6 estão à representação das cargas máximas suportadas nos ensaios, as cargas que deveriam ser atingidas de acordo com a norma e o percentual de eficiência de cada amostra.

Tabela 5. Representação das cargas máximas suportadas nos ensaios, as cargas que deveriam ser atingidas de acordo com a norma e o percentual de eficiência de cada amostra.

	Diâmetro Médio (mm)	Carga Máxima (N)	Carga desejada (N)	Percentual adquirido (%)
QT4,5	0,174	5,88	3,73	157,53
QT4,5-G0,45	0,195	6,01	3,73	161,23
QT4,5-G0,90	0,176	6,23	3,73	166,89

Observando a Tabela 6, percebe-se em primeiro lugar que todos os fios obtiveram resultados acima dos exigidos pela norma.

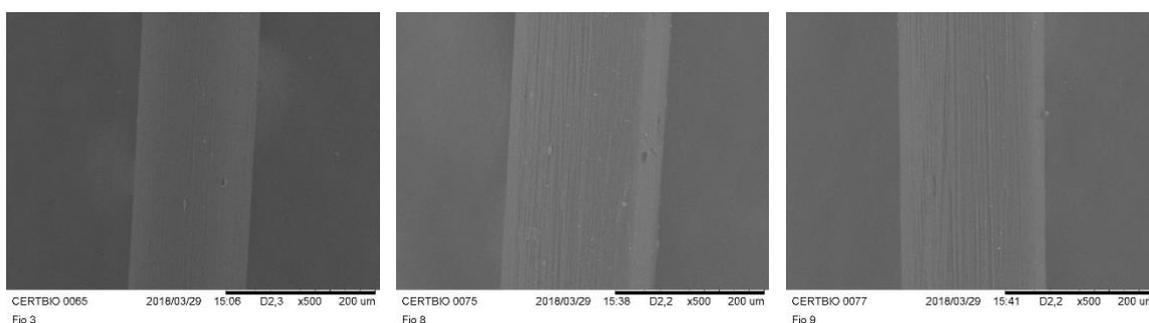
Observa-se que a glicerina proporcionou um aumento nas propriedades mecânicas das amostras, ocasionando uma maior qualidade gradativa dos fios. De acordo com David e Henry (1996) a utilização do glicerol em conjunto com a quitosana deve-se à tentativa de exploração do material como fluidificante, devido à sua elevada viscosidade, o glicerol confere uma maior ductilidade às fibras onde é aplicado.

Os resultados de carga máxima suportada para as fibras preparadas com 4,5% de quitosana demonstram que o aumento da concentração do glicerol provocou um aumento de aproximadamente 20%. Resultados semelhantes foram encontrados por Delgado (2011), quando preparou microfibras de quitosana com glicerol.

Analisando como um todo, o acréscimo de glicerina provocou variações muito pequenas ou até mesmo redução do percentual adquirido, podendo ser ocasionada por falhas de processamento ou pelo estreitamento da fibra na etapa de secagem da mesma. Considerando como um todo, os fios apresentaram resultados satisfatórios, acima da exigência da norma, mostrando que as soluções são promissoras.

- **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A morfologia da superfície dos fios de quitosana com e sem glicerol (Figura 1a, 1b e 1c,) foram observadas e verificou-se que todas as amostras apresentam aspecto uniforme e homogêneo sendo seu formato cilíndrico e bem definido. Verifica-se ainda, que aparentemente não há presença de poros.



(a)

(b)

(c)

Figura 1 Micrografias dos Fios obtidos: (a) QT4,5; (b)QT4,5-G0,45 e (c) QT4,5-G0,90.

Analisando as micrografias apresentadas na Figura 1, observa-se uma orientação preferencial uniforme em todas as soluções que supostamente advém da força de estiramento conferida durante o processo de extrusão e de secagem, além da presença de vestígios de solução coagulante utilizado no processamento dos fios.

Dresvyanina et al. (2013), sugeriu que este efeito de estiramento durante o processo de fiação ocorre porque as macromoléculas da quitosana foram orientadas na passagem da solução de polímero através do perfil devido a tensões de cisalhamento, resultando em um fio com estrutura orientada e ordenada.

A utilização do metanol no banho de secagem também interfere na superfície do fio, proporcionando a desidratação da mesma, permitindo que os fios apresentem uma superfície lisa e uniforme, eliminando as possíveis irregularidades (como o enrolamento do fio), no período de secagem das amostras (KNAUL et al., 1998; CRUZ et al., 2016).

Avaliando as Figuras 1a, 1b e 1c podemos perceber que o aumento da concentração de glicerol aumentou a orientação preferencial das fibras.

- **Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

O estudo químico dos fios produzidos foi realizado utilizando a técnica de FTIR. A Figura 2 apresenta o espectro vibracional das fibras de quitosan com e sem a presença de glicerol.

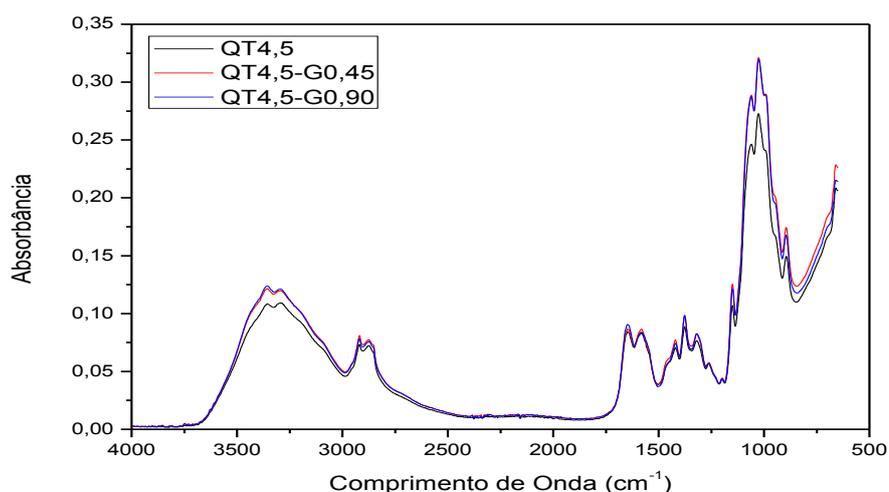


Figura 2 Espectros vibracionais dos Fios obtidos com e sem a presença do glicerol.

Analisando os espectros apresentados na Figura 2, podemos perceber que a presença do glicerol provocou uma maior absorção na faixa de 3600 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} , referente ao grupo OH , o que já era de se esperar levando em consideração a estrutura do glicerol. Em torno de 1645 cm^{-1} , pode-se perceber também um aumento na absorção com a presença do glicerol, este pode está relacionada com os produtos de reações laterais, como acroleína, durante a produção e tratamento do glicerol; e como a água

residual. Picos sobrepostos foram observados na região compreendida entre 1500-700 cm^{-1} .

Os fios com glicerol apresentaram modificações mais evidentes na segunda região do espectro, que corresponde ao estiramento vibracional C-H. Outra observação está relacionada ao aumento relativo da banda localizada em aproximadamente 3000 cm^{-1} , que indica a incorporação do glicerol nos fios, pois o plastificante apresenta bandas características nessa região.

- **Citotoxicidade**

Para a realização deste ensaio foram utilizadas apenas 6 amostras escolhidas de forma aleatória, visando reduzir custos, tendo em vista que as amostras diferenciam-se apenas em suas concentrações.

A Figura 3 apresenta o gráfico da viabilidade celular dos fios obtidos.

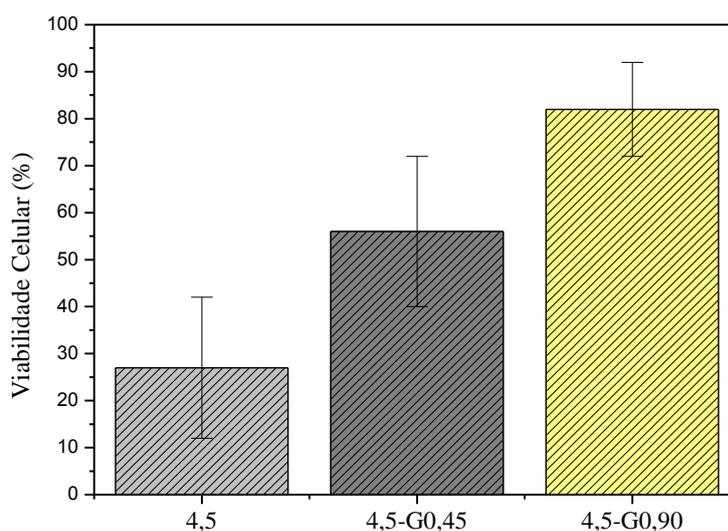


Figura 3 Viabilidade Celular dos fios.

Avaliando os dados apresentados na Figura 3, podemos perceber um aumento do percentual de viabilidade celular com o aumento da concentração do glicerol no fio para todas as composições.



Os resultados demonstraram que apenas o fio QT4,5-G0,90 apresentou viabilidade celular acima de 70%, obtendo uma viabilidade celular de 82%.

De acordo com a ISO 10993-5:2009 as amostras com diminuição de 30% da viabilidade celular são consideradas citotóxicas, ou seja, apenas o fio QT4,5-G0,90 apresentou viabilidade celular aceitável.

4 CONCLUSÕES

A técnica desenvolvida nesta pesquisa demonstrou ser efetiva para a obtenção de fibras de quitosana, considerando os aspectos de processamento. Observou-se que a pesquisa é promissora, considerando que foram obtidos resultados satisfatórios na resistência à tração dos fios, onde todas as amostras ficaram acima dos resultados exigidos pela norma ABNT NBR 13904. Quanto a Microscopia Eletrônica de Varredura observa-se uma orientação uniforme em todas as soluções, além de pouquíssimos vestígios de solução coagulante utilizado no processamento dos fios. Por fim, a Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) nos permitiu observar os picos representativos de cada ligação contida na matriz Quitosana, e constatar excelentes resultados no que se refere a pureza do material e a uniformidade entre as amostras. Por fim, podemos perceber que o aumento no teor de glicerol provocou um aumento na viabilidade celular dos fios.

REFERÊNCIAS

- CRUZ, R. DE C. A. L.; DINIZ, L. G. M.; LISBOA, H. M.; MARCUS VINICIUS LIA FOOK. Effect of different carboxylic acids as solvent on chitosan fibers production by wet spinning. *Revista Matéria*, p. 525–531, 2016.
- DELGADO, A. F. S. Estudo e Optimização da Técnica de Fiação Húmida para Produção de Microfibras de Quitosano. 2011. 99 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Biomédica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- DESORME, M.; MONTEBAULT, A.; LUCAS, J. M.; ROCHAS, C.; BOUET, T.; et al. Spinning of hydroalcoholic chitosan solutions. *Carbohydrate Polymers*, v. 98, n. 1, p. 50–63, 2013.



ELLIS, M. J.; CHAUDHURI, J. B. Poly(lactic-co-glycolic acid) hollow fibre membranes for use as a tissue engineering scaffold. *Biotechnol. And Bioeng.*, v. 96, n. 1, p.177-187, 2007.

FAMBRI, L.; BRAGAGNA, S.; MIGLIARESI, C. Biodegradable fibers of poly- L,DL-lactide 70/30 produced by melt spinning. *Macromol. Symp.*, v. 234, n. 1, p.20-25, 2006.

GODEIRO, J. R. G. Estudo comparativo da reação tecidual induzida entre os fios de nylon e quitosana em suturas no peritônio de ratos. 2010. 38f. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

GOGOI, D.; CHOUDHURY, A. J.; CHUTIA, J.; PAL, A. R.; KHAN, M.; et al. Development of advanced antimicrobial and sterilized plasma polypropylene grafted MUGA (*Antheraea assama*) silk as suture biomaterial. *Biopolymers*, v. 101, n. 4, p. 355–365, 2014.

GU, B. K.; PARK, S. J.; KIM, M. S.; LEE, Y. J.; KIM, J.-I.; et al. Gelatin blending and sonication of chitosan nanofiber mats produce synergistic effects on hemostatic functions. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 82, p. 89–96, 2016.

HUAIXAN, L. N. Comparação entre as Histerorráfias com Fios de Sutura dos Tipos Categute e Quitosana : Macroscópica , Histoquímica e com Fios de Sutura dos Tipos Categute e Quitosana : Macroscópica , Histoquímica e Imuno-Histoquímica 2013. 20f. Dissertação (Mestrado em Saúde Animal). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

HUAIXAN, L. N.; ARRUDA, S. S. B.; LEONARDO, A. S.; VIANA, J. C.; BARRETO-VIANNA, A. R. C.; et al. Macroscopic, histochemical, and immunohistochemical comparison of hysterorrhaphy using catgut and chitosan suture wires. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*, v. 104, n. 1, p. 50–57, 2016.

JOÃO, C. F. C. Produção de microfibras compósitas de quitosano e hidroxiapatite pela técnica de fiação húmida, 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica). Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.

JU, J.; KANG, W.; LI, L.; HE, H.; QIAO, C.; et al. Preparation of poly (tetra fluoroethylene) nano fi ber fi lm by electro- blown spinning method. *Materials Letters*, v. 171, p. 236–239, 2016.

KANDIMALLA, R.; KALITA, S.; CHOUDHURY, B.; DEVI, D.; KALITA, D.; et al. Fiber from ramie plant (*Boehmeria nivea*): A novel suture biomaterial. *Materials Science and Engineering: C*, v. 62, p. 816–822, 2016.

KIM, J. C.; LEE, Y. K.; LIM, B. S.; RHEE, S. H.; YANG, H. C. Comparison of tensile and knot security properties of surgical sutures. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v. 18, n. 12, p. 2363–2369, 2007.

KUMAR, M. N. V. R. Chitin and chitosan fibres: A review. *Bulletin Of Material Science*, v. 22, n. 5, p.905-915, 1999.



- LEE, K.; LEE, S. Y.; NA, J. G.; JEON, S. G.; PRAVEENKUMAR, R.; et al. Magnetophoretic harvesting of oleaginous *Chlorella* sp. by using biocompatible chitosan/magnetic nanoparticle composites. *Bioresource Technology*, v. 149, p. 575–578, 2013.
- LI, J.; LIU, D.; HU, C.; SUN, F.; GUSTAVE, W.; et al. Flexible fibers wet-spun from formic acid modified chitosan. *Carbohydrate Polymers*, v. 136, p. 1137–1143, 2016.
- MOHAMMADI, A.; HASHEMI, M.; MASOUD HOSSEINI, S. Effect of chitosan molecular weight as micro and nanoparticles on antibacterial activity against some soft rot pathogenic bacteria. *LWT - Food Science and Technology*, 2016.
- MONCRIEFF, R. *Man-made-Fibres*. 5. ed. New York: Wiley-interscience, 1970. 928 p.
- PAUL, D. R. Diffusion during the coagulation step of wet spinning. *Journal Of Applied Polymer Science*, v. 12, p.383-402, 1968.
- PILLAI, C. K. S.; SHARMA, C. P. Review Paper: Absorbable Polymeric Surgical Sutures: Chemistry, Production, Properties, Biodegradability, and Performance. *Journal of Biomaterials Applications*, v. 25, n. 4, p. 291–366, 2010.
- SHEN, Z.; KAMDEM, D. P. Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 74, p. 289–296, 2015.
- VIJU, S.; THILAGAVATHI, G. Fabrication and characterization of silk braided sutures. *Fibers and Polymers*, v. 13, n. 6, p. 782–789, 2012
- WANG, C.-H.; LIU, W.-S.; SUN, J.-F.; HOU, G.-G.; CHEN, Q.; et al. Non-toxic O-quaternized chitosan materials with better water solubility and antimicrobial function. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 84, p. 418–427, 2016.
- YANG, Z.; XU, D.; LIU, J.; LIU, J.; LI, L.; et al. Fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/carbon nanotube melt-spinning composites fiber. *Progress in Natural Science: Materials International*, v. 25, n. 5, p. 437–444, 2015.
- ZIABICKI, A.; KAWAI, H. *High-speed fiber spinning: Science and engineering aspects*. New York: Wiley-interscience, 1985. 586 p.