

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO EM FLUIDO CORPORAL SIMULADO ENTRE FIOS DE SUTURA DE NÁILON CIRÚRGICOS E “LINHAS DE PESCA” USADOS NO REPARO DO TENDÃO

Abikeila Pinheiro Santos da Silva ⁽¹⁾ (abikeila.pinheiro@discente.univasf.edu.br), Kaio Luan da Silva Fonseca ⁽¹⁾ (kaio.luan@discente.univasf.edu.br), Nelson Cárdenas Olivier ⁽¹⁾ (nelson.cardenas@univasf.edu.br), Erlon Rabelo Cordeiro ⁽¹⁾ (erlon.cordeiro@univasf.edu.br), Willas Matias da Silva ⁽¹⁾ (willas.matias@discente.univasf.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF); Colegiado de Engenharia Mecânica – CENMEC; Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais - PPGCM

RESUMO: Na medicina veterinária, as “linhas de pesca” (poliamida) têm se mostrado opção para substituição dos fios cirúrgicos de náilon ou poliamida, sobretudo na cirurgia de reparo do tendão. Com isso, o objetivo dessa pesquisa foi comparar dois tipos de fios cirúrgicos mediante análises quantitativas das propriedades mecânicas à tração e qualitativas da biodegradação. Para tal, 45 amostras de fios cirúrgicos de náilon e 45 amostras de “linhas de pesca” de poliamida foram separados em dois grupos de estudo: grupo I – controle, submetido ao ensaio de tração, e grupo II – experimental, submerso tracionado em fluido corporal simulado (SBF). Nos períodos de 3 meses, 6 meses e 9 meses os grupos foram submetidos a ensaios mecânicos à tração, a análises microscópicas das estruturas superficiais e à análise estatística, feita através do teste T de Student. Constataram-se similaridades entre os fios de sutura e as linhas de pesca em propriedades mecânicas, como módulo de elasticidade, deformação de ruptura, tenacidade e rigidez. Quanto ao limite de resistência, mostrou-se significativamente maior nos fios de sutura, em relação às “linhas de pesca”. Qualitativamente, as “linhas de pesca” não sofreram degradação significativa, enquanto os fios de sutura se degradaram de maneira homogênea e expressiva.

PALAVRAS-CHAVE: POLIAMIDA, BIOMATERIAIS, SBF, TENORRAFIA, VETERINÁRIA.

COMPARATIVE STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND INFLUENCE OF AGING ON SIMULATED BODY FLUID BETWEEN SURGICAL NYLON SUTURE THREADS AND "FISHING LINES" USED IN TENDON REPAIR

ABSTRACT: In veterinary medicine, "fishing lines" (polyamide) have been shown to be an option for replacing nylon or polyamide surgical threads, especially in tendon repair surgery. Thus, the objective of this research was to compare two types of surgical threads through quantitative analysis of the mechanical properties at tensile and qualitative properties of biodegradation. To this end, 45 samples of nylon surgical threads and 45 samples of polyamide "fishing lines" were separated into two study groups: group I – control, submitted to the traction test, and group II – experimental, submerged pulled in simulated body fluid (SBF). In the periods of 3 months, 6 months and 9 months, the groups were submitted to mechanical tensile tests, microscopic analysis of the surface structures and statistical analysis, performed using the Student's T test. Similarities were found between the sutures and the fishing lines in mechanical properties, such as modulus of elasticity, rupture deformation, toughness and stiffness. Regarding the resistance limit, it was significantly higher in the suture threads, in relation to the "fishing lines". Qualitatively, the "fishing lines" did not suffer significant degradation, while the sutures degraded in a homogeneous and expressive manner.

KEYWORDS: POLYAMIDE, BIOMATERIALS, SBF, TENORRHAPHY, VETERINARY.

1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, muitas foram as evoluções no ramo cirúrgico de reparo de lesão do tendão (tenorrafia). Após anos mantendo-se a imobilização do tendão no pós-cirúrgico, BECKER (1978) e GELBERMAN et al (1981), através de estudos clínicos e experimentais, concluíram que a cicatrização da cirurgia do tendão apresentava melhor qualidade com a mobilização precoce do que com a imobilização. Como consequência disso, buscou-se materiais para os fios de sutura que possuísem uma alta resistência à tração, com um bom custo-benefício, para que a sutura não se rompesse no pós-operatório e, assim, não se perdesse a cirurgia parcialmente ou até totalmente. Assim, popularizou-se o uso do náilon como material dos fios de sutura para tenorrafia, já que conta com um baixo custo, fácil manuseio, alta resistência e pequena reação tecidual (MEDEIROS; ARAÚJO-FILHO; CARVALHO; 2016).

O náilon é um material quimicamente inerte e se decompõe ao longo do tempo em 1-6-hexanodiamina e ácido-adípico, chegando a perder toda sua resistência à tração até dentro de 6 meses (NETSCHER et al, 2015). Isso se deve a uma degradação química em que é provocada a hidrólise por enzimas proteolíticas (MEDEIROS; ARAÚJO-FILHO; CARVALHO; 2016). Sabendo que a perda de resistência não deve ocorrer até a cicatrização completa da cirurgia do tendão, a degradação precisa ser estudada e prevista diante dos diferentes fatores causadores.

Na medicina veterinária as “linhas de pesca” (poliamida) também já têm sido utilizadas como fio para a realização da sutura de tendão, substituindo o fio cirúrgico de náilon, devido à sua popularidade e custo baixo. Entretanto, há poucas informações disponíveis sobre o uso desse material nessa aplicação e sobre a comparação do mesmo com os fios cirúrgicos de náilon, o que possibilitaria a escolha criteriosa entre os dois. Sabendo disso, esse projeto de pesquisa deseja trazer informações técnicas físicas e químicas das “linhas de pesca” e dos fios cirúrgicos.

Para a eleição de materiais, na engenharia, procura-se conhecer seus comportamentos e propriedades mecânicas, recorrendo aos Ensaio Mecânicos que contam com métodos normatizados (GARCIA, 2012). Como os músculos, ligamentos e tendões são geralmente solicitados nos esforços de tração (SHIMANO; SHIMANO; 2000), para o estudo das linhas usadas na tenorrafia foram realizados ensaios mecânicos desse tipo. Esse ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente em um corpo de prova até a sua ruptura e, através dele, é possível determinar as principais propriedades mecânicas à tração dos fios (GARCIA, 2012).

Além de serem submetidos aos ensaios mecânicos de tração, os dois tipos de fios tiveram suas estruturas superficiais analisadas microscopicamente quando novos e ao passarem pelo experimento de serem submersos tracionados no fluido corporal simulado (SBF). Dessa forma, objetivou-se conhecer os efeitos da bioatividade in vivo e do envelhecimento nos fios de sutura e, também, realizar o estudo comparativo entre os fios cirúrgicos de náilon e “linha de pesca” através da análise das propriedades mecânicas à tração e do estudo do comportamento químico de ambos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar e comparar “linha de pesca” utilizadas em cirurgias de reparo do tendão na medicina veterinária com fios de sutura cirúrgicos de náilon, através da determinação das propriedades mecânicas à tração e de análises dos desgastes das linhas, causados pelo envelhecimento tracionado em fluido corporal simulado, assim como pela biodegradação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a integridade estrutural e determinar as propriedades mecânicas à tração de amostras dos dois tipos de linhas;
- Separar amostras do grupo I e do grupo II, submergindo os fios de náilon do segundo grupo no fluido corporal simulado, estando tracionados;
- Submeter o grupo controle e o experimental aos ensaios de tração nos períodos de 3 meses, 6 meses e 9 meses, obtendo as novas propriedades mecânicas;
- Analisar a estrutura superficial das amostras dos fios através do microscópio eletrônico de varredura nos três períodos estabelecidos.

1.2 Justificativas

O presente projeto de pesquisa se justifica pela escassez de informações publicadas sobre o uso de “linhas de pesca” (poliamida) como fios de sutura na realização da cirurgia de reparo do tendão na medicina veterinária. Assim, faltam publicações científicas que comparem as resistências à tração e à biodegradação do mesmo com as dos fios cirúrgicos de náilon.

Além disso, é justificado pelos eventuais casos de ruptura da sutura do tendão feita com o fio de náilon, devido à ausência de dados técnicos deste. Havendo esse fato antes da cicatrização completa do tendão, o paciente pode vir a perder parcialmente ou totalmente a cirurgia realizada, demandando um maior período de dor e sofrimento até a correção da fratura.

Sabendo disso, esse projeto de pesquisa deseja trazer informações técnicas físicas e químicas das “linhas de pesca” e dos fios cirúrgicos. Serão determinadas as propriedades mecânicas à tração e analisada a biodegradação causada pela submersão da sutura em fluido corporal. Assim, almeja-se agregar conhecimento sobre o fio de sutura de náilon utilizado na tenorrafia na medicina e medicina veterinária e trazer respaldo científico para a substituição do fio cirúrgico de náilon por um fio de baixo custo: as “linhas de pesca”.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho se trata de uma pesquisa científica aplicada, experimental, laboratorial e longitudinal, utilizando amostras de fio de náilon cirúrgicos da marca Technofio, cujo fabricante é a A C E Indústria e Comércio LTDA, e de “linhas de pesca” da marca Ekilon Crystal, cujo fabricante é a Equipesca Indústria e Comércio LTDA. Este estudo parte da determinação das propriedades mecânicas à tração dos fios e da análise de suas estruturas superficiais em microscópios e MEV ao longo do tempo, quando submersos em fluido corporal simulado. Foram realizados ensaios mecânicos à tração, análises microscópicas eletrônica de varredura, o desenvolvimento do fluido corporal simulado (SBF) e submersão neste.

2.1 Materiais

As unidades dos fios cirúrgicos possuíam 450 mm de comprimento e eram de calibre 3-0. Este diâmetro foi selecionado conforme pesquisas e literaturas, sendo o mais indicado para reparo do tendão. A numeração cirúrgica dos fios de sutura é expressa pelo sistema USP (Farmacopeia dos Estados Unidos) e nele é relacionada a numeração do tamanho com o calibre em milímetros. Assim, o calibre 3-0 do fio sintético refere-se à faixa de diâmetro 0,20 mm a 0,249 mm. Sabendo disso, as amostras da “linha de pesca” deviam atender à essa tolerância de diâmetro e possuir 45 cm de comprimento, para simular o fio cirúrgico.

Visando à obtenção de resultados verídicos, foram utilizadas 45 amostras de cada tipo de fio, o que possibilitou a repetição em 5 vezes do ensaio mecânico em cada período determinado. Assim, foram destinadas 5 amostras para a análise do fio quando novo, 20 para o grupo controle e 20 para o grupo experimental. Das 20 amostras de cada grupo, 5 foram extras para caso ocorra descarte da amostra por erro no ensaio realizado.

Fios de náilon, tanto o cirúrgico como, principalmente, a “linha de pesca”, são de amplo acesso e facilmente encontrados comercialmente. Após a aquisição dos fios, o fluido corporal simulado (SBF) foi preparado laboratorialmente, seguindo-se as recomendações e proporções dadas por Kokubo e Takadama (2006). Para assegurar a integridade e conformidade técnica dos fios com normas, 5 amostras de cada tiveram suas propriedades mecânicas à tração determinadas e as suas estruturas superficiais analisadas. Logo após, foram preparados os grupos de estudo, sendo o grupo 1: Grupo Controle - sujeito ao esforço físico (à tração) e grupo 2: Grupo Experimental - além de tracionado, submerso no fluido corporal simulado (SBF).

Após o período de 3 meses, 5 unidades de cada tipo de fio, de cada grupo de estudo, foram submetidas aos ensaios de tração na Máquina Universal de Ensaio (MUV), modelo EMIC DL 10.000, e à análise no Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo Vega 3XMU, marca Tescan. O procedimento se repetiu em 6 meses e em 9 meses de experimento e, em cada período, foram

monitoradas as propriedades mecânicas à tração e os efeitos da degradação química. Com o monitoramento, as informações foram devidamente comparadas.

2.2 Instrumentos

Através da Máquina Universal de Ensaio Mecânicos são aplicadas cargas de tração, compressão ou flexão e, mensurando-se a deformação sofrida pelo corpo, é possível determinar propriedades mecânicas do material. O ensaio mecânico à tração realizado nesse estudo consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente em um corpo de prova até a sua ruptura (GARCIA, 2012). Com isso, foram traçadas as curvas Tensão(σ) - Deformação(ϵ), obtendo-se as propriedades mecânicas à tração, sendo as principais: Resistência à tração ou força (F), Rigidez (RG), Tenacidade (U_t), Resiliência (U_r) e Deformação de Ruptura (ϵ_f).

Quanto ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), esse permite a análise das características superficiais de materiais sólidos através de um feixe de elétrons, gerando uma melhor resolução que a obtida no microscópio óptico convencional. Por meio da tecnologia proposta no MEV, foi possível realizar uma análise da estrutura superficial da linha de pesca em relação ao fio de sutura, através da análise comparativa, no período de 3 meses.

Para complementar a análise realizada no MEV, optou-se pela utilização do sistema óptico do Microdurômetro Modelo Hxd-1000tm – Panambra, com lentes 10/0.25 e 40/0.65, e do Microscópio 2077 NE 154, fabricado pela Kontrol com lente 10/0.25 160/0.17. Permitiu-se, assim, a verificação e registro de imperfeições e desgastes superficiais e mais profundas durante todo o período da pesquisa.

Sobre o fluido corporal simulado (SBF), Kokubo e Takadama (2006) reformularam e descreveram a composição dele, visando simular o plasma sanguíneo. Para a reprodução do experimento, foram utilizados os mesmos componentes químicos nas proporções indicadas por esses autores, sendo esses: Água, NaCl, NaHCO₃, KCl, K₂HPO₄, MgCl₂.6H₂O, HCl 1M, CaCl₂.2H₂O, Na₂SO₄, (CH₂OH)₃CNH₂. Um PHmetro calibrado, modelo FT-P21, da marca Hanna, foi utilizado para monitoramento do PH durante todo processo e a dissolução dos constituintes foi feita com o auxílio de um agitador magnético, modelo ALLAMA10, da marca Allerbest.

2.3 Metodologia

Através dos estudos das bibliografias, mantendo-se conformidade com o obtido, definiu-se os objetivos do estudo, gerando-se um plano de ação para a metodologia. Este conta com as seguintes etapas: Aquisição dos fios (1); Avaliação de integridade estrutural microscópica e das propriedades mecânicas à tração iniciais (2); Preparação do SBF (3); Separação dos grupos de estudos (4); Submissão dos grupos aos testes e às análises (5); Discussão dos resultados (6);

- Etapa 1: A aquisição dos fios foi realizada seguindo-se indicações de fabricantes e de fornecedores na região.
- Etapa 2: A fim de avaliar a integridade estrutural microscópica e de determinar as propriedades mecânicas à tração dos fios novos, 5 amostras do fio cirúrgico e 5 da “linha de pesca” foram analisadas no sistema óptico do Microdurômetro Modelo Hxd-1000tm – Panambra, com lentes 10/0.25 e 40/0.65, e do Microscópio 2077 NE 154, fabricado pela Kontrol com lente 10/0.25 160/0.17, assegurando a ausência de defeitos estruturais superficiais. Além disso, essas 5 amostras foram testadas isoladamente na máquina universal de ensaios mecânicos, disposta no Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM) localizado na UNIVASF, conforme realizado por MORAES et al (2003), em um ensaio mecânico à tração. Para isso, foi seguida a metodologia da NBR 13904 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), atendendo-se as recomendações quanto a medição do diâmetro e quanto a realização do ensaio.

Os diâmetros foram mensurados através do micrômetro Starrett, modelo 795’M (Figura 1), medindo-se em três pontos do comprimento de cada uma das 5 amostras, tanto das “linhas de pesca”, quanto dos fios de sutura.

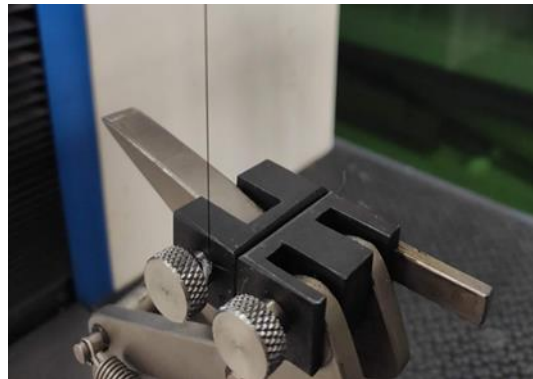
FIGURA 1. Medição do diâmetro das amostras por meio de um micrômetro.



Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, dessa forma, os ensaios à tração foram realizados fixando as amostras em um prendedor de garra, realizando-se 5 voltas do fio em torno do pino cilíndrico da garra e prendendo-se a extremidade na garra de pressão (Figura 2).

FIGURA 2. Arranjo de fixação das extremidades das amostras no prendedor de garra e do ensaio de tração.



Fonte: Autoria própria (2024).

A aplicação de carga se deu até o rompimento do fio e todas as vezes que o fio se rompeu próximo ao prendedor (até 13 mm) a amostra foi descartada e o ensaio reiniciado. A velocidade da aplicação de carga foi de 30 mm/min, com célula de carga de capacidade 50N (Figura 3) e, ao final, foi realizada uma média aritmética para cada propriedade. Após a obtenção dos resultados sobre as características dos fios novos, foi analisada a conformidade técnica com as tolerâncias e erros relativos, sobre diâmetro, comprimento, resistência à tração dos fios, segundo a norma técnica NBR 13904 (2003). Com a aprovação nessa avaliação, as linhas seguiram para próxima etapa.

FIGURA 3. Arranjo do ensaio de tração.



Fonte: Autoria própria (2024).

- Etapa 3: Para preparação do fluido corporal simulado (SBF), foi reproduzido o modo descrito por Kokubo e Takadama (2006) em seu artigo. O procedimento foi realizado no laboratório de

química da UNIVASF, com as proporções indicadas de cada constituinte. Durante o preparo, houve o cuidado para que a solução permanecesse transparente, evitando-se o depósito de precipitado na superfície do recipiente. Para isso, foi utilizada a agitação magnética no processo. Além disso, assegurou-se que o PH fosse igual a 2 ou 3 após a dissolução de cada reagente. Esse monitoramento foi realizado com o auxílio de um PHmetro calibrado, modelo FT-P21, da marca Hanna. Caso algum desses problemas ocorresse, a solução deveria ser descartada e o processo reiniciado. Cada amostra de fluido foi refeita a cada 30 dias e foram mantidos em temperaturas de 5°C a 10°C, para que fossem mantidas as propriedades químicas.

- Etapa 4: Foram separados dois grupos de estudos: grupo 1 - Grupo Controle e grupo 2 – Grupo Experimental, cada um contou com 20 amostras de cada tipo de fio. No grupo 1, os fios foram tracionados (sem se romper). No grupo 2, as amostras de cada tipo de fio além de serem tracionadas, foram submersas no SBF preparado. Todos os recipientes com os fluidos foram vedados hermeticamente e mantidos em temperaturas de 5°C a 10°C.
- Etapa 5: O mesmo procedimento realizado para avaliar a integridade e de determinar as propriedades mecânicas à tração dos fios novos na etapa 2 foi realizado dentro de 3 meses, 6 meses e 9 meses. A cada período, os ensaios foram realizados com 5 das amostras de cada parâmetro de fio, de cada grupo. Além disso, foram analisados, como feito anteriormente, através do sistema óptico do microdurômetro e do microscópio. Os valores das médias aritméticas das propriedades mecânicas à tração obtidas foram listados numa tabela, nos períodos em que os ensaios foram realizados. O resultado da análise qualitativa sobre a estrutura superficial foi anexado juntamente desses dados, acompanhado de comentários.
- Etapa 6: Neste passo foram reunidos em um documento todos os resultados obtidos (qualitativos e quantitativos), dificuldades encontradas e a conclusão final sobre o estudo. Foram montadas tabelas com as propriedades mecânicas das “linhas de pesca” e dos fios de sutura de náilon, dos dois grupos de estudo (controle e experimental), nos 4 períodos analisados (0 meses – quando novos, 3 meses, 6 meses e 9 meses). A análise estatística das propriedades mecânicas entre os períodos se deu através da técnica de Análise de Variância, enquanto o Teste t de Student foi utilizado para comparação entre os dois grupos de estudo e entre os dois tipos de fios em cada período. Para isso, adotou-se um nível de significância de 5% em todas elas.

Ao concluir o experimento, os dados dos ensaios realizados foram tratados em planilhas de Excel, obtendo-se as médias das propriedades a serem analisadas, assim como os respectivos desvios padrão. Assim, atentou-se, em todo tempo, se houve consistência nos resultados obtidos. Após esse tratamento, as médias os desvios padrão foram tabelados de acordo com cada propriedade mecânica buscada e, em seguida, foi realizada a análise estatística pelo Teste T de Student, a um nível de significância de 5,00%, identificando-se as variações das médias entre si, de cada tabela.

Através dessas tabelas, foram comparadas as características dos fios novos com após 3 meses, 6 meses e 9 meses de uso. Assim, foram confrontados os resultados dos ensaios de tração e das análises microscópicas dos dois grupos de estudos: controle e experimental. Após a análise da influência do envelhecimento em fluido corporal, foram comparados os comportamentos, tanto da resistência à tração quanto da biodegradação, das amostras de fio cirúrgico com os das amostras de “linha de pesca”.

3. RESULTADOS

3.1 Análise dimensional

Como resultado obtido, de início, atestou-se que tanto os fios de sutura quanto as linhas de pesca tiveram seus diâmetros dentro da faixa estabelecida pela NBR 13904 (ABNT; 2003) para fios cirúrgicos não absorvíveis no calibre 3-0 (0,200 a 0,249 mm). Contudo, ressalta-se que as médias dos diâmetros dos fios de sutura (Tabela 1) se apresentaram ligeiramente maior que as médias das “linhas de pesca” (Tabela 2).

TABELA 1. Diâmetros das amostras de fio de sutura, medidos na extremidade 1, no centro e na extremidade 2.

FIOS DE SUTURA			
	Diâmetro extremidade 1 (mm)	Diâmetro centro (mm)	Diâmetro extremidade 2 (mm)
Fio de sutura 1	0,233	0,238	0,225
Fio de sutura 2	0,235	0,243	0,235
Fio de sutura 3	0,234	0,245	0,234
Fio de sutura 4	0,233	0,244	0,22
Fio de sutura 5	0,233	0,243	0,226
MÉDIA ± DESV. PAD.	0,234 ± 0,001	0,243 ± 0,003	0,228 ± 0,006

Fonte: Autoria própria (2024).

TABELA 2. Diâmetros das amostras de “linha de pesca”, medidos na extremidade 1, no centro e na extremidade 2.

“LINHA DE PESCA”			
	Diâmetro extremidade 1 (mm)	Diâmetro centro (mm)	Diâmetro extremidade 2 (mm)
Linha de pesca 1	0,203	0,206	0,206
Linha de pesca 2	0,203	0,21	0,197
Linha de pesca 3	0,207	0,212	0,205
Linha de pesca 4	0,215	0,21	0,212
Linha de pesca 5	0,209	0,207	0,198
MÉDIA ± DESV. PAD.	0,207 ± 0,005	0,209 ± 0,002	0,204 ± 0,006

Fonte: Autoria própria (2024).

3.2 Ensaio de tração

Percebeu-se que durante todo o período do estudo o limite de resistência (Tabela 3) do fio de sutura se mostrou significativamente maior que o da "linha de pesca", conforme análise estatística pelo teste t de Student ao nível de significância de 5,00%. Ressalta-se, também, que no grupo controle a "linha de pesca" apresentou diferença significativa no limite de resistência após um período de 3 meses, em relação à linha nova e no grupo experimental, alcançando uma média menor que a registrada no grupo controle dela. Já o fio de sutura somente demonstrou diferença significativa em relação aos fios novos em 9 meses de estudo, no grupo experimental.

TABELA 3. Médias e desvios-padrão do Força (N) dos grupos Controle e Experimental nos respectivos períodos de estudo.

FORÇA (N)			
Grupo:	Período:	Linha de Pesca	Fio de Sutura
Controle	0 meses	24,48 ± 1,40 ^a	28,89 ± 3,16 ^d
	3 meses	22,54 ± 1,46 ^b	29,37 ± 1,00 ^d
	6 meses	22,13 ± 1,23 ^b	25,68 ± 4,74 ^{da}
	9 meses	22,66 ± 0,53 ^b	25,81 ± 2,84 ^{da}
Experimental	3 meses	19,86 ± 2,49 ^c	27,72 ± 4,84 ^{da}
	6 meses	22,90 ± 0,39 ^b	27,49 ± 0,78 ^d
	9 meses	21,65 ± 1,07 ^{ac}	25,27 ± 3,03 ^{ab}

Médias com letras iguais não diferem entre si, pelo teste t de *Student*, a nível de 5,00% de significância

Fonte: Autoria própria (2024).

Quanto ao módulo de elasticidade (Tabela 4), foram obtidos resultados significativamente semelhantes, comparando-se as "linhas de pesca" em relação aos fios de sutura de náilon, ao longo de todo estudo, sobretudo quando novos e aos 6 meses no grupo Controle. A rigidez (Tabela 5) se mostrou significativamente diferentes quando o material estava ainda novo, no período de 0 meses, contudo a rigidez da linha de pesca se equipaleou à do fio de sutura, aos 3 meses de estudo no grupo Controle, já no grupo Experimental, a rigidez dos fios de sutura mostrou-se superior em todo tempo, em relação às "linhas de pesca".

TABELA 4. Médias e desvios-padrão do Módulo de Elasticidade (Pa) dos grupos Controle e Experimental nos respectivos períodos de estudo.

MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)			
Grupo:	Período:	Linha de Pesca	Fio de Sutura
Controle	0 meses	1534,98 ± 81,78 ^a	1430,54 ± 275,66 ^{ac}
	3 meses	1862,69 ± 107,05 ^b	1615,93 ± 78,58 ^a
	6 meses	2061,21 ± 127,16 ^c	2056,92 ± 132,51 ^c
	9 meses	1828,44 ± 129,59 ^b	1616,55 ± 165,26 ^a
Experimental	3 meses	1536,30 ± 104,8 ^a	1916,57 ± 46,11 ^b
	6 meses	1523,69 ± 88,63 ^a	1395,88 ± 33,17 ^c

	9 meses	1688,88 ± 116,66 ^b	1426,73 ± 48,04 ^c
--	---------	-------------------------------	------------------------------

Médias com letras iguais não diferem entre si, pelo teste t de *Student*, a nível de 5,00% de significância

Fonte: Autoria própria (2024).

TABELA 5. Médias e desvios-padrão da Rigidez (N/mm) dos grupos Controle e Experimental nos respectivos períodos de estudo.

RIGIDEZ (N/mm)			
Grupo:	Período:	Linha de Pesca	Fio de Sutura
Controle	0 meses	0,344 ± 0,016 ^a	0,431 ± 0,063 ^b
	3 meses	0,411 ± 0,017 ^b	0,468 ± 0,003 ^b
	6 meses	0,428 ± 0,017 ^b	0,569 ± 0,065 ^c
	9 meses	0,407 ± 0,020 ^b	0,472 ± 0,055 ^b
Experimental	3 meses	0,336 ± 0,010 ^a	0,422 ± 0,010 ^b
	6 meses	0,342 ± 0,008 ^a	0,391 ± 0,010 ^c
	9 meses	0,367 ± 0,025 ^c	0,421 ± 0,013 ^b

Médias com letras iguais não diferem entre si, pelo teste t de *Student*, a nível de 5,00% de significância

Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, as "linhas de pesca" e os "fios de sutura" não apresentaram diferenças, pelo teste t de *Student* ao nível de significância de 5,00%, quanto as propriedades mecânicas de deformação de ruptura (Tabela 6) e tenacidade (Tabela 7).

TABELA 6. Médias e desvios-padrão da Deformação de Ruptura (mm) dos grupos Controle e Experimental nos respectivos períodos de estudo.

DEFORMAÇÃO DE RUPTURA (mm)			
Grupo:	Período:	Linha de Pesca	Fio de Sutura
Controle	0 meses	71,76 ± 8,91 ^a	68,35 ± 15,06 ^a
	3 meses	55,05 ± 6,69 ^b	61,78 ± 4,01 ^{ab}
	6 meses	53,36 ± 6,12 ^b	52,20 ± 8,78 ^b
	9 meses	59,68 ± 5,17 ^b	60,63 ± 9,38 ^{ab}
Experimental	3 meses	54,63 ± 11,52 ^b	64,23 ± 12,10 ^{ab}
	6 meses	68,59 ± 4,02 ^a	69,80 ± 3,35 ^a
	9 meses	64,70 ± 4,19 ^{ab}	63,72 ± 8,25 ^{ab}

Médias com letras iguais não diferem entre si, pelo teste t de *Student*, a nível de 5,00% de significância

Fonte: Autoria própria (2024).

TABELA 7. Médias e desvios-padrão da Tenacidade (kJ/m³) dos grupos Controle e Experimental nos respectivos períodos de estudo.

TENACIDADE (kJ/m³)			
Grupo:	Período:	Linha de Pesca	Fio de Sutura
Controle	0 meses	194937,88 ± 42561,30 ^a	170711,89 ± 46577,18 ^{ab}
	3 meses	132587,38 ± 26194,60 ^b	142953,30 ± 15951,05 ^b
	6 meses	131572,51 ± 22530,14 ^b	115361,47 ± 34621,18 ^b

	9 meses	146408,58 ± 14552,35 ^b	131619,35 ± 26412,21 ^b
Experimental	3 meses	116816,70 ± 60665,61 ^b	185843,03 ± 59608,82 ^{ab}
	6 meses	154010,29 ± 13239,98 ^b	143878,54 ± 10816,83 ^b
	9 meses	148161,93 ± 15582,86 ^b	125745,20 ± 28226,26 ^b

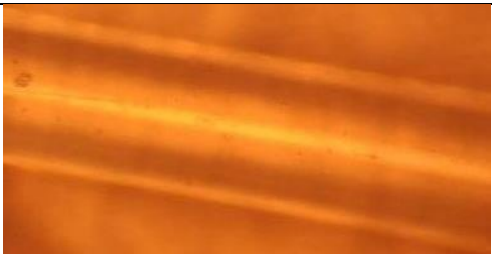
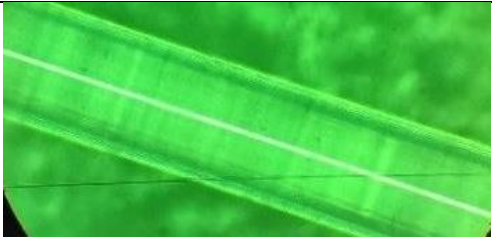
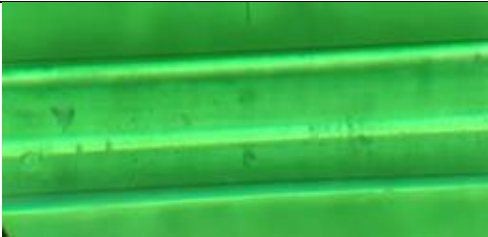
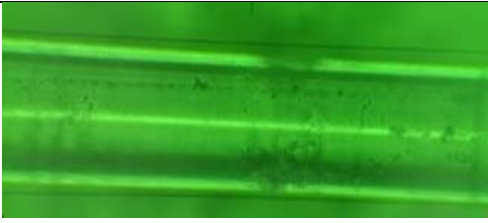
Médias com letras iguais não diferem entre si, pelo teste t de *Student*, a nível de 5,00% de significância

Fonte: Autoria própria (2024).

3.3 MEV e Microscopia

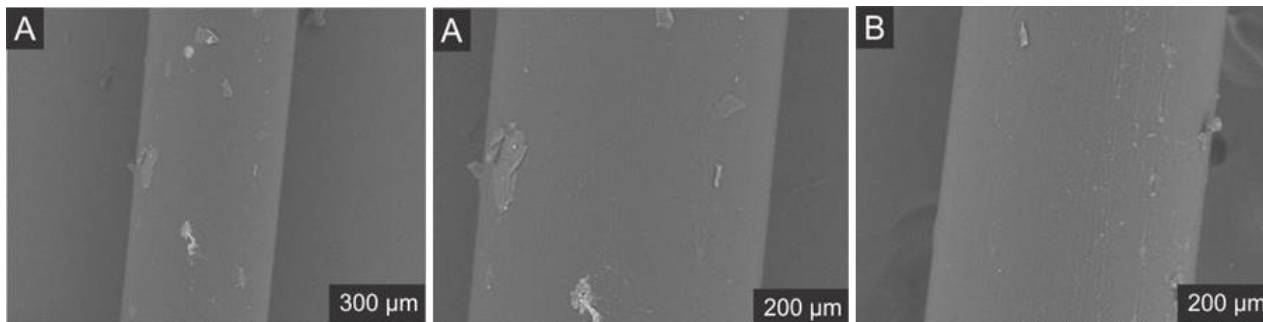
Quanto à análise qualitativa, após o experimento, que durou 9 meses intervalados em períodos de 3 meses para análises e testes, percebeu-se que as linhas de pescas não sofreram degradação de maneira significativa pelo Fluido Corporal Simulado (SBF), uma vez que não foram notados sinais de desgastes constantes e homogêneos ao longo do comprimento da linha nas imagens microscópicas, manifestando-se degradações profundas, porém pontuais e aleatórias (Tabela 8 e Figura 4).

TABELA 8. Imagens ópticas de amostras de “linha de pesca” do Grupo Experimental antes e depois do experimento.

“LINHA DE PESCA”			
	Antes		Depois
3 Meses			
6 Meses			
9 Meses			

Fonte: Autoria própria (2024).

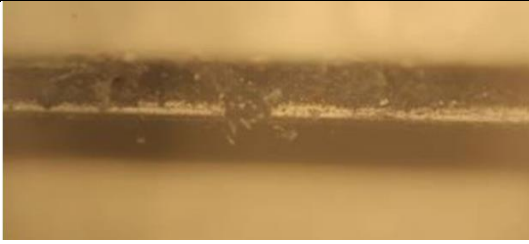
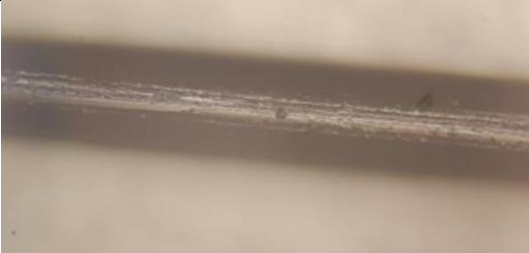
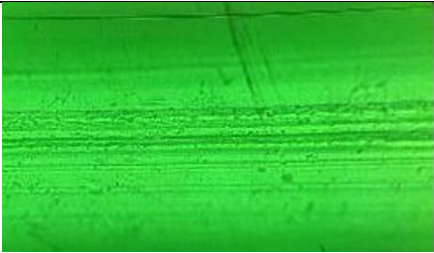
FIGURA 4. MEV de duas amostras (A e B) de linha de pesca do Grupo Experimental após 3 meses de experimento.



Fonte: Autoria própria (2024).

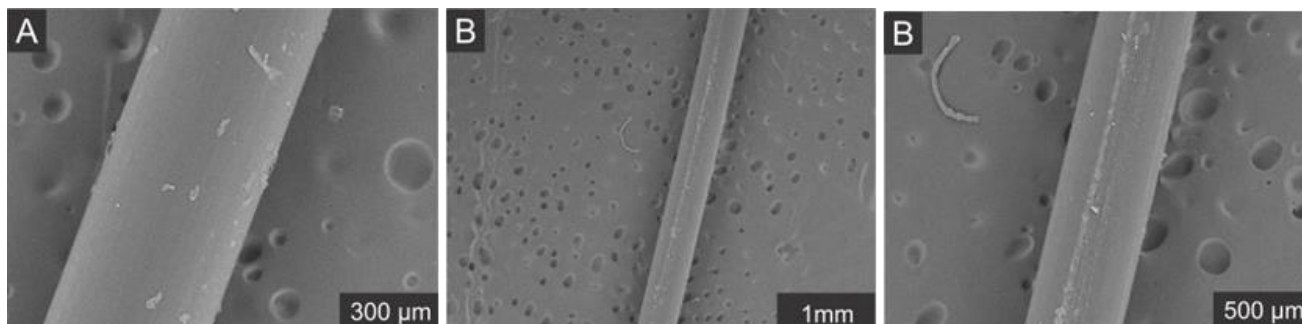
Em contrapartida, mediante a análise das imagens das superfícies microscópicas, os fios de sutura manifestaram sinais de degradação homogêneas, de maneira expressiva e facilmente perceptível, desde os 3 meses de experimento (Tabela 9 e Figura 5).

TABELA 9. Imagens ópticas de amostras de fios de sutura do Grupo Experimental antes e depois do experimento.

FIO DE SUTURA		
	Antes	Depois
3 Meses		
6 Meses		
9 Meses		

Fonte: Autoria própria (2024).

FIGURA 5. MEV de duas amostras (A e B) de fio de sutura do Grupo Experimental após 3 meses de experimento.



Fonte: Autoria própria (2024).

4. CONCLUSÕES

Após a conclusão do trabalho, pôde-se chegar às seguintes conclusões: que a “linha de pesca” apresenta diversas similaridades com os Fios de Sutura em suas propriedades mecânicas. Também, que as “linhas de pesca”, experimentalmente, diminuíram seus limites de resistência anteriormente aos Fios de Sutura. Ademais, destaca-se que tanto os diâmetros das “linhas de Pesca”, quanto do Fios de Sutura, estavam em conformidade com faixa respectiva ao calibre 3-0, estabelecida pela NBR 13904 (ABNT; 2003).

Qualitativamente, através das análises das imagens microscópicas, observou-se que os Fios de Sutura apresentaram degradações de maneira mais expressiva, profunda e uniforme em relação às “linhas de pesca”.

Além disso, mediante a análise das propriedades mecânicas e do custo, conclui-se que as “linhas de Pesca” mostram-se ótimas opções para a substituição dos Fios de Sutura de Náilon. Isso uma vez que o custo do metro da “linha de Pesca” adquirido foi cerca de 100 vezes menor que o do fio de sutura.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13904: Fios para suturas cirúrgicas. Rio de Janeiro. 2003.

BECKER, H. Primary Repair Of Flexor Tendons In The Hand Without Immobilisation - Preliminary Report. Hand, v. 10, n. 1, p. 37-47, 1 fev. 1978.

BOOTHE, H.W. Suture materials and tissue adhesives. In: SLATTER, D.H. Text-book of small animal surgery. Philadelphia: Saunders, Cap. 27. p.334-344, 1985

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. Ensaios dos Materiais. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 365 p.

GELBERMAN R.H., AMIFL D., GONCALVES M., AKESON W.H.: The influence of protected passive mobilization on the healing of flexor tendons - A biochemical and microangiographic study. Hand v. 13, n.2, p. 120-128, 13 jun. 1981.

KOKUBO, T.; TAKADAMA, H. How Useful Is SBF in Predicting in Vivo Bone Bioactivity? Biomaterials, v. 27, n.15, p. 2907- 2915, 31 jan. 2006.

MEDEIROS, A. C.; ARAÚJO-FILHO, I.; CARVALHO, M. D. F. Fios de sutura. J Surg Cl Res, Natal, v. 7, n. 2, p. 74-86, 20 dez. 2016.

MORAES, J. R. E. et al. Propriedades mecânicas de três fios de sutura no reparo do tendão do músculo flexor profundo do dedo de cães. Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci., São Paulo, v. 40, n. 6, p. 443-451, 2003

NETSCHER, D.T. et al. Biomechanical evaluation of double-strand (looped) and single-strand polyamide multifilament suture: influence of knot and suture size. Hand (N Y), v.10, n. 3, p.417-424, 2015.

SARDENBERG, T et al. Avaliação das propriedades mecânicas e dimensões de fios de sutura utilizados em cirurgias ortopédicas. ACTA ORTOP. BRAS., Botucatu, v. 11, n. 2, 14 mar. 2003.

SHIMANO, A. C.; SHIMANO, M. M. . Ensaios tecnológicos de materiais biológicos. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2000, Florianópolis. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2000. p. 15-21.

SNYDER CC. On the history of the suture. Plast Reconstr Surg 1976;58(4):401-6.

SOUZA; Sérgio. Ensaios mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos térmicos e práticos. São Paulo, Edgard Blucher, 1982.

TIMOSHENKO, S.P., GERE, J. E., “Mecânica dos Sólidos”, LTC, 1994. Popov, E. P., “Mechanics of Materials”, Prentice Hall, 1997.

U.S. PHARMACOPEIA – USP. Nonabsorbable Surgical Suture. 1 Jan. 2007. Disponível em: <http://ftp.uspbpep.com/>. Acesso em: Abril de 2023.