



CESPU
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga titânio após esterilização e inserção em osso suíno: estudo in vitro

Íris Cunha Santos

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

—

Gandra, maio de 2023

Íris Cunha Santos

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária
(Ciclo Integrado)**

**Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga titânio após
esterilização e inserção em osso suíno: estudo in vitro**

Trabalho realizado sob a Orientação de Professora Doutora Primavera
Conceição Martins de Sousa Santos

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Comunicações científicas em congressos na forma de poster ou orais

- Apresentação de um trabalho científico sob a forma de Poster intitulado, “Alterações na superfície dos mini-implantes de liga titânio após esterilização e inserção em osso suíno: estudo in vitro” no âmbito das XXXI Jornadas subordinadas ao tema “Inflamação dos tecidos periimplantares – soluções atuais”, que decorreram no dia 17 de maio de 2023, no Campus Universitário de Gandra.
- Distinguido com o prémio de “Melhor Poster”, pela Comissão Científica das Jornadas, pela apresentação de um trabalho científico sob a forma de Poster intitulado, “Alterações na superfície dos mini-implantes de liga titânio após esterilização e inserção em osso suíno: estudo in vitro” no âmbito das XXXI Jornadas subordinadas ao tema “Inflamação dos tecidos periimplantares – soluções atuais”, que decorreram no dia 17 de maio de 2023, no Campus Universitário de Gandra.

Agradecimentos

Aos meus pais, que são sem dúvida os meus melhores amigos, obrigada por todo o apoio incondicional ao longo destes 5 anos. Por nunca desistirem de mim e por me colocarem sempre como prioridade na vida deles. Por todos os ensinamentos e valores que me passaram e que fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

À minha família, especialmente aos meus avós, obrigada por cuidarem sempre de mim, por todo o carinho e preocupação ao longo deste percurso. Por acreditarem em mim e nunca duvidarem de que seria capaz. Tenho muito orgulho na família que tenho.

À Prada, que durante estes anos se mostrou uma companheira leal, presente em todas as horas. Foi sempre tão fiel que se falasse saberia tanto quanto eu de Medicina Dentária. É um amor muito especial.

Ao Tomás, que já faz parte da família, obrigada por ter estado sempre presente e me ter ensinado tanto. Por todos os anos de partilha e crescimento juntos. Obrigada pelas palavras e por esta amizade tão genuína.

Às minhas melhores amigas, Ana e Mariana, obrigada por todas as vezes que me mostraram que era capaz, pela paciência, amizade e momentos inesquecíveis. Obrigada por terem estado sempre lá para mim, fazem-me muito feliz.

Às minhas amigas de faculdade, obrigada por terem tornado estes 5 anos tão especiais. Nunca esquecerei os nossos momentos juntas desde o primeiro até ao último dia. Sem vocês não seria igual. À minha binómia, Lili, por toda a compreensão, entreajuda e companheirismo diário, que me tornaram melhor enquanto pessoa e profissional. À minha companheira de investigação, Bea, por toda a ajuda, companheirismo e lealdade, que tornou todo este trabalho muito mais gratificante. Levo as duas comigo para a vida.

À minha dentista, Doutora Isabel Flores Allen, que sempre foi uma inspiração para mim, obrigada por me ter inculcido a paixão por esta área tão fascinante. De certeza que se não a tivesse conhecido, a minha vida não teria seguido este caminho.

À Doutora Raquel, obrigada por toda a ajuda, apoio e disponibilidade na realização deste estudo.

À minha orientadora, Professora Doutora Primavera Sousa Santos, um obrigada enorme por me ter ensinado tanto ao longo destes anos e por ter tornado este processo tão bonito. Obrigada por toda a ajuda, dedicação, disponibilidade e amabilidade. É sem dúvida uma fonte de inspiração.

À instituição e aos professores, obrigada por contribuírem para o meu crescimento e formação.

Resumo

Introdução: Com a necessidade de obter uma ancoragem absoluta, surgem os mini-implantes (MIs) ortodônticos que vêm revolucionar a ortodontia devido às suas inúmeras vantagens. Durante o processo de esterilização, inserção e desinserção a superfície dos mesmos pode sofrer alterações.

Objetivo: Avaliar a superfície dos MIs de liga titânio após esterilização e inserção em osso suíno.

Material e métodos: Pesquisa bibliográfica realizada no PubMed, selecionando-se 17 artigos. Acrescentou-se 4 artigos por pesquisa manual. 30 mini-implantes foram divididos em 3 grupos: Grupo 1 (10 MIs): grupo controlo, MIs novos; Grupo 2 (10 MIs): MIs esterilizados; Grupo 3 (10 MIs): MIs inseridos e desinseridos em osso suíno. A sua superfície foi observada ao microscópio eletrónico de varrimento e os do grupo 2 foram também analisados quimicamente através de espectroscopia de energia dispersiva.

Resultados: Os MIs novos apresentam deformação plástica causada pelo processo de fabrico e alguns resíduos, impurezas e sais. Nos MIs esterilizados não se observa nenhuma matéria orgânica e a deformação plástica é a mesma presente nos MIs novos. A superfície dos MIs do grupo 3 apresenta deformação plástica e ocorreu uma fratura na zona das espiras. A ponta ativa encontra-se mais desgastada e arredondada e observa-se presença de matéria orgânica e sais.

Conclusão: Os MIs já vêm do fabricante com ligeira deformação plástica e resíduos, causados pelo processo de fabrico, devendo ser esterilizados antes da utilização. A esterilização não modifica a superfície dos MIs, contrariamente à inserção e desinserção.

Palavras-chave: "orthodontic mini-implants", "retrieved mini-implants", "sterilized mini-implants", "surface analysis".

Abstract

Introduction: Orthodontic mini-implants (MIs) have become a popular tool for achieving absolute anchorage in orthodontic treatment. However, the surface of MIs can be altered during sterilization and insertion and disinsertion procedures.

Objective: This study aimed to evaluate the surface of MIs after sterilization and insertion in suine bone.

Material and Methods: A literature search was conducted on the PubMed, selecting 17 articles. 4 articles were added by manual search. 30 MIs were divided into three groups: Group 1 (10 MIs): control group, new MIs; Group 2 (10 MIs): sterilized MIs; Group 3 (10 MIs): MIs inserted and disinsertion in suine bone. Their surface was observed under a scanning electron microscope and MIs of group 2 were also chemically analyzed using energy dispersive spectroscopy.

Results: The new MIs showed plastic deformation caused by the manufacturing process, along with some residues, impurities, and salts. In the sterilized MIs, no organic matter was observed, and the plastic deformation was the same as in the new MIs. The surface of the MIs in Group 3 presented plastic deformation and a fracture in the area of the spirals. The active tip was more worn and rounded, and the presence of organic matter and salts was observed.

Conclusion: MIs have slight plastic deformation and residues from the manufacturing process, and must be sterilized before use. Sterilization doesn't modify the surface of MIs, but insertion and disinsertion procedures can.

Keywords: "orthodontic mini-implants", "recovered mini-implants", "sterilized mini-implants", "surface analysis".

Índice:

1. Introdução	1
2. Objetivos	3
3. Material e métodos	4
3.1. Metodologia de pesquisa bibliográfica.....	4
3.1.1. Critérios de inclusão	4
3.1.2. Critérios de exclusão	5
3.2. Metodologia de investigação	5
3.2.1. Tipo de estudo	5
3.2.2. Características da amostra.....	5
3.2.3. Protocolo experimental	5
3.2.4. Limpeza ultrassónica	8
3.2.5. Esterilização na autoclave.....	8
3.2.6. Inserção e desinserção	9
3.2.7. Microscópio eletrónico de varrimento (SEM).....	9
3.2.8. Espectroscopia de energia dispersiva (EDS).....	10
4. Resultados	11
4.1. Análise da superfície dos mini-implantes novos	11
4.2. Análise da superfície dos mini-implantes esterilizados.....	12
4.3. Análise da superfície dos mini-implantes após inserção e desinserção em osso suíno	14
5. Discussão	15
6. Conclusão	18
7. Referências Bibliográficas	19
8. Anexos	21

Índice de Figuras:

Figura 1: Diagrama da seleção dos artigos selecionados.....	4
Figura 2: MIs na embalagem do fornecedor.....	5
Figura 3: MIs prontos para limpeza ultrassónica.....	6
Figura 4: Ultrassom.....	6
Figura 5: MIs nas mangas de esterilização.....	6
Figura 6: Autoclave.....	6
Figura 7: MIs esterilizados.....	6
Figura 8: MIs para limpeza ultrassónica.....	7
Figura 9: Ultrassom.....	7
Figura 10: MIs nas mangas de esterilização.....	7
Figura 11: Autoclave.....	7
Figura 12: Inserção do MI.....	7
Figura 13: MI inserido em osso suíno.....	7
Figura 14: Desinserção do MI.....	7
Figura 15: MIs para limpeza ultrassónica.....	8
Figura 16: MIs nas mangas de esterilização.....	8
Figura 17: Ultrassom.....	8
Figura 18: Solução de limpeza.....	8
Figura 19: MIs nas mangas de esterilização.....	9
Figura 20: Autoclave.....	9
Figura 21: Maxila de suíno, MIs e chave manual.....	9
Figura 22: Chave manual com um MI.....	9
Figura 23: Microscópio eletrónico de varrimento (SEM).....	10
Figura 24: MIs montados em peça metálica.....	10
Figura 25: MIs para observação ao SEM.....	10
Figura 26: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	11
Figura 27: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	12
Figura 28: Análise química por EDS das manchas escuras à superfície dos MIs esterilizados.....	13

Figura 29: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	14
Figura 30: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	22
Figura 31: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	23
Figura 32: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	24
Figura 33: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	25
Figura 34: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	26
Figura 35: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	27
Figura 36: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	28
Figura 37: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	29
Figura 38: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	30
Figura 39: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	31
Figura 40: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	32
Figura 41: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações.....	33

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos:

MIs: Mini-implantes

MI: Mini-implante

CpTi: Titânio comercialmente puro

SEM: Microscópio Eletrónico de Varrimento

EDS: Espectroscopia de energia dispersiva

FEG-SEM: Microscópio eletrónico de varrimento por emissão de um campo de alta resolução

SEMAT: Serviços de caracterização de materiais da Universidade do Minho

NiTi: Nitinol

1. Introdução

A ortodontia consiste no esforço e controlo das forças que atuam sobre os dentes e sobre as estruturas de suporte.^{1,2} Desta forma, o controlo da ancoragem é primordial para o sucesso de qualquer tratamento ortodôntico^{3,4,5} e se a mesma for comprometida, os resultados não serão os desejados.⁶

A ancoragem é a resistência a um movimento dentário indesejado.^{7,8} Esta é fornecida por outros dentes ou por dispositivos intra ou extraorais, que apresentam uma biomecânica complicada e necessitam da colaboração do paciente.⁹

Com a necessidade de obter uma ancoragem absoluta, surgem os mini-implantes (MIs) ortodônticos que são constituídos por cabeça, perfil transmucoso, corpo e ponta. Estes podem ser usados tanto para tracionamento vertical quanto horizontal,¹⁰ permitindo intrusões, extrusões, distalização molar, fechamento de espaços, entre outros.

Os MIs vêm revolucionar a ortodontia devido às suas inúmeras vantagens. Permitem resultados mais previsíveis, com taxas de sucesso elevadas, uma vez que há melhor controlo das forças e não é necessária a colaboração do paciente.^{11,12} Para além disso, a aplicação da carga é imediata, o que torna o tratamento mais rápido.^{11,13} Devido ao seu tamanho reduzido, os MIs mostram-se superiores aos implantes convencionais, pois conseguem diminuir as limitações anatómicas. A inserção e desinserção são fáceis, a invasividade é mínima e a cirurgia é simples, causando menos dor pós-operatória. O custo dos mesmos é menor e o conforto para o paciente é maior, com fácil higiene e com colocação de elásticos e molas de forma mais simples, sendo bem aceites pelos pacientes.^{14,16,17,18}

A taxa de sucesso é relatada como superior a 80%.³ Esta está condicionada pela probabilidade de fratura de 2 a 7%¹⁵ e pelo facto de que o mini-implante (MI) não é osteointegrado, ou seja, pode desprender e comprometer a estabilidade primária.⁷

O material ideal utilizado deve ser biocompatível, resistente à corrosão e capaz de suportar as forças ortodônticas sem fadiga nem fratura.¹³ Assim, surgiram MIs de titânio comercialmente puro (CpTi), aço inoxidável e liga Ti6Al4V. A liga de Ti6Al4V é mais utilizada, uma vez que quando comparada com o aço, apresenta maior biocompatibilidade, resistência à corrosão e ação bacteriostática.⁴ Em comparação com o CpTi, a liga apresenta maior resistência,¹³ diminuindo o risco de fratura ou curvatura.¹²

A colocação dos MIs trata-se de um procedimento cirúrgico e, como tal, têm que ser esterilizados antes da sua utilização. Assim, é de extrema importância compreender o efeito que a mesma pode ter na superfície dos MIs.³ Para além disso, após remoção, estes devem ser descartados, contudo, devido a fatores ambientais e económicos, alguns médicos dentistas podem considerar a sua reutilização.¹⁴ Uma vez que estes são feitos de liga de titânio, tornam-se mais fáceis de reutilizar, porque podem ser limpos química e mecanicamente e reesterilizados.^{11,18} Todavia, existem considerações éticas sobre a reutilização de materiais invasivos em pacientes diferentes e se a esterilização e a inserção alteram as propriedades mecânicas e a superfície dos MIs.¹⁹

Deste modo, o objetivo desta investigação é avaliar as alterações na superfície dos MIs após esterilização e inserção e desinserção em osso suíno.

2. Objetivos

Esta investigação tem como objetivo avaliar a superfície dos MIs de liga titânio após esterilização e inserção e desinserção em osso suíno.

3. Material e métodos

3.1. Metodologia de pesquisa bibliográfica

Para a fundamentação teórica desta investigação, realizou-se uma pesquisa bibliográfica na base de dados PubMed utilizando as palavras-chave, "orthodontic miniscrews", "orthodontic mini-implantes", "retrieved miniscrews", "retrieved mini-implantes", "sterilized miniscrews", "sterilized mini-implantes" e "surface analysis". Através deste conjunto de palavras criou-se 3 expressões de pesquisa para a seleção dos artigos, como se observa na figura 1.

Para além disso, retirou-se informação relevante sobre os MIs utilizados no respetivo flyer da marca.

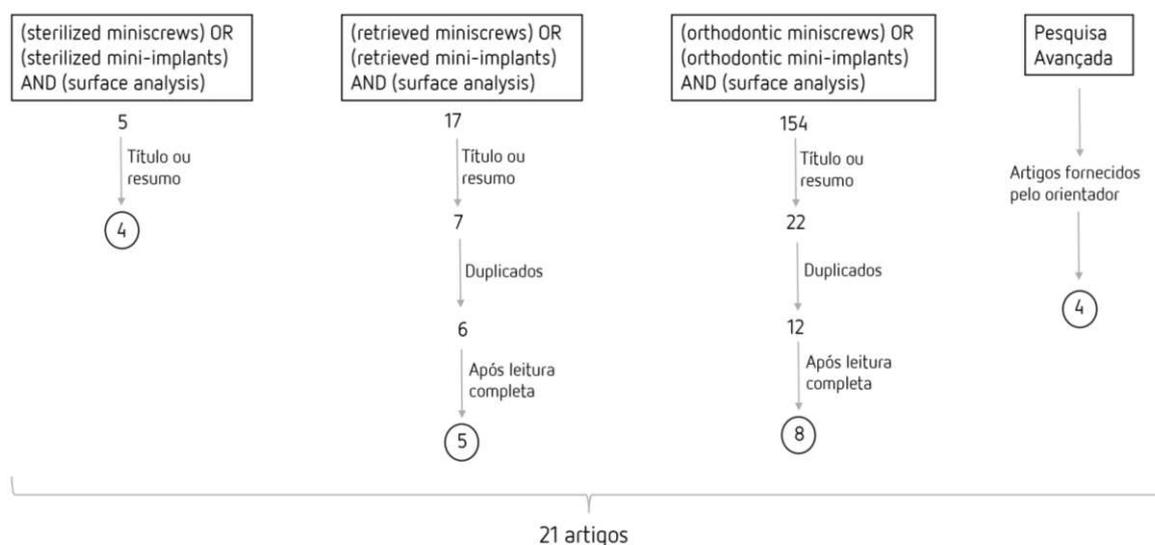


Figura 1: Diagrama da seleção dos artigos selecionados.

3.1.1. Critérios de inclusão

- Artigos nos quais se verifique a presença das palavras-chave ou alguma associação entre elas;
- Artigos com um título ou resumo considerados relevantes para o tema;
- Artigos cujo estudo se refira à avaliação da superfície dos MIs;
- Artigos cujos estudos são realizados em humanos, animais ou in-vitro.

3.1.2. Critérios de exclusão

- Artigos que não cumpram os critérios de inclusão;
- Artigos não gratuitos;
- Artigos que não se enquadrem no tema;
- Artigos duplicados;
- Artigos que após leitura completa não se mostraram relevantes.

3.2. Metodologia de investigação

3.2.1. Tipo de estudo

O estudo trata-se de uma investigação qualitativa observacional experimental.

3.2.2. Características da amostra

O estudo utilizou 30 MIs de liga Ti6Al4V (grau V) da marca Dewimed®, no modelo M.O.S.A.S, com 8mm de comprimento e 1.6mm de diâmetro.

Os MIs foram divididos em 3 grupos (10 MIs cada):

- Grupo 1 - grupo controlo: MIs novos.
- Grupo 2: MIs esterilizados.
- Grupo 3: MIs inseridos e desinseridos em osso suíno.

Cinco MIs de cada grupo foram escolhidos aleatoriamente para serem observados ao microscópio eletrónico de varrimento (SEM).

3.2.3. Protocolo experimental

Os MIs do grupo 1 são removidos da embalagem e são observados ao SEM (Figura 2).



Figura 2: MIs na embalagem do fornecedor.

Os MIs do grupo 2 são removidos da embalagem e esterilizados. Inicialmente são limpos no ultrassom (Figura 3 e 4).



Figura 3: MIs prontos para limpeza ultrassônica.



Figura 4: Ultrassom.

De seguida, são colocados em mangas de esterilização (Figura 5) e depois vão à autoclave (Figura 6 e 7). Por fim, são observados ao SEM. Estes MIs são também analisados quimicamente através de espectroscopia de energia dispersiva (EDS).



Figura 5: MIs nas mangas de esterilização.



Figura 6: Autoclave.



Figura 7: MIs esterilizados.

Os MIs do grupo 3 passam inicialmente por uma esterilização completa, realizada da mesma forma que na prática clínica, uma vez que esta é recomendada pela marca antes da utilização dos mesmos. Assim, passam por uma limpeza ultrassônica (Figura 8 e 9), seguida de esterilização em autoclave (Figura 10 e 11).



Figura 8: MIs para limpeza ultrassônica.



Figura 9: Ultrassom.



Figura 10: MIs nas mangas de esterilização.



Figura 11: Autoclave.

Após a esterilização, são retirados das mangas e inseridos e desinseridos em osso suíno (Figura 12, 13 e 14).



Figura 12: Inserção do MI.



Figura 13: MI inserido em osso suíno.



Figura 14: Desinserção do MI.

Por último, os MIs voltam a sofrer uma limpeza ultrassônica (Figura 15) e são colocados em mangas de esterilização (Figura 16) para serem observados ao SEM.



Figura 15: MIs para limpeza ultrassônica.



Figura 16: MIs nas mangas de esterilização.

3.2.4. Limpeza ultrassônica

A limpeza é feita no ultrassom da marca Mestra® (Figura 17), a 50°C e a 35kHz, durante 10 minutos, com o detergente ID212 da Durr Dental® (Figura 18).



Figura 17: Ultrassom.



Figura 18: Solução de limpeza.

3.2.5. Esterilização na autoclave

A esterilização é realizada na autoclave Hygoclave 30 da marca Durr Dental® (Figura 20). Os MIs são embalados nas mangas de esterilização e vão à autoclave a 134°C durante 60 minutos (Figura 19).



Figura 19: MIs nas mangas de esterilização.



Figura 20: Autoclave.

3.2.6. Inserção e desinserção

A inserção dos MIs é efetuada de acordo com as indicações do fabricante. Foram inseridos na maxila de suíno, sempre pelo mesmo operador com a respetiva chave manual da marca (Figura 21 e 22).



Figura 21: Maxila de suíno, MIs e chave manual.



Figura 22: Chave manual com um MI.

3.2.7. Microscópio eletrónico de varrimento (SEM)

Os MIs foram analisados num microscópio eletrónico de varrimento por emissão de um campo de alta resolução (FEG-SEM), da empresa FEI®, modelo NOVA 200 Nano (Figura 23). O SEM é ajustado a 10kV de tensão de aceleração e os MIs são montados numa peça metálica com fita-cola dupla face de carbono e com a ponta voltada para cima (Figura 24 e 25). A observação é feita nos serviços de caracterização de materiais da Universidade do Minho (SEMAT), sempre pelo mesmo operador e em diferentes ampliações (73, 100, 350, 1000, 2000 e 7000x).



Figura 23: Microscópio eletrônico de varrimento (SEM).



Figura 24: MIs montados em peça metálica.

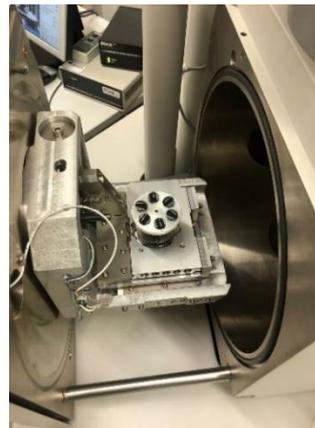


Figura 25: MIs para observação ao SEM.

3.2.8. Epetroscopia de energia dispersiva (EDS)

Os MIs do grupo 2 são analisados quimicamente através da técnica de EDS para se confirmar os elementos à superfície. A análise foi realizada utilizando um detetor EDAX® Si(Li) acoplado ao SEM, com uma tensão de aceleração de 15kV.

4. Resultados

4.1. Análise da superfície dos mini-implantes novos

Após a observação dos MIs ao SEM compreende-se que estes não apresentam uma superfície lisa e estéril, como se observa na figura 26. As principais alterações encontram-se na zona das espiras, onde se verifica deformação plástica nos seus bordos. Para além disso, verifica-se a presença de resíduos, impurezas e sais. Todos estes defeitos na superfície e presença de sujidade devem-se possivelmente ao processo de fabrico.

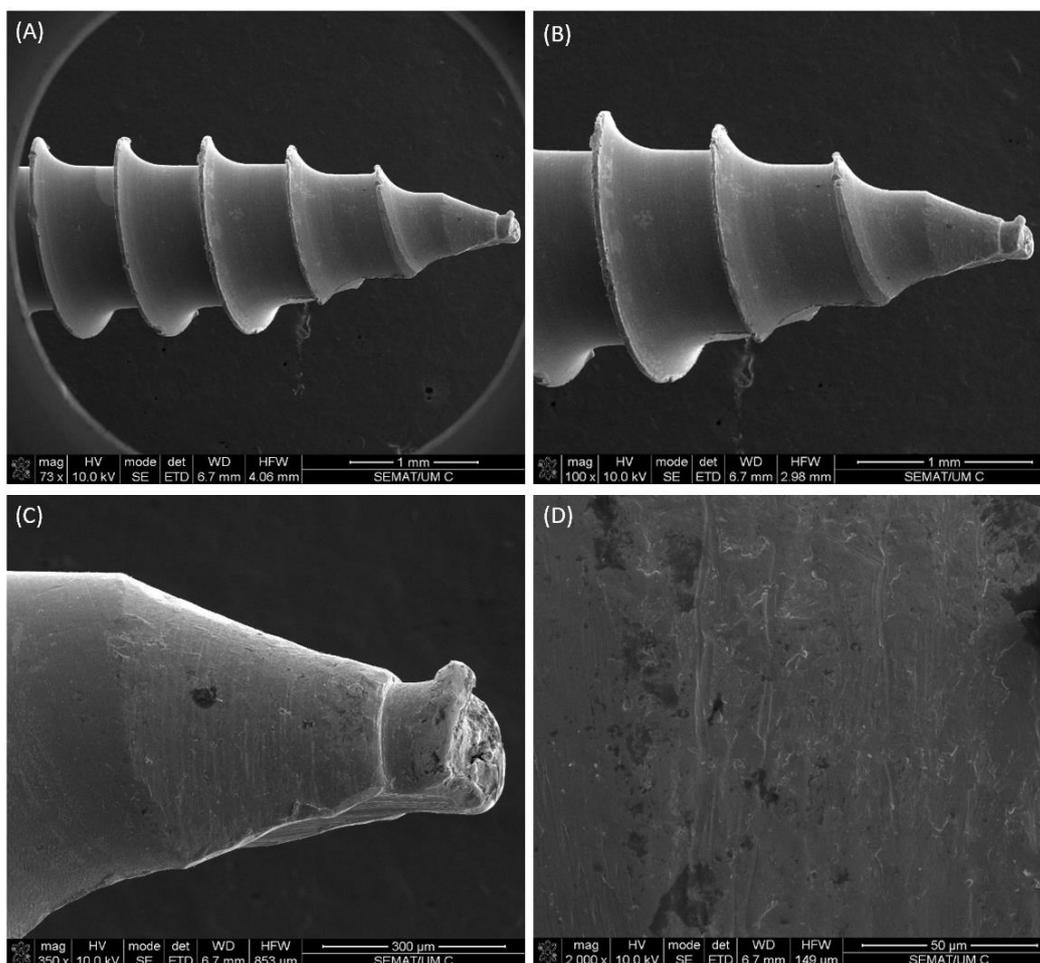


Figura 26: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

4.2. Análise da superfície dos mini-implantes esterilizados

Na análise dos MIs esterilizados não se observa qualquer tipo de matéria orgânica. A deformação plástica no topo das espiras é igual à observada nos MIs novos, ou seja, é causada pelo processo de fabrico e não pela esterilização (Figura 27).

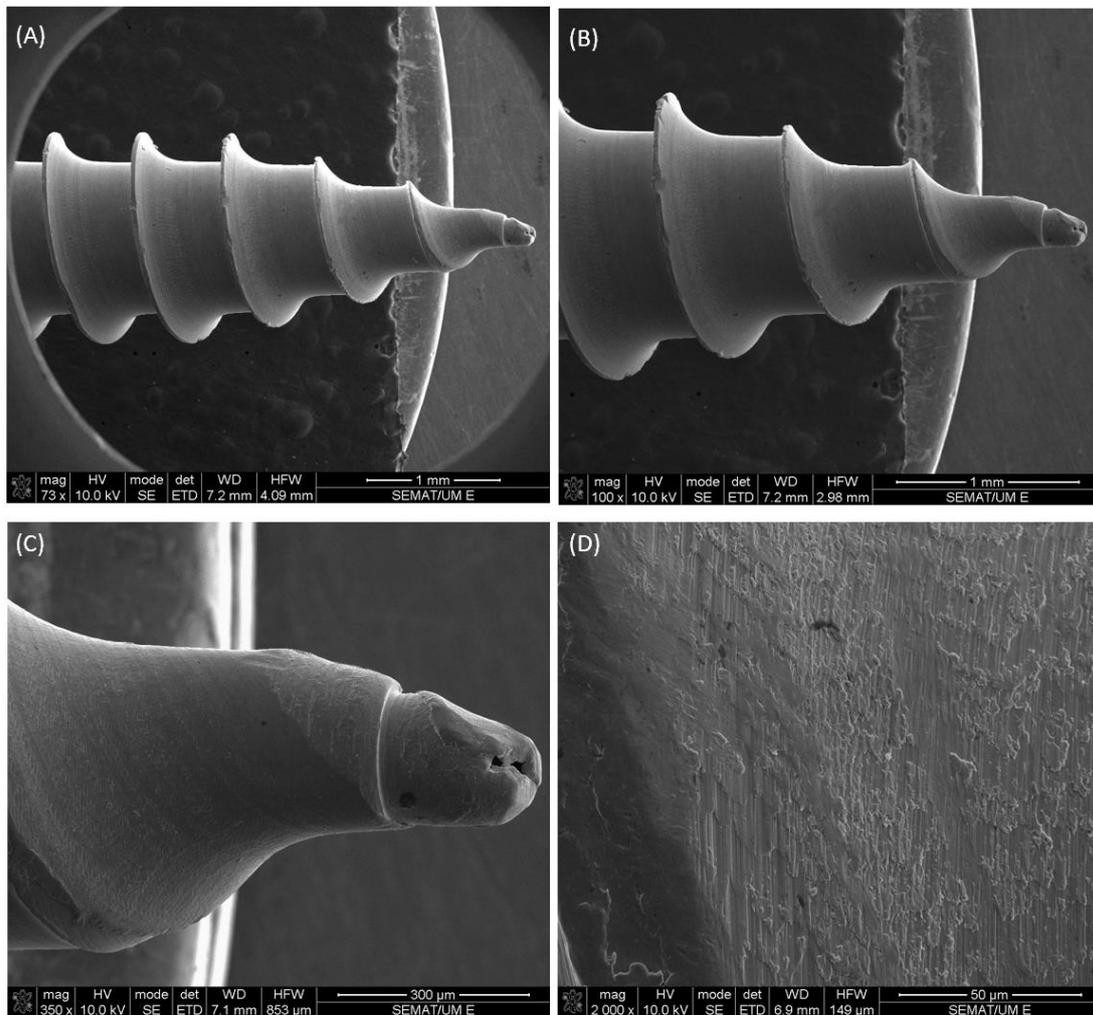


Figura 27: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

Durante a análise das imagens ao SEM, tantos os MIs do grupo 1 como os do grupo 2 apresentavam manchas escuras à superfície. Para saber do que se tratava foi realizada análise química através da técnica de EDS. Assim, constatou-se que as manchas eram carbono que provavelmente surgiu devido ao processo de esterilização e fabrico e do contacto com o ambiente (Figura 28).

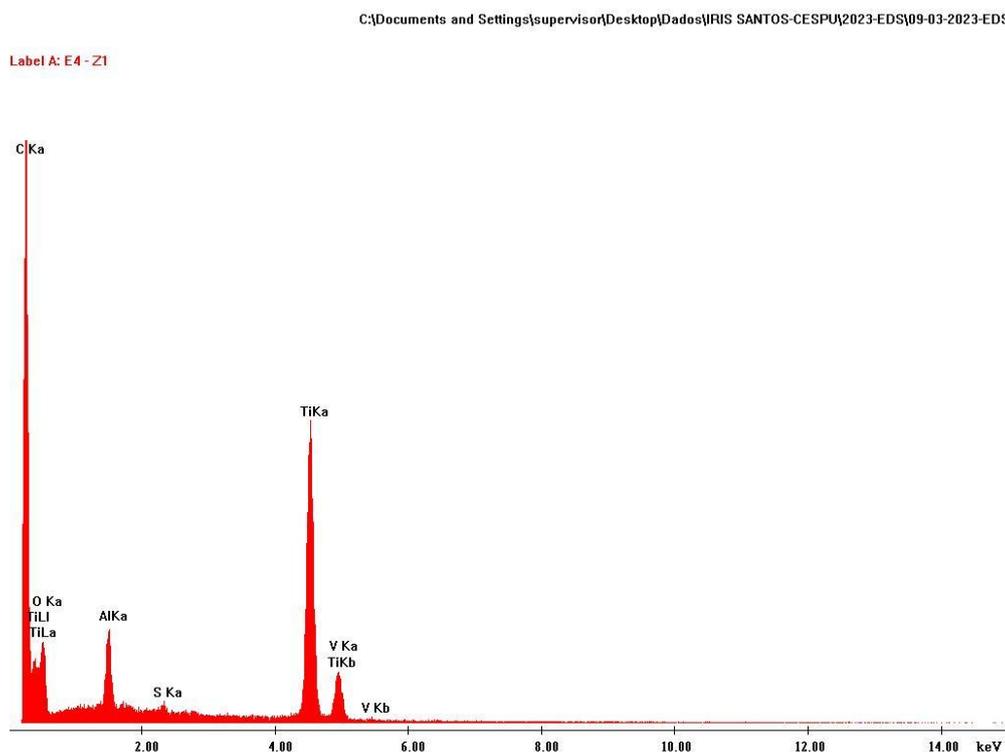


Figura 28: Análise química por EDS das manchas escuras à superfície dos MIs.

4.3. Análise da superfície dos mini-implantes após inserção e desinserção em osso suíno

Os MIs que sofreram inserção e desinserção em osso foram depois limpos apenas no ultrassom e por isso é possível observar matéria orgânica e sais. Neste grupo, assim como nos outros, observa-se manchas escuras que se trata carbono à superfície. A deformação plástica é visível não só no topo das espiras como por todo o MI, uma vez que é causada pela torção exercida. A ponta ativa encontra-se mais desgastada e arredondada, como se observa na figura 29. Numa das cinco amostras foi ainda detetada uma pequena fratura num dos bordos das espiras.

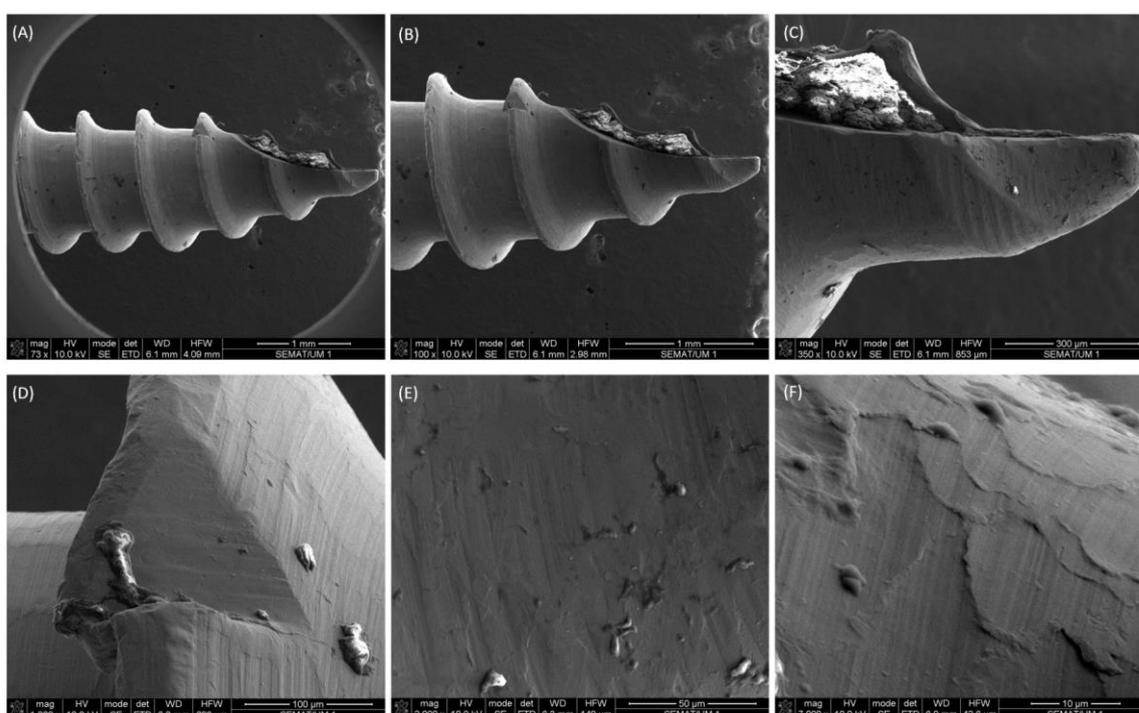


Figura 29: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 1000x. (E) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x. (F) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 7000x.

Os resultados da análise ao SEM dos restantes MIs de cada grupo encontram-se disponíveis nos Anexos.

5. Discussão

A superfície dos MIs é um fator de elevado interesse a considerar, uma vez que a integridade da mesma é essencial para o sucesso do tratamento ortodôntico, pois permite correta estabilidade, boa resistência à fratura e fácil remoção.¹⁴

A observação da superfície dos MIs foi realizada através do SEM, pois este fornece imagens tridimensionais de alta resolução e ampliação, que permite avaliar a superfície com maior precisão. A utilização da maxila de porco deve-se às suas características anatómicas semelhantes à maxila humana. Para além disso, está facilmente disponível e é acessível, sendo uma opção económica para fins de investigação. A escolha pela maxila foi aleatória, uma vez que no estudo de *Patil et al.* (2015)¹³, foi relatado não existirem diferenças significativas na superfície dos MIs recuperados da maxila e da mandíbula.

A biocompatibilidade dos MIs é essencial, pois estes inserem-se diretamente no osso e nos tecidos periodontais, podendo ocorrer reações adversas devido à libertação de iões que reagem com o ambiente da cavidade oral.¹¹ Assim, ser biocompatível e apresentar elevada resistência mecânica e à corrosão são as principais características para um material ser considerado ideal para os MIs.¹ Os utilizados nesta investigação são de liga Ti6Al4V, que é composta por titânio, alumínio e vanádio. Esta vem melhorar o desempenho dos MIs de CpTi e de aço inoxidável, tornando-os mais resistente à fadiga, mantendo a resistência à corrosão e a baixa toxicidade. A liga Ti6Al4V é fabricada através da agregação de duas fases. A fase Alfa, simbolizada pelos 6% de alumínio, possui alta resistência à tração, resiliência mecânica e tenacidade, mas baixa ductilidade. A fase Beta, simbolizada pelos 4% de vanádio, apresenta boa conformabilidade e resistência à fadiga, mas é bastante vulnerável à contaminação atmosférica.^{1,9}

Embora a liga Ti6Al4V seja extraordinariamente resistente à corrosão devido à sua capacidade de formar rapidamente uma camada passiva de dióxido de titânio à superfície, os MIs acabam sempre por sofrer alguma corrosão após uso.¹¹

Apesar da técnica de inserção ser simples, é necessário garantir que a cabeça e o perfil transmucoso nunca ficam abaixo do tecido mole, pois ocorrerá invasão de bactérias e inflamação do tecido. Para além disso, a dificuldade para inserir assim o MI é maior, levando a um aumento do torque e a maior probabilidade de fratura.⁸ A fratura é uma das complicações mais comuns durante a inserção e desinserção do MI.^{3,9}

A esterilização é o primeiro passo a realizar antes do MI ser utilizado, porque como se trata de um material de uso cirúrgico, estes têm que sofrer esterilização prévia antes da inserção. Assim, é de extrema importância compreender o efeito que esta pode ter na superfície dos mesmos.²⁰ A observação ao SEM dos MIs esterilizados do nosso estudo permite aferir que as deformações plásticas observadas são iguais às encontradas nos MIs novos, concluindo que a esterilização não afeta a superfície e que estes defeitos são causados pelo processo de fabrico. Estes resultados estão em conformidade com os resultados dos estudos de *Mattos et al. (2011)*³, *Jiman et al. (2021)*¹¹ e *Mattos et al. (2010)*¹⁸, onde também se observou que o processo de esterilização não causou nenhuma alteração significativa na superfície dos MIs quando comparados com os não esterilizados. No estudo de *Gross et al. (2016)*¹⁴, os MIs sofreram quatro ciclos de esterilização e continuaram sem demonstrar alterações. Por outro lado, o estudo de *Thierry et al. (2000)*²⁰, analisa a superfície de MIs de NiTi (nitinol, material semelhante ao níquel-titânio) e estes, por não serem do mesmo material, não são resistentes ao processo de esterilização, observando-se modificações químicas da superfície, com aumento da quantidade de níquel.

Os resultados obtidos pela nossa investigação através da observação dos MIs novos veio solidificar a necessidade de esterilização prévia ao uso, tal como recomenda a marca, porque se verificou a presença de resíduos, impurezas e sais, tal como relatou o estudo de *Burmann et al. (2015)*¹. Para além disso, como também se verificou nos estudos de *Burmann et al. (2015)*¹, *Sebbar et al. (2011)*², *Sebbar et al. (2012)*¹⁰ e *Patil et al. (2015)*¹³, também no nosso estudo os MIs já vêm do fabricante com defeitos e irregularidades causadas possivelmente pelo processo de fabrico. Em contrapartida, *Chung et al. (2014)*²¹ relata que os MIs novos tinham uma superfície sem qualquer tipo de deformação.

Durante a análise das imagens ao SEM, os MIs dos três grupos apresentaram manchas escuras à superfície. Como os MIs do grupo 2 tinham sofrido limpeza ultrassónica seguida de esterilização em autoclave, esperava-se que a superfície estivesse estéril e, para saber do que se tratava foi realizada análise química através da técnica de EDS. Assim, constatou-se que as manchas escuras eram carbono. Este surgiu provavelmente devido ao processo de esterilização e fabrico e devido ao contacto com o ambiente. *Bollero et al. (2018)*¹⁵ e *Chung et al. (2014)*²¹ também encontraram nos seus estudos a presença de carbono nos MIs recuperados.

Os MIs desta investigação que sofreram inserção em osso revelam matéria orgânica e sais à superfície, uma vez que foram limpos apenas no ultrassom. No estudo de *Iijima et al.* (2015)¹⁵, os MIs recuperados, foram limpos com água desionizada ultrapura e álcool antes de serem observados e foram detetados detritos à superfície. *Jiman et al.* (2021)¹¹, relata os mesmos resultados, pois verifica a presença de materiais biológicos na superfície. Porém, nesse estudo, antes da observação, os MIs foram sujeitos a limpeza ultrassónica seguida de esterilização em autoclave. Assim, esse estudo vem apoiar o que foi referido por *Estelita et al.* (2014)¹⁹, sobre os processos de limpeza tradicionais não serem suficientes para eliminar todos os tecidos orgânicos aderentes assim como restos de osso. Logo, é necessário ter regras mais firmes no que diz respeito à reutilização de MIs, principalmente em pacientes diferentes.

A superfície dos MIs inseridos em osso do nosso estudo apresenta deformação plástica, não só no topo das espiras como por todo o MI, pois é causada pela torção exercida. Numa das cinco amostras foi ainda detetada uma pequena fratura num dos bordos das espiras. A ponta ativa encontra-se mais desgastada e arredondada. Os estudos de *Hergel et al.* (2019)⁷, *Marigo et al.* (2016)⁸, *Jiman et al.* (2021)¹¹ e *Chung et al.* (2014)²¹ obtiveram os mesmos resultados, pois os MIs recuperados tinham alterações da integridade estrutural. Em oposição, *Iijima et al.* (2015)¹⁵ e *Bollero et al.* (2018)¹⁶ não observaram alterações nas espiras. Também *Gross et al.* (2016)¹⁴, que realizou múltiplas inserções em osso, não observou alterações.

Apesar dos resultados obtidos, é necessário ter em consideração que os MIs observados não estiveram sujeitos a nenhuma carga ortodôntica, nem em contacto com saliva e outros elementos da cavidade oral e estes fatores poderiam levar a resultados diferentes. Para além disso, no que diz respeito a perspetivas para futuras investigações, o tamanho da amostra devia ser aumentado e o torque de fratura avaliado para se conseguir aferir melhor a possibilidade de reutilização.

6. Conclusão

Com base nos resultados obtidos e de acordo com a metodologia descrita no presente estudo, podemos formular as seguintes conclusões:

- Os MIs novos já vêm do fabricante com alguma deformação plástica e presença de resíduos, impurezas e sais, que advêm possivelmente do processo de fabrico;
- Nos MIs esterilizados não se observa nenhuma matéria orgânica e a deformação plástica é a mesma presente nos MIs novos, ou seja, a esterilização não modifica a superfície dos MIs;
- A superfície dos MIs inseridos em osso apresenta maior deformação plástica e a ponta ativa está mais desgastada e arredondada;
- Nos MIs inseridos em osso, apesar da limpeza ultrassónica, a superfície dos mesmos contém matéria orgânica e sais;
- Os MIs de todos os grupos continham carbono à superfície, que aparece provavelmente devido à esterilização e processo de fabrico e ao contacto com o ambiente.

7. Referências Bibliográficas

1. Burmann PF, Ruschel HC, Vargas IA, de Verney JC, Kramer PF. Titanium alloy orthodontic mini-implants: scanning electron microscopic and metallographic analyses. *Acta Odontol Latinoam*. 2015 Apr;28(1):42-7.
2. Sebbar M, Bourzgui F, Aazzab B, Elquars F. Anchorage miniscrews: a surface characterization study using optical microscopy. *Int Orthod*. 2011 Sep;9(3):325-38.
3. Mattos CT, Ruellas AC, Sant'anna EF. Effect of autoclaving on the fracture torque of mini-implants used for orthodontic anchorage. *J Orthod*. 2011 Mar;38(1):15-20.
4. AlSamak S, Bitsanis E, Makou M, Eliades G. Morphological and structural characteristics of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop*. 2012 Jan;73(1):58-71.
5. Chaddad K, Ferreira AF, Geurs N, Reddy MS. Influence of surface characteristics on survival rates of mini-implants. *Angle Orthod*. 2008 Jan;78(1):107-13.
6. Alves CB, Segurado MN, Dorta MC, Dias FR, Lenza MG, Lenza MA. Evaluation of cytotoxicity and corrosion resistance of orthodontic mini-implants. *Dental Press J Orthod*. 2016 Sep-Oct;21(5):39-46.
7. Hergel CA, Acar YB, Ates M, Kucukkeles N. In-vitro evaluation of the effects of insertion and sterilization procedures on the mechanical and surface characteristics of mini screws. *Eur Oral Res*. 2019 Jan;53(1):25-31.
8. Marigo G, Elias CN, Marigo M. Surface analysis of 2 orthodontic mini-implants after clinical use. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016 Jul;150(1):89-97.
9. Cotrim-Ferreira FA, Quaglio CL, Peralta RP, Carvalho PE, Siqueira DF. Metallographic analysis of the internal microstructure of orthodontic mini-implants. *Braz Oral Res*. 2010 Oct-Dec;24(4):438-42.
10. Sebbar M, Bourzgui F, Lazrak L, Aazzab B, El Quars F. Microscopic comparison of the miniscrew's surface used in orthodontics: before and after use. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2012 Nov;113(5):365-9.
11. Jiman PA, Prodan D, Moldovan M, Muntean A, Sarosi C, Tarmure V, Baciut G, Popa C, Pop AS. New and Recovered Temporary Anchorage Devices, In Vitro Assessment of Structural and Surface Properties. *Materials (Basel)*. 2021 Oct 21;14(21):6271.

12. Lin JC, Liou EJ, Yeh CL, Evans CA. A comparative evaluation of current orthodontic miniscrew systems. *World J Orthod.* 2007 Summer;8(2):136-44.
13. Patil P, Kharbanda OP, Duggal R, Das TK, Kalyanasundaram D. Surface deterioration and elemental composition of retrieved orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 Apr;147(4 Suppl):S88-100.
14. Gross JM, Nascimento GG, Araújo VC, Bönecker M, Furuse C. Mini-implants for Orthodontic Anchorage: Surface Analysis after Redrilling and Sterilization - An in vitro Study. *J Contemp Dent Pract.* 2016 Apr 1;17(4):300-5.
15. Iijima M, Muguruma T, Kawaguchi M, Yasuda Y, Mizoguchi I. In vivo degradation of orthodontic miniscrew implants: surface analysis of as-received and retrieved specimens. *J Mater Sci Mater Med.* 2015 Feb;26(2):71.
16. Bollero P, Di Fazio V, Pavoni C, Cordaro M, Cozza P, Lione R. Titanium alloy vs. stainless steel miniscrews: an in vivo split-mouth study. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2018 Apr;22(8):2191-2198.
17. Woodall N, Tadepalli SC, Qian F, Grosland NM, Marshall SD, Southard TE. Effect of miniscrew angulation on anchorage resistance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 Feb;139(2):e147-52.
18. Mattos CT, Ruellas AC, Elias CN. Is it possible to re-use mini-implants for Orthodontic Anchorage? Results of an in vitro study. *Mat Res.* 2010 Oct;13(4):521-5.
19. Estelita S, Janson G, Chiqueto K, Ferreira ES. Effect of recycling protocol on mechanical strength of used mini-implants. *Int J Dent.* 2014;2014:424923.
20. Thierry B, Tabrizian M, Savadogo O, Yahia L. Effects of sterilization processes on NiTi alloy: surface characterization. *J Biomed Mater Res.* 2000 Jan;49(1):88-98.
21. Chung CJ, Jung KY, Choi YJ, Kim KH. Biomechanical characteristics and reinsertion guidelines for retrieved orthodontic miniscrews. *Angle Orthod.* 2014 Sep;84(5):878-84.

8. Anexos

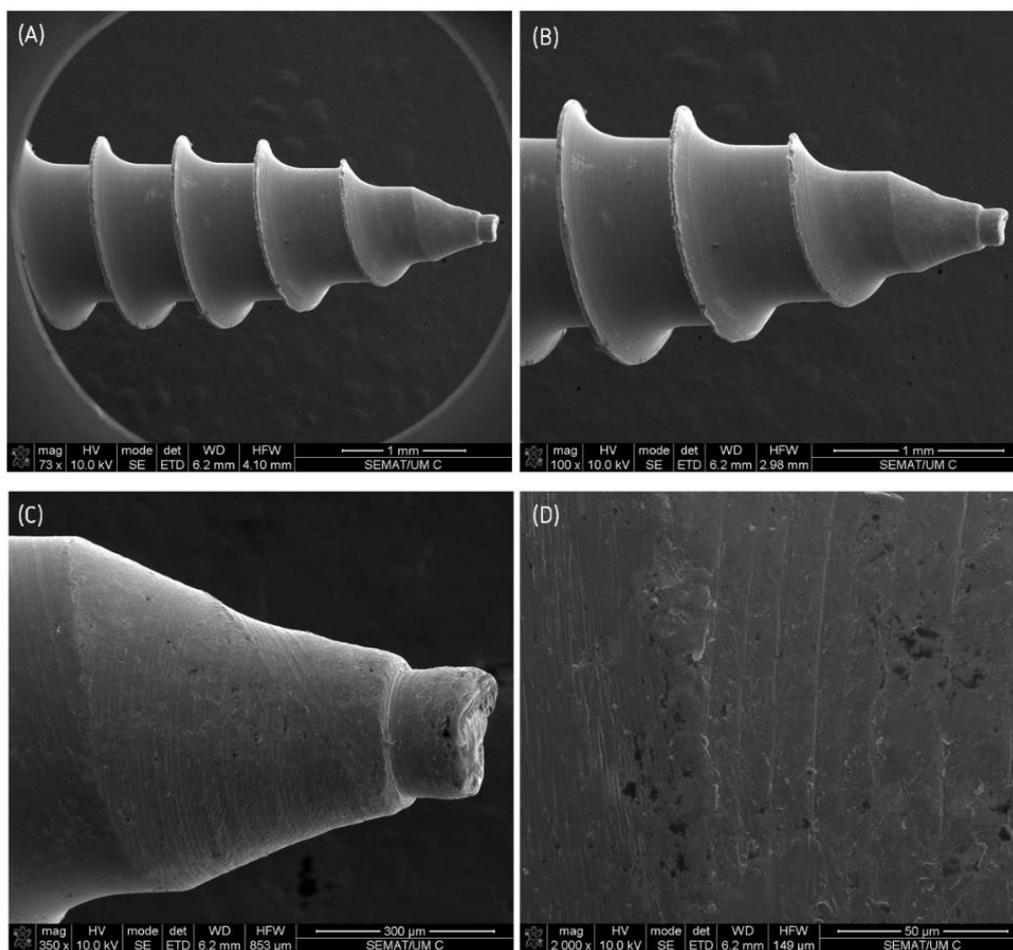


Figura 30: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

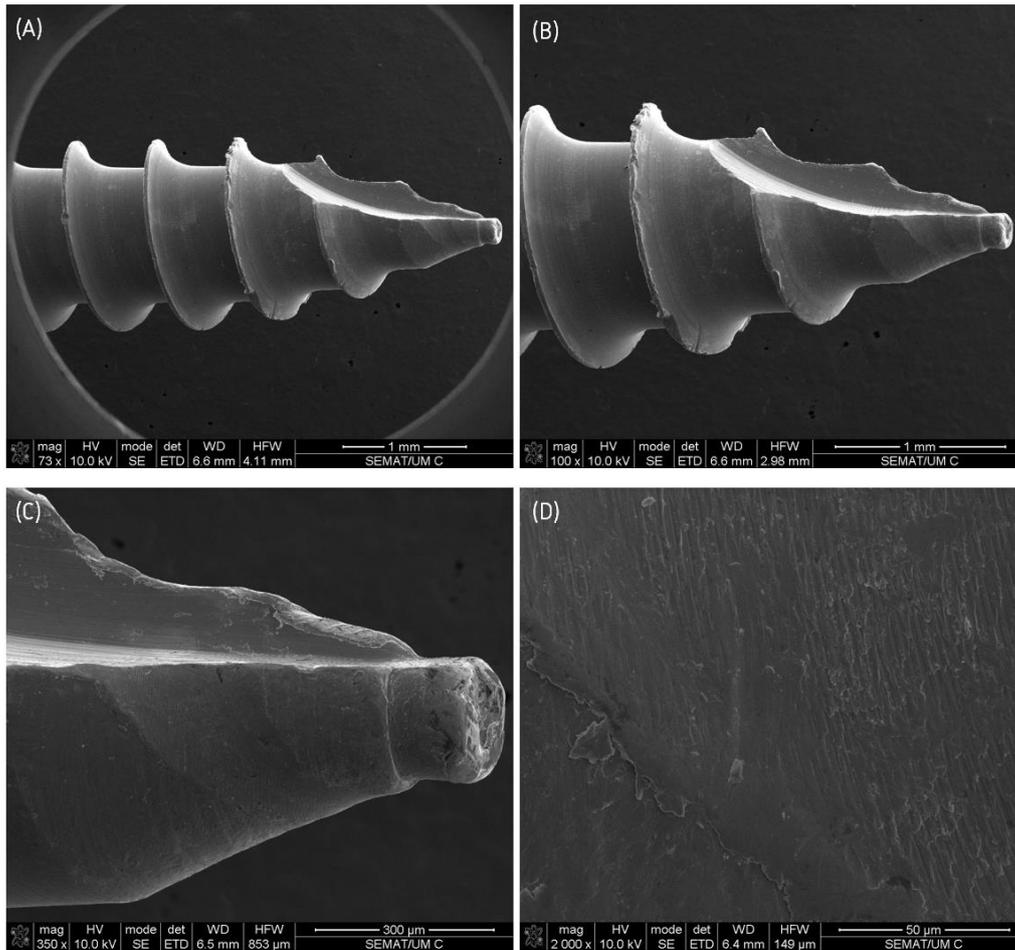


Figura 31: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

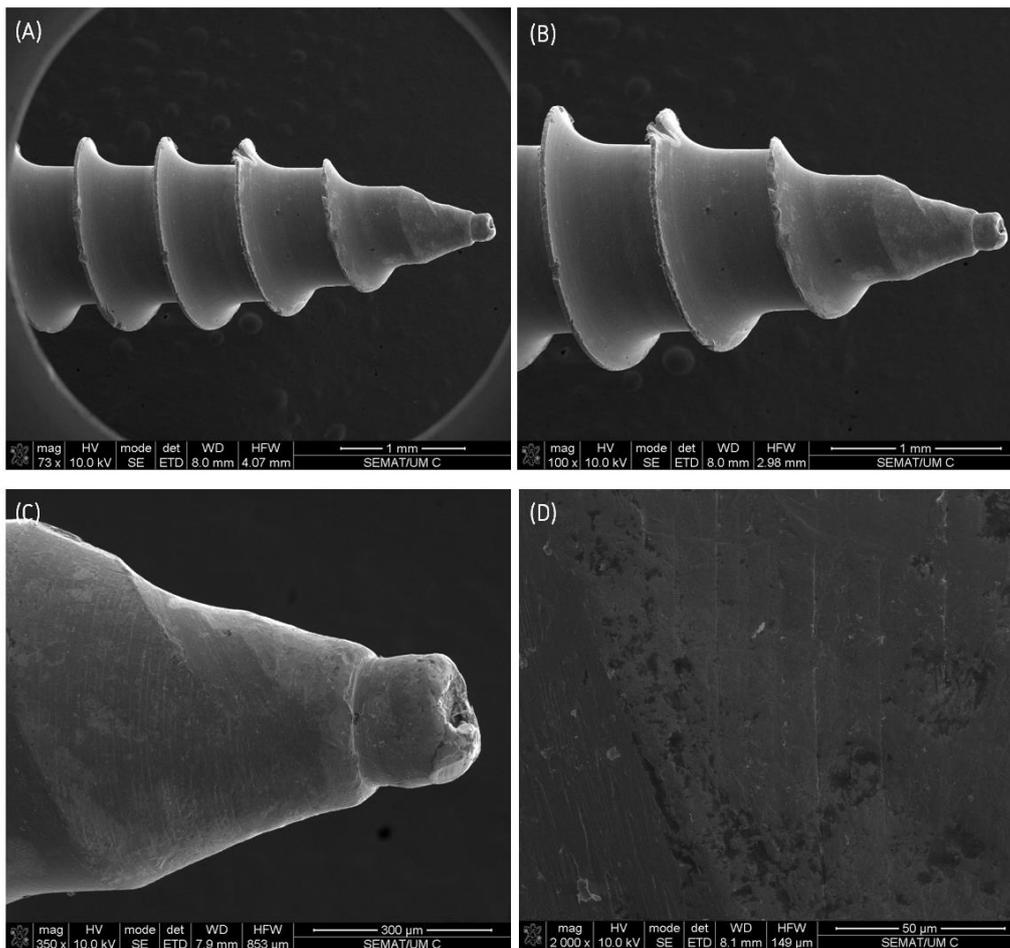


Figura 32: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

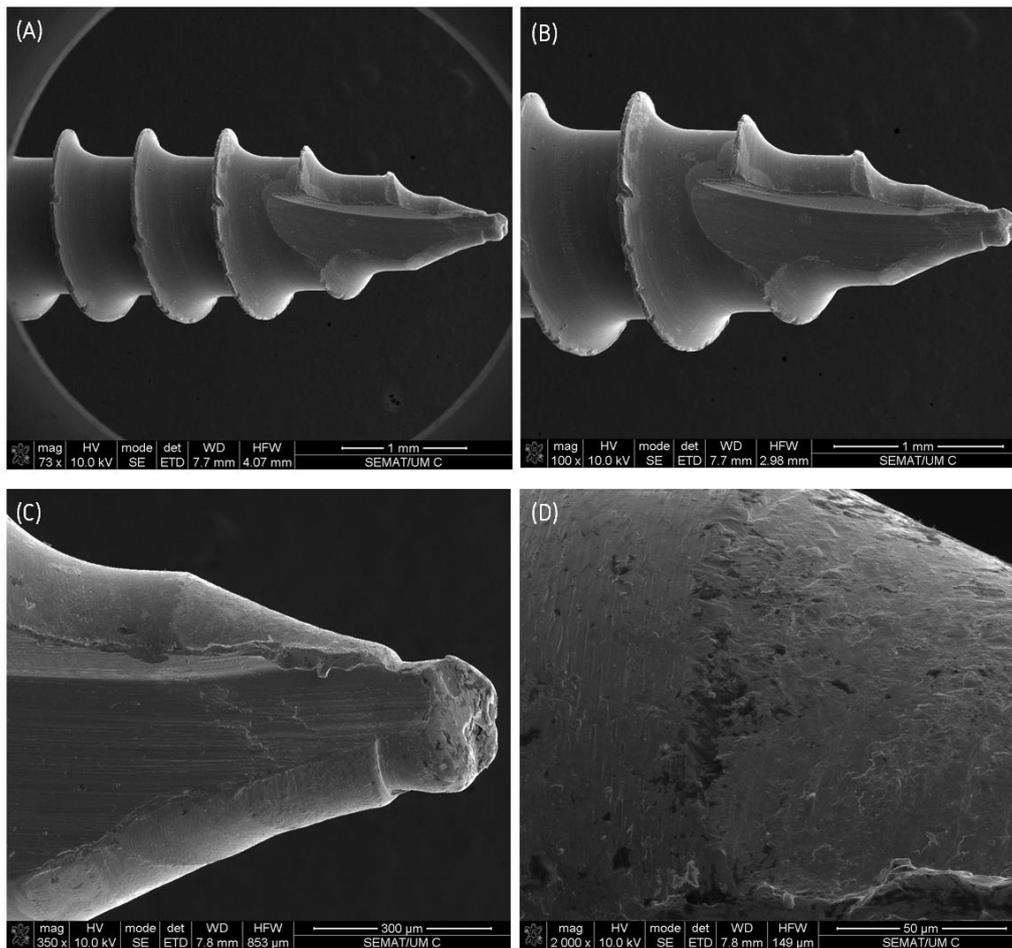


Figura 33: Superfície dos MIs novos visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

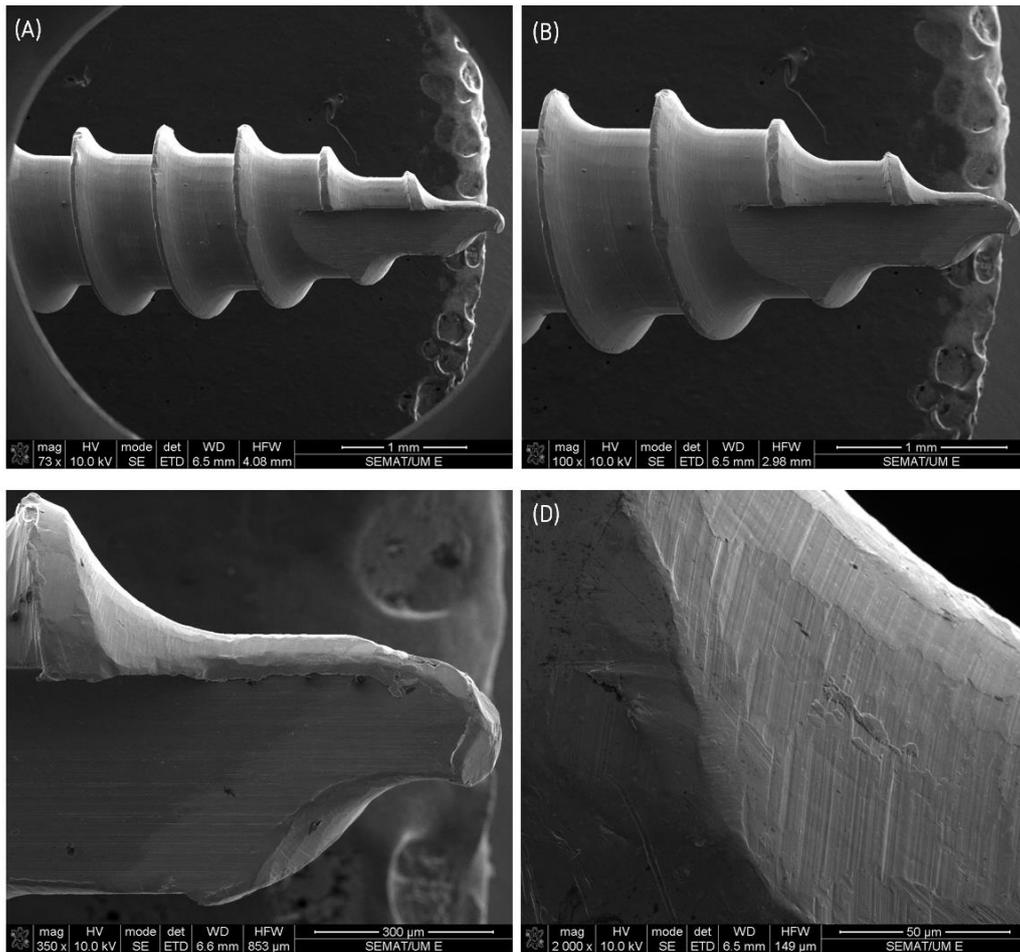


Figura 34: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

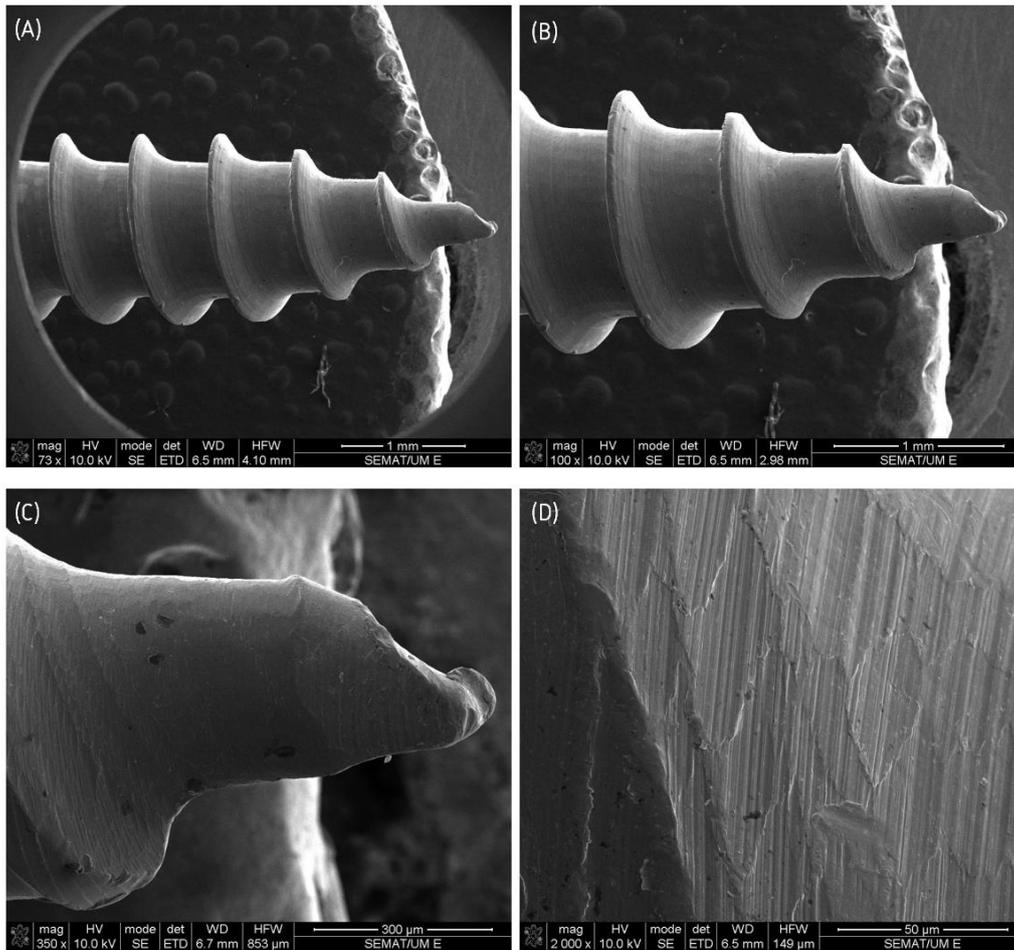


Figura 35: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

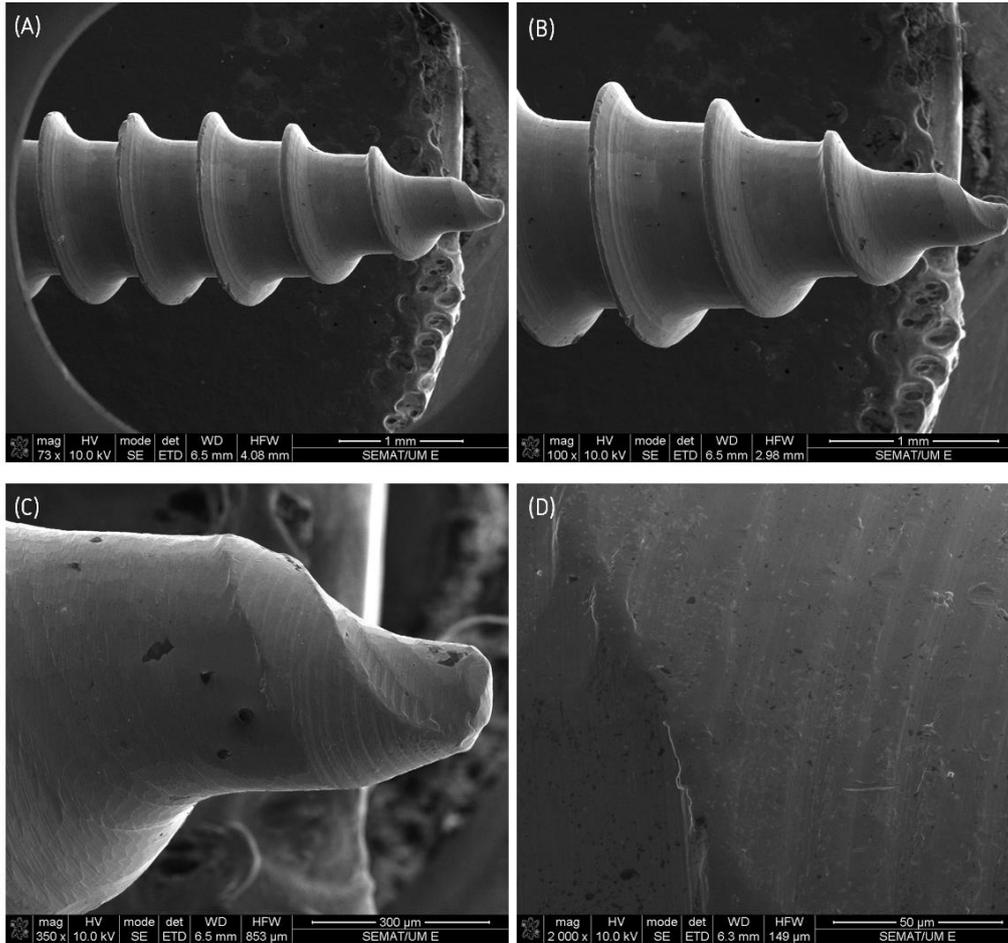


Figura 36: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

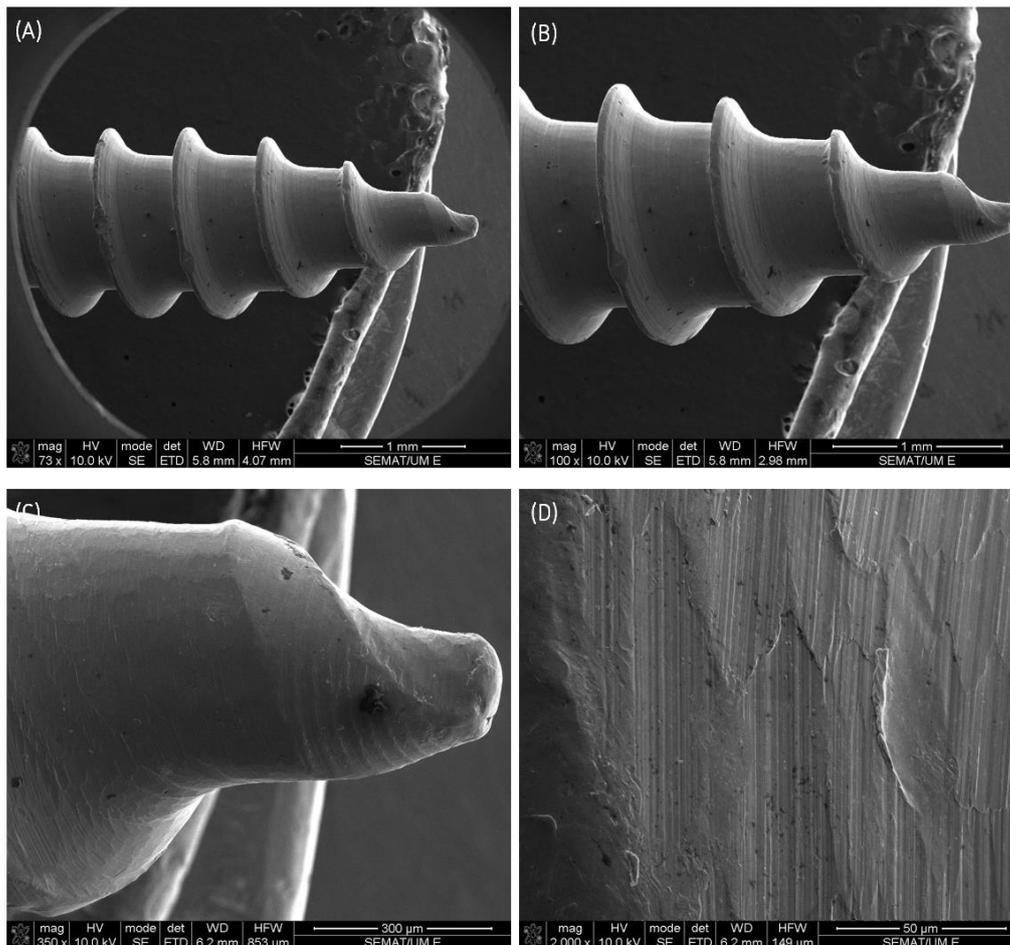


Figura 37: Superfície dos MIs esterilizados visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

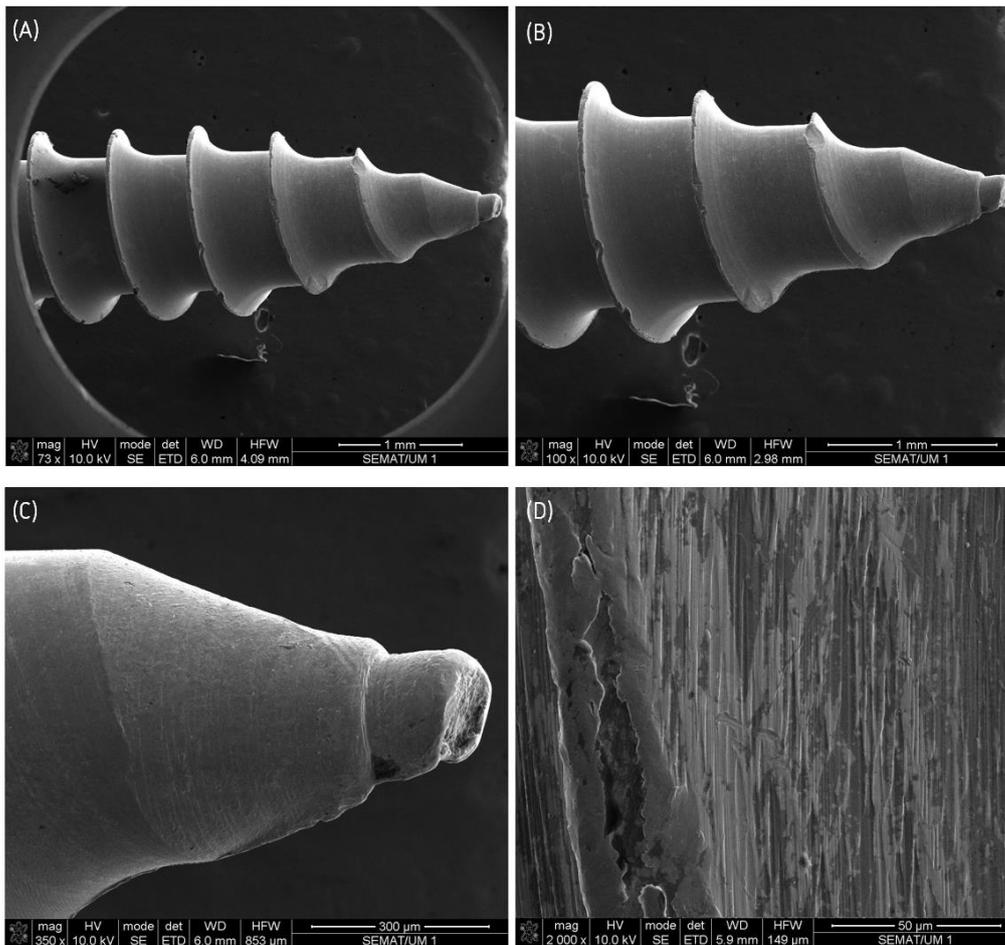


Figura 38: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

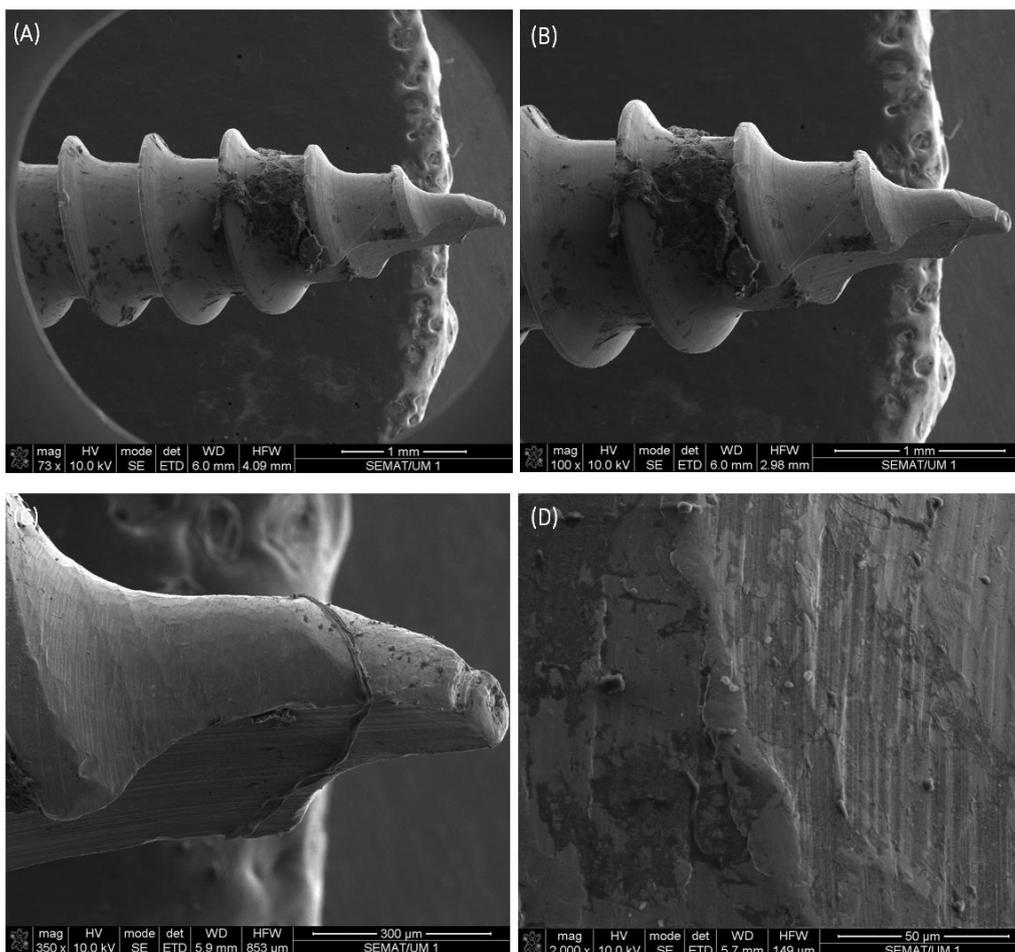


Figura 39: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

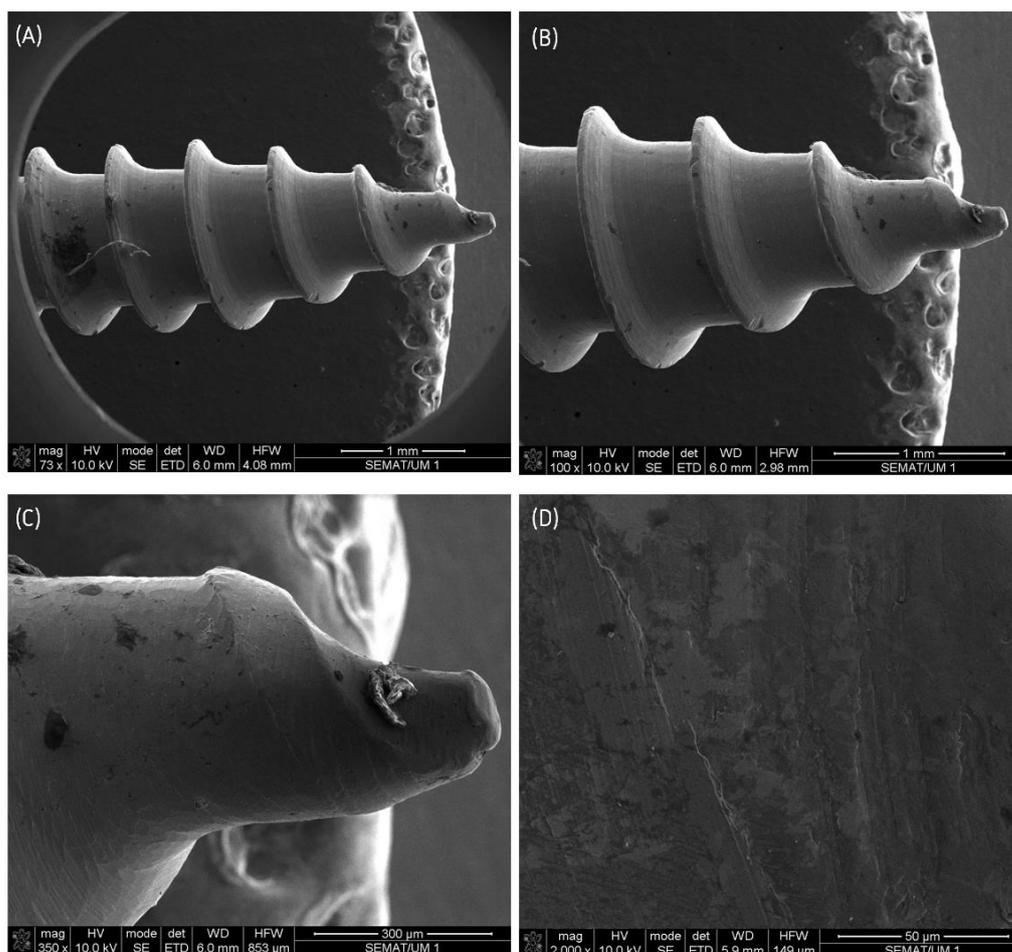


Figura 40: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 73x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.

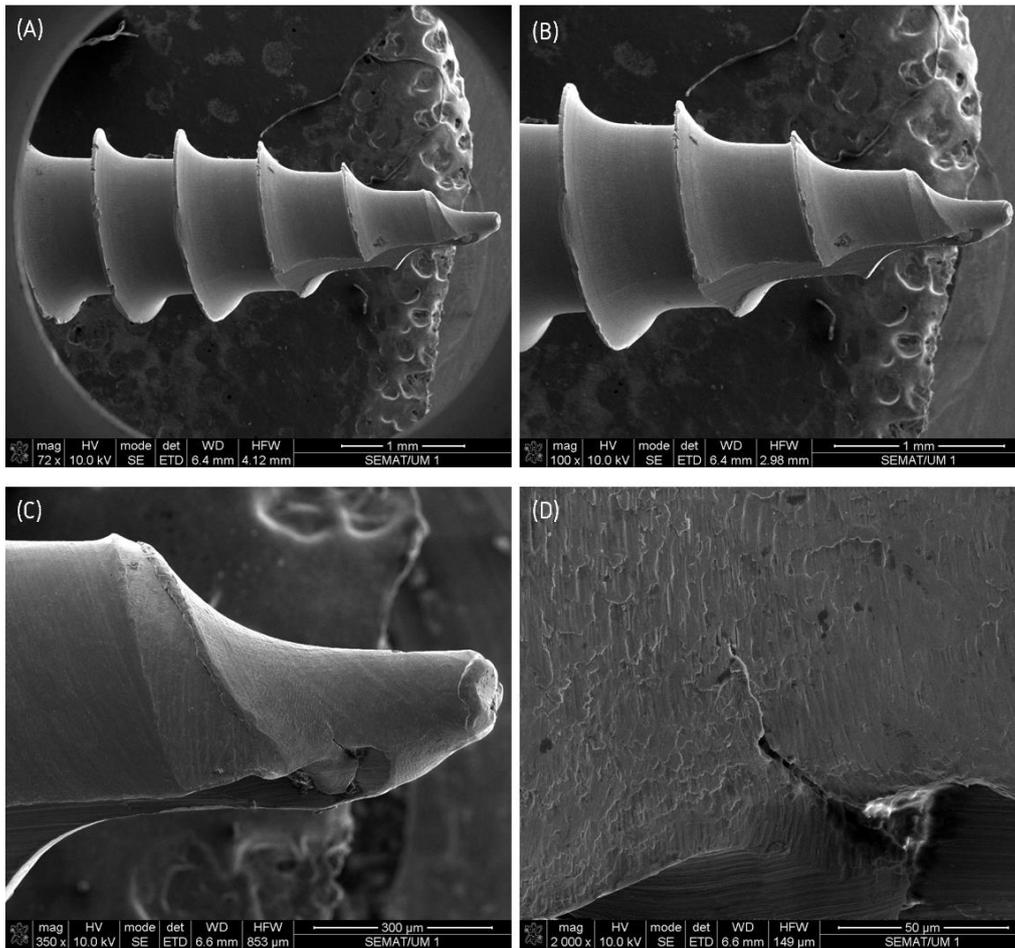


Figura 41: Superfície dos MIs inseridos e desinseridos em osso visualizada através do SEM com diferentes ampliações. (A) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 72x. (B) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 100x. (C) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 350x. (D) Superfície dos MIs visualizada através do SEM com ampliação 2000x.