



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**COMPARAÇÃO *IN VITRO* ENTRE QUATRO MÉTODOS DE
DESCONTAMINAÇÃO EM IMPLANTES CONTAMINADOS COM
*PSEUDOMONAS AERUGINOSA***

Trabalho submetido por

Mariana Anselmo de Oliveira Soares Relvas de Assunção

para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

outubro de 2022



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**COMPARAÇÃO *IN VITRO* ENTRE QUATRO MÉTODOS DE
DESCONTAMINAÇÃO EM IMPLANTES CONTAMINADOS COM
*PSEUDOMONAS AERUGINOSA***

Trabalho submetido por

Mariana Anselmo de Oliveira Soares Relvas de Assunção

para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por

Prof. Doutor Nuno Taveira

e coorientado por

Prof. Doutor Alexandre Santos e Prof. Doutor António Alves de Matos

outubro de 2022

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Prof. Doutor Nuno Taveira, por me ter ajudado e incentivado ao aperfeiçoamento deste projeto.

Aos meus co-orientadores, Prof. Doutor Alexandre Santos, por todos os ensinamentos na área da Periodontologia e por ter introduzido o tema que deu origem a este trabalho, e Prof. Doutor António Alves de Matos, pela confiança e transmissão de conhecimentos.

À Prof. Doutora Lucinda Bessa por me ter acompanhado durante todo o processo laboratorial e ao Prof. Doutor Luís Proença pela ajuda com os dados estatísticos.

Ao Prof. Doutor José João Mendes, um grande agradecimento por ter acreditado em mim e por ter tornado este projeto realidade.

Às marcas Systhex, NeoBiotech e EMS, por todo o apoio na concretização desta investigação.

Às clínicas FaceArt e Visages, em especial à Dra. Leonor Marinho que foi um grande pilar na realização deste projeto, e ao Dr. Miguel Moura Gonçalves por toda a paciência comigo.

À minha família, por todo o apoio incondicional. À minha mãe, que sempre me compreendeu sem ser preciso usar palavras. Ao meu pai, por me chamar à razão e se certificar sempre de que estou segura de mim e das minhas capacidades. Ao meu irmão, Artur, que sempre foi uma inspiração devido ao seu percurso escolar de excelência, é um prazer ser tua irmã e espero um dia ser tão boa profissional como tu és na tua área.

Ao meu namorado, Frederico, por me tratares sempre tão bem, pela constante presença e por todas as palavras e gestos que me acalmaram e motivaram.

Aos meus amigos de sempre, em especial à Catarina, por todo o apoio que me deram ao longo destes anos, foram uma grande influência a nível pessoal e profissional.

Aos meus amigos da faculdade, com especial agradecimento à Mar'yana, por todos os momentos inesquecíveis que passámos juntos, desejo-vos o maior sucesso.

Às minhas colegas de box, Lara, minha grande amiga, tornaste este percurso tão mais agradável, só nós sabemos pelo que passámos, e Zim, é um enorme prazer acabar o curso ao teu lado, as primas Anselmo vão estar sempre juntas, tanto nos bons como nos maus momentos.

Ao IUEM por me ter proporcionado a oportunidade de conhecer pessoas incríveis e aprender com profissionais de excelência.

RESUMO

Introdução: Atualmente, os implantes dentários são o método de escolha para substituir os dentes perdidos. A saúde dos tecidos peri-implantares deve ser preservada para que os implantes sejam estáveis a longo prazo.

Objetivo: O objetivo deste estudo piloto *in vitro* foi comparar a eficácia entre o sistema de jato de eritról (PerioFlow®), o protocolo de descontaminação eletrolítico (Galvosurge®) e dois modelos de escovas de titânio (R-Brush® e i-Brush®) na remoção de biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* de implantes, e verificar se estas metodologias alteram a superfície do implante.

Métodos: Implantes de titânio (N=40) com diferentes superfícies (Nano, SLA e SMA) foram contaminados com *P. aeruginosa* e depois submetidos a um dos seguintes procedimentos: descontaminação electrolítica (ED), descontaminação com jato de eritról (JE), desbridamento mecânico com R-Brush® (RB), desbridamento com i-Brush® (IB) ou ausência de tratamento (grupo controlo). Após o tratamento, a descontaminação da superfície dos implantes foi examinada de forma qualitativa por microscopia eletrónica de varrimento (MEV) e de forma quantitativa por contagem de unidades formadoras de colónias (UFC/cm²).

Resultados: Obteve-se uma redução significativa no número de bactérias após todos os tipos de tratamento em comparação com os implantes não tratados. Contudo, nenhum dos métodos de descontaminação conseguiu remover todas as bactérias dos implantes. Por outro lado, foi possível observar uma alteração notória da superfície dos implantes tratados com i-Brush® e R-Brush®.

Conclusão: Os métodos de descontaminação analisados neste estudo removeram um número significativo de bactérias dos implantes, mas nenhum alcançou a sua total descontaminação. Os resultados sugerem que o sistema JE é o melhor método de descontaminação bacteriana de implantes. A descontaminação com escovas de titânio altera a estrutura superficial dos implantes.

Palavras-Chave: Peri-implantite; implantes; sistemas de descontaminação mecânica; *Pseudomonas aeruginosa*.

ABSTRACT

Introduction: Nowadays, dental implants are the method of choice for replacing lost teeth. The health of the peri-implant tissues must be preserved for implants to be stable in the long term.

Objectives: The aim of this pilot in vitro study was to compare the effectiveness between the erythritol jet system (PerioFlow®), the electrolytic decontamination protocol (Galvosurge®) and two titanium brush designs (R-Brush® and i-Brush®) in removing *Pseudomonas aeruginosa* biofilms from implants, and to verify whether these methodologies alter the implant surface.

Methods: Titanium implants (N=40) with different surfaces (Nano, SLA and SMA) were contaminated with *P. aeruginosa* and then subjected to one of the following procedures: electrolytic decontamination (ED), erythritol jet decontamination (EJ), mechanical debridement with R-Brush® (RB), debridement with i-Brush® (IB) or no treatment (control group). After treatment, decontamination of the implant surface was examined qualitatively by scanning electron microscopy (SEM) and quantitatively by counting colony forming units (CFU/cm²).

Results: A significant reduction in the number of bacteria was obtained after all types of treatment compared to untreated implants. However, none of the decontamination methods was able to remove all bacteria from the implants. On the other hand, a noticeable change of the surface of implants treated with i-Brush® and R-Brush® could be observed.

Conclusion: The decontamination methods reviewed in this study removed a significant number of bacteria from implants, but none has achieved complete decontamination. The results suggest that the EJ system is the best method for bacterial decontamination of implants. Decontamination with titanium brushes alters the surface structure of implants.

Keywords: Peri-implantitis; implants; mechanical decontamination systems; *Pseudomonas aeruginosa*.

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO	13
1. Peri-implantite	13
1.1. Definição	13
1.2. Diagnóstico.....	13
1.3. Prevalência da peri-implantite.....	15
1.4. Etiologia	16
1.5. Fatores e indicadores de risco	16
1.6. Microbiologia da peri-implantite	19
2. Tratamento da peri-implantite	21
2.1. Prevenção e protocolos pré-cirúrgicos	21
2.2. Tratamento não cirúrgico	23
2.3. Tratamento cirúrgico	23
3. Implantes	24
4. Técnicas de descontaminação dos implantes.....	26
II. OBJETIVOS E HIPÓTESES	37
1. Objetivos do estudo	37
2. Hipóteses de estudo	37
III. MATERIAIS E MÉTODOS	39
1. Tipo de estudo	39
2. Local de realização do estudo.....	39
3. Amostra	39
4. Materiais	39
5. Grupos de estudo	40
6. Protocolo experimental.....	40
IV. RESULTADOS	47
1. Análise quantitativa	47
1.1. Contagem de Unidades Formadoras de colónias (UFCs)	47

2. Análise qualitativa – Microscopia eletrônica de varrimento	50
V. DISCUSSÃO.....	53
VI. CONCLUSÃO	57
VII. BIBLIOGRAFIA.....	59
VIII. ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de avaliação do risco de doenças implantares	17
Figura 2: Diversidade das comunidades bacterianas durante o desenvolvimento de infecções peri-implantares.....	20
Figura 3: Imagem esquemática das diferentes áreas de um implante.....	25
Figura 4: Modelo de acrílico de um alvéolo onde foram imobilizados os implantes.....	40
Figura 5: Sequência de inversão de um alvéolo de acrílico	41
Figura 6: Esquemas de colocação das amostras nos poços.	41
Figura 7: Descontaminação eletrolítica.	42
Figura 8: Descontaminação com o jato de eritritol.....	43
Figura 9: Desbridamento mecânico com <i>R-Brush</i> ®	43
Figura 10: Desbridamento mecânico com <i>i-Brush</i> ®	44
Figura 11: Log ₁₀ UFC/cm ² nos grupos de superfície Nano.....	48
Figura 12: Log ₁₀ UFC/cm ² nos grupos de superfície SLA.....	48
Figura 13: Log ₁₀ UFC/cm ² nos grupos de superfície SMA.....	49
Figura 14: Log ₁₀ UFC/cm ² nos grupos dos implantes de titânio puro	50
Figura 15: Imagem demonstrativa das duas zonas observadas em cada amostra.	50
Figura 16: Análise da superfície com microscópio eletrônico de varrimento (vista principal).....	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Escala de Qualidade do Implante.	14
Tabela 2: Estudos experimentais de comparação de métodos de descontaminação de implantes ou discos de titânio.....	27
Tabela 3: Número de UFC/cm ² (log10) removidos dos implantes Nano após os diferentes tipos de tratamento.	47
Tabela 4: Número de UFC/cm ² (log10) removidos dos implantes SLA após os diferentes tipos de tratamento.	48
Tabela 5: Número de UFC/cm ² (log10) removidos dos implantes SMA após os diferentes tipos de tratamento.	48
Tabela 6: Número de UFC/cm ² (log10) removidos dos implantes de titânio puro após os diferentes tipos de tratamento.....	49
Tabela 7: Grupos de estudo e respectivos tratamentos.	50

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- IDRA** – *Implant Disease Risk Assessment* / Avaliação do risco de doenças implantares;
- BOP** – Bleeding on probing / Hemorragia à sondagem;
- TPS** – Titanium plasma sprayed / Implantes revestidos com plasma de titânio;
- EPS** – Extracellular polymeric substance / Polissacáridos extracelulares;
- EDTA** – Ethylenediamine tetraacetic acid / Ácido etilenodiamino tetra-acético;
- HA** – Hidroxiapatite;
- DAE** – Dual acid etching / Duplo ataque ácido;
- SLA** – *Sandblast, Large-Grit, and Acid Etching*;
- MEV** – Microscopia Eletrônica de Varrimento;
- SMA** – *Sandblast, Medium-Grit, and Acid Etching*;
- C** – Controlo;
- DE** – Descontaminação eletrolítica;
- JE** – Jato de eritritol;
- IB** – *i-Brush*[®];
- RB** – *R-Brush*[®];
- BHI** – *Brain Heart Infusion*;
- DO** – Densidade ótica;
- PBS** – *Phosphate-Buffered Saline*;
- UFC** – Unidades formadoras de colónias;
- WD** – Working distance / distância de trabalho;
- kV** – Quilovolt.

I. INTRODUÇÃO

Os implantes dentários são atualmente o tratamento de eleição para a substituição de dentes perdidos. Para se alcançar uma estabilidade a longo prazo dos implantes, é necessário manter a saúde dos tecidos peri-implantares (Mattheos et al., 2021). Doenças, tais como a mucosite peri-implantar e a peri-implantite, podem ocorrer como resultado da resposta inflamatória localizada dos tecidos moles ao biofilme bacteriano (Pranno et al., 2020).

1. Peri-implantite

1.1. Definição

Dentro das condições e doenças peri-implantares podemos encontrar a saúde peri-implantar, a mucosite peri-implantar, a peri-implantite e as deficiências nos tecidos moles e duros peri-implantares (Berglundh et al., 2019). A peri-implantite ocorre nos tecidos que rodeiam os implantes, e é caracterizada pela inflamação da mucosa peri-implantar associada à placa bacteriana e a subsequente perda progressiva de osso de suporte (Berglundh et al., 2019).

1.2. Diagnóstico

Na ausência de dados prévios, o diagnóstico da peri-implantite pode ser baseado na presença de hemorragia à sondagem e/ou supuração, profundidades de sondagem ≥ 6 mm e níveis ósseos ≥ 3 mm para apical da porção mais coronal da parte intraóssea do implante (Berglundh, 2019; Schwarz et al., 2021).

No Congresso Internacional de Implantologistas Orais (2007) foi proposta uma Escala de Saúde para implantes dentários que contempla 4 categorias: sucesso, sobrevivência satisfatória, sobrevivência comprometida e falha do implante (tabela 1) (Misch et al., 2008).

Tabela 1: Escala de Qualidade do Implante. Adaptado de (Misch et al., 2008).

Escala de Qualidade do Implante	Condições Clínicas
I. Sucesso (saúde ótima)	a) Sem dor durante atividade b) Ausência de mobilidade c) < 2 mm de perda óssea radiográfica desde a cirurgia inicial d) Sem historial de exsudados
II. Sobrevivência satisfatória	a) Sem dor durante atividade b) Ausência de mobilidade c) 2-4 mm de perda óssea radiográfica d) Sem historial de exsudados
III. Sobrevivência comprometida	a) Possível sensibilidade durante atividade b) Ausência de mobilidade c) > 4 mm de perda óssea radiográfica (menor que ½ do corpo do implante) d) Profundidade de sondagem > 7 mm e) Possível historial de exsudados
IV. Falha (falha clínica ou absoluta)	Qualquer dos seguintes: a) Dor durante atividade b) Mobilidade c) Perda óssea radiográfica > ½ da extensão do implante d) Exsudados não-controlados e) Não se encontra presente em boca

Posteriormente foi criada uma classificação para diferentes graus de peri-implantite por Froum e Rosen (2012):

- **Inicial:** Profundidade de sondagem ≥ 4 mm (hemorragia e/ou supuração à sondagem verificada em 2 ou mais locais do implante); perda óssea correspondente a < 25% do comprimento do implante;

- **Moderada:** profundidade de sondagem ≥ 6 mm (hemorragia e/ou supuração à sondagem verificada em 2 ou mais locais do implante); perda óssea correspondente a 25 a 50% do comprimento do implante;
- **Avançada:** profundidade de sondagem ≥ 8 mm (hemorragia e/ou supuração à sondagem verificada em 2 ou mais locais do implante); perda óssea correspondente a $> 50\%$ do comprimento do implante.

Em relação à perda óssea patológica em redor de um implante em função, Tallarico et al. (2018) , criaram 6 categorias de critérios de diagnóstico:

1. Extensão da perda óssea patológica medida por parâmetros clínicos e radiográficos;
2. Fatores de risco associados à perda óssea patológica;
3. Início da perda óssea patológica;
4. Progressão da perda óssea patológica;
5. Classificação e análise do perfil de risco do paciente;
6. Características do implante.

Negm (2016), destacou a importância da diferenciação entre “sobrevivência” e “sucesso” de um implante. “Sobrevivência de um implante” significa que, aquando do exame clínico, os implantes ainda se encontram em boca, independentemente do estado protético ou da satisfação do paciente. Por outro lado, “sucesso de um implante” significa que os implantes se encontram em boca, funcionais e satisfatórios para o paciente (Negm, 2016).

1.3.Prevalência da peri-implantite

Uma vasta gama da prevalência das doenças peri-implantares é relatada na literatura (Elemek et al., 2020). Os diferentes estudos da prevalência da peri-implantite apresentam uma elevada variabilidade de parâmetros, como a amostragem de pacientes, cenários clínicos e definições dos casos (Roccuzzo et al., 2021). De acordo com dados recentes, a prevalência da peri-implantite foi de 19,53% ao nível do paciente e 12,53% ao nível do implante, sendo que, mesmo após a restrição dos critérios e da definição dos casos, os valores continuam a ser altamente variáveis (Diaz et al., 2022).

1.4. Etiologia

A principal causa da peri-implantite é a formação de um biofilme bacteriano na superfície do implante composto essencialmente por bactérias anaeróbias Gram-negativas (Rokaya et al., 2020).

O biofilme pode ser definido como uma comunidade séssil de bactérias que se encontram irreversivelmente aderidas entre elas e a um substrato, embebidas numa matriz de substâncias poliméricas extracelulares (Mombelli & Décaillot, 2011). As bactérias presentes no biofilme estão protegidas de fatores adversos e respostas imunológicas pelos EPS (polissacáridos extracelulares) (Chew & Yang, 2015).

O biofilme bacteriano associado aos implantes induz uma resposta inflamatória nos tecidos moles e duros circundantes, resultando secundariamente na reabsorção óssea peri-implantar, podendo eventualmente levar à perda do implante (Cosgarea et al., 2019).

1.5. Fatores e indicadores de risco

Há uma evidência substancial de associação entre peri-implantite e fraca higiene oral, historial de periodontite, ou hábitos tabágicos, uma evidência limitada de associação com diabetes e consumo de álcool e uma evidência limitada e conflituosa com características genéticas do hospedeiro e a superfície do implante (Heitz-Mayfield, 2008).

Heitz-Mayfield et al. (2020) introduziram uma ferramenta para a avaliação do risco de um paciente desenvolver peri-implantite (*IDRA - Implant Disease Risk Assessment*). Estes autores construíram um diagrama composto por oito parâmetros (figura 1):

1. Avaliação do historial de periodontite;
2. Percentagem de locais com hemorragia à sondagem (BOP);
3. Número de dentes/implantes com profundidade de sondagem $\geq 5\text{mm}$;
4. O rácio de perda óssea (avaliada a partir de uma radiografia) a dividir pela idade do paciente;
5. A suscetibilidade para a periodontite (como descrita pelas categorias do grau e estágio do Workshop Mundial da Classificação das Doenças Periodontais e Peri-implantares);
6. A frequência e cumprimento da terapia periodontal de suporte;
7. A distância, em milímetros, entre a margem da prótese suportada por implantes e a crista óssea marginal;

8. Fatores relacionados com a porção protética, incluindo a sua higienização e o ajuste da prótese suportada por implantes.

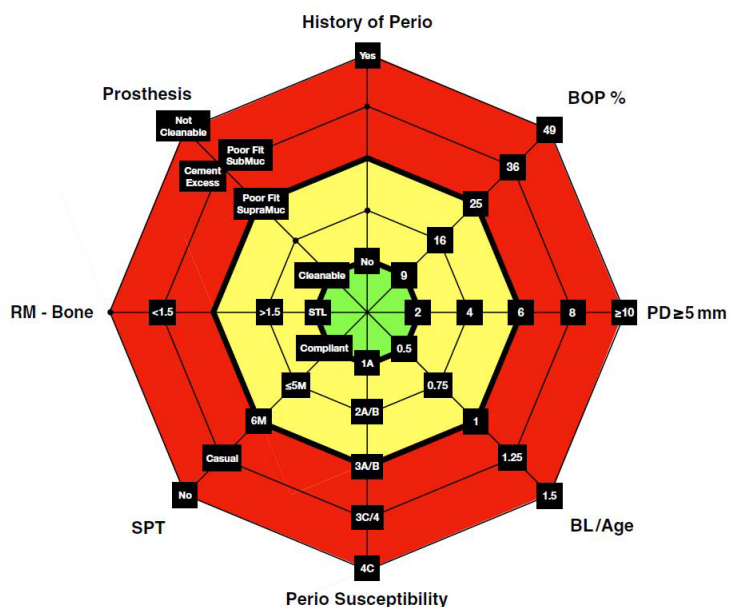


Figura 1: Diagrama de avaliação do risco de doenças implantares (IDRA - *Implant Disease Risk Assessment*). Área verde – baixo risco; área amarela – risco moderado; área vermelha – risco elevado. Imagem retirada de (Heitz-Mayfield et al., 2020).

Nos fatores de risco da peri-implantite, podemos encontrar o tecido queratinizado, a superfície e localização do implante, o desenho protético e o consumo de álcool (Hussain et al., 2021).

As diferenças entre os tecidos periodontais e peri-implantares podem influenciar a resposta do hospedeiro na periodontite e peri-implantite. Nos implantes, a mucosa queratinizada é constituída por tecido conjuntivo com colagénio e epitélio queratinizado (Dhir et al., 2013). O papel do tecido queratinizado como fator de risco da peri-implantite ainda é controverso. Alguns autores sugerem que a sua presença leva a profundidades de sondagem reduzidas, menor acumulação de placa bacteriana, maior conforto e higiene facilitada (Hussain et al., 2021). Contudo, outros estudos demonstraram que é possível um implante ter sucesso em zonas com pouca ou nenhuma gengiva queratinizada (Hussain et al., 2021).

Além do mais, nos implantes forma-se uma densa rede de fibras de colagénio com origem na crista óssea alveolar, estendendo-se até à margem gengival, de forma paralela criando um arranjo circular de fibras à volta do colo do implante. Por outro lado, nos dentes, as fibras apresentam uma orientação perpendicular com direções distintas para

várias estruturas adjacentes (Dhir et al., 2013). Do ponto de vista histomorfométrico, Dhir et al. (2013) verificaram que os implantes e os dentes têm uma relação comparável de colagénio, vasos e plasmócitos, enquanto os implantes apresentam proporções menores de linfócitos, macrófagos e leucócitos polimorfonucleares. Assim, a resposta inflamatória nos implantes é potencialmente maior quando comparada com os dentes, devido à fraca barreira biológica que formam para evitar a migração apical de células inflamatórias (Dhir et al., 2013).

A formação do biofilme pode ser influenciada pelas diferentes propriedades químicas e físicas da superfície dos implantes (Lang & Berglundh, 2011). Fisicamente, os implantes podem ser caracterizados de acordo com a rugosidade (S_a) da superfície em: suave (0.0 - 0.4 μm), minimamente rugoso (0.5 - 1.0 μm), moderadamente rugoso (1.0 - 2.0 μm) e rugoso (> 2.0 μm) (Albrektsson & Wennerberg, 2004). Os implantes revestidos com plasma de titânio (TPS), são considerados implantes rugosos e apresentam elevada probabilidade de desenvolver peri-implantite quando expostos ao ambiente da cavidade oral pois as bactérias têm mais tendência a acumular-se num substrato rugoso em comparação com um substrato liso (Albrektsson & Wennerberg, 2004; Jemat et al., 2015; Lang & Berglundh, 2011; Renvert et al., 2011).

A localização do implante pode também estar relacionada com um maior risco de desenvolvimento de peri-implantite, sendo que, Moraschini et al. (2022) registaram uma maior ocorrência de peri-implantite na região anterior da maxila e mandíbula, com maior prevalência na maxila, visto que, por ser constituída por um maior número de componentes vasculares e celulares, a inflamação nesta região pode ser mais intensa (Moraschini et al., 2022).

No que diz respeito à reabilitação protética, sabe-se que o desenho protético se encontra altamente relacionado com o grau de dificuldade de higienização, isto é, uma peça protética com um desenho que dificulte a higienização, levará a uma elevada acumulação de placa bacteriana, o que contribuirá para o desenvolvimento da peri-implantite (Hussain et al., 2021).

Em relação ao papel do consumo de álcool no desenvolvimento de peri-implantite, um estudo realizado por Carr et al. (2020), relacionou um elevado consumo de álcool com um aumento na incidência da peri-implantite.

Entre os fatores de risco para a peri-implantite encontram-se os hábitos tabágicos, historial de periodontite, a falta de cumprimento com os cuidados de higiene oral, as

doenças sistêmicas, defeitos de tecidos moles, histórico de falha de um ou mais implantes e causas iatrogénicas (Smeets et al., 2014).

Hashim e Cionca (2020) dividiram os fatores de risco em fatores relacionados com o paciente e fatores específicos do local. No que respeita aos fatores relacionados com o paciente podemos encontrar o historial de doença periodontal e aspetos microbiológicos, a falta de terapia de manutenção, os hábitos tabágicos, as condições sistêmicas, os fatores genéticos, sobrecarga oclusal e os hábitos parafuncionais (Hashim & Cionca, 2020). Relativamente aos fatores específicos do local, encontram-se as características e o material do implante, o tipo de implante e o design protético, o estado/condição dos tecidos moles peri-implantares, os fatores iatrogénicos, a presença de partículas de titânio e a bio-corrosão, o mau controlo da placa bacteriana e a mucosite peri-implantar (Hashim & Cionca, 2020).

1.6. Microbiologia da peri-implantite

O perfil microbiológico da peri-implantite difere do perfil da periodontite e pode incluir *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, *Tannerella forsythia*, *Peptostreptococcus micros*, *Candida albicans*, *Camphylobacter rectus*, entre outros (Ting et al., 2018).

Alcoforado et al. (1990), demonstraram que existe uma associação entre implantes perdidos e uma microflora complexa, incluindo microrganismos orais, não-orais, bactérias e leveduras. No entanto, não existe ainda um consenso sobre um complexo bacteriano específico responsável pelo início da perda óssea peri-implantar (Pérez-Chaparro et al., 2016).

Lafaurie et al. (2017), concluíram que:

- Implantes saudáveis e com peri-implantite são colonizados por microrganismos periodontopatogénicos, sendo que a *P. gingivalis* e *P. intermedius* podem ser mais frequentes em implantes com peri-implantite;
- A peri-implantite é uma infeção heterogénea e mais complexa que a periodontite, composta predominantemente por espécies não cultiváveis de gram-negativos.

De acordo com Sahrman et al. (2020), os estudos realizados até à data não revelaram nenhuma especificidade no que diz respeito à composição do biofilme bacteriano da periodontite e de implantes saudáveis. Por outro lado, segundo Belibasakis e Manoil (2021), sabe-se que os nichos ecológicos em locais de peri-implantite são distintos, sendo

caracterizados por uma menor diversidade de bactérias em relação aos nichos da periodontite. Além disto, a microbiota peri-implantar torna-se mais complexa à medida que a infecção progride para mucosite peri-implantar e peri-implantite (Belibasakis & Manoil, 2021) (figura 2).

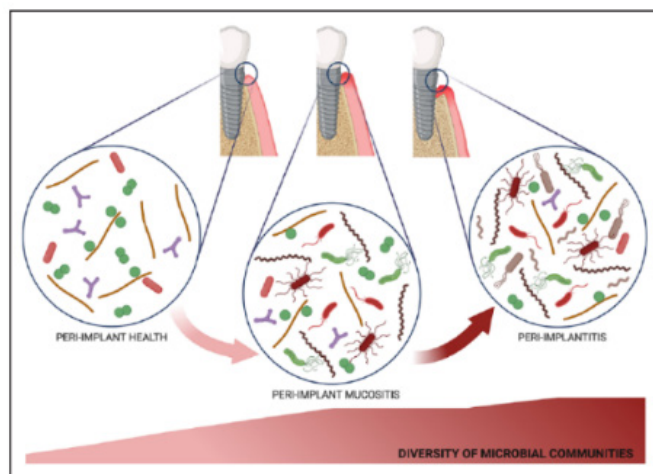


Figura 2: Diversidade das comunidades bacterianas durante o desenvolvimento de infecções peri-implantares. Imagem retirada de (Belibasakis & Manoil, 2021).

Albertini et al. (2015), verificaram que a superfície implantar pode também ser colonizada por microrganismos patogênicos oportunistas como *P. aeruginosa*, *S. aureus* e *C. albicans* e estes podem estar associados ao fracasso dos implantes.

A *P. aeruginosa* é uma bactéria gram-negativa, aeróbia, possui uma forma de bacilo e pode ser encontrada na água, no solo, na cavidade oral de indivíduos hospitalizados e nas vias respiratórias de pacientes com fibrose quística (Canullo et al., 2015; Davies, 2002). A *P. aeruginosa* é capaz de detetar e responder a uma superfície através de mecanismos específicos (Guilbaud et al., 2017). Bactérias móveis como a *P. aeruginosa* utilizam apêndices como flagelos e pilis comuns para mediar o envolvimento precoce com a superfície (Kasetty et al., 2021). Esta bactéria produz ainda três polissacarídeos extracelulares (EPS) que facilitam a formação de biofilmes: Pel, Psl e alginato (Franklin et al., 2011; Kasetty et al., 2021).

Um estudo de Nunes Filho et al. (2018), demonstrou que tanto a molhabilidade da superfície de implantes de titânio como a sua rugosidade não têm uma correlação direta com a adesão da *P. aeruginosa* à superfície. Os resultados indicaram ainda que a valência dos átomos de titânio ou a sua composição química apresentam um maior impacto na fase

inicial da formação do biofilme de *P. aeruginosa*, em comparação com a molhabilidade e rugosidade da superfície. (Nunes Filho et al., 2018).

2. Tratamento da peri-implantite

A estratégia do plano de tratamento baseia-se no diagnóstico e na gravidade da lesão peri-implantar (Lindhe et al., 2010).

O tratamento da peri-implantite tem por objetivo principal a remoção do biofilme bacteriano da superfície do implante, isto é, a estratégia de tratamento deverá incluir um procedimento de limpeza mecânica como controlo da infeção (Kormas et al., 2020; Lindhe et al., 2010). Adicionalmente, apresenta também como objetivos a satisfação das exigências do paciente quanto ao conforto mastigatório e estética, com um prognóstico favorável a longo prazo das restaurações (Lindhe et al., 2010).

Tal pode ser obtido por técnicas não cirúrgicas (métodos mecânicos, químicos, antibióticos, lasers, e instrução de higiene oral) e cirúrgicas (cirurgia ressetiva e regenerativa) (Rokaya et al., 2020). O tratamento ideal não se deve focar apenas na remoção dos microrganismos patogénicos, mas também na prevenção da recolonização da superfície (Amate-Fernández et al., 2021). Segundo Toma et al. (2019), ainda não existe acordo sobre qual será o melhor tratamento para a peri-implantite.

Lindhe et al., (2010), concluíram três aspetos:

- O prognóstico de um dente com periodontite e tratamento adequado é tão favorável quanto o prognóstico para um implante;
- Em pacientes com suscetibilidade para a doença periodontal, foi relatado um aumento no risco da perda do implante;
- Para a obtenção de sucesso a longo prazo da terapia de implantes, em pacientes periodontalmente comprometidos, o controlo da infeção por parte do paciente representa um fator decisivo.

2.1. Prevenção e protocolos pré-cirúrgicos

A chave para o sucesso do tratamento da peri-implantite baseia-se na prevenção da mesma (Renvert et al., 2019).

Na prevenção da peri-implantite, a informação/dedicação e a educação do paciente são fundamentais. Devem ser estabelecidas expectativas realistas antes do tratamento e realçar que a higiene e a manutenção dos implantes diferem bastante dos dentes naturais

(Hussain et al., 2021; Lindhe et al., 2010). É importante ensinar e demonstrar a técnica de escovagem mais adequada em cada caso para que, em casa, o paciente consiga higienizar da forma mais correta os seus implantes (Hussain et al., 2021; Lindhe et al., 2010).

Os pacientes que sejam portadores de implantes podem utilizar escovas tanto manuais como elétricas, dependendo sempre da sua cooperação e destreza; escovas interdentárias e fio dentário, e pastas de dentes contendo 0,3% de triclosan. A utilização de bochechos com antisépticos orais e géis não demonstrou vantagens adicionais nos efeitos a longo prazo (Renvert et al., 2019).

É importante manter a superfície dos implantes suave de forma a prevenir a acumulação e a colonização bacteriana (Hussain et al., 2021). Em consultório devem ser utilizadas técnicas adequadas à manutenção dos implantes, como destartarizadores ultrasónicos com pontas revestidas por plástico ou com pontas não metálicas e instrumentos manuais, como curetas de plástico, carbono e titânio (Hussain et al., 2021).

Segundo Renvert et al. (2019), o intervalo de tempo entre consultas de manutenção peri-implantar deve ser baseado nos indicadores de risco de cada paciente, no grau de cumprimento dos cuidados de um rigoroso controlo de placa bacteriana e no desenho protético. Posto isto, é recomendado um protocolo de manutenção com intervalos de 6 meses ou menos (Renvert et al., 2019).

Fu e Wang (2020) sumarizaram os fatores de contribuição e as medidas de prevenção em cinco grupos, baseados em fatores relacionados com:

- o paciente: controlo da doença, eliminação da periodontite ativa; bom controlo de placa bacteriana; manutenção regular; cessação tabágica; controlo da diabetes;
- o desenho do implante: colo do implante (0,5 a 1 mm) polido/suave; superfície do implante moderadamente rugosa; diâmetro do pilar inferior ao diâmetro do implante (*Platform Switch*); implantes não-metálicos;
- o local do implante: tecido com fenótipo grosso ($> 2\text{mm}$); banda larga de mucosa queratinizada ($> 2\text{mm}$); livre de infeção;
- o clínico: adequado posicionamento tridimensional do implante; posicionamento segundo a parte protética; posicionamento cirúrgico guiado, se possível;
- a parte protética: quando possível, recorrer a restauração aparafusada; perfil de emergência natural (convexo, $\leq 30^\circ$); contactos oclusais ligeiros.

2.2.Tratamento não cirúrgico

Wang et al. (2019), esquematizaram uma árvore de decisão do tratamento não cirúrgico da peri-implantite. Partindo do diagnóstico da peri-implantite, deverá ser analisado o prognóstico tendo em conta os fatores sistêmicos e locais (presença de restos de cimento, posição do implante, parte protética, oclusão e condições sistêmicas do paciente). Perante múltiplos fatores inalteráveis e a presença de mobilidade no implante, deve proceder-se à sua remoção. Na decisão de manter o implante, recorre-se ao tratamento não cirúrgico, abordando os fatores modificáveis. Este tratamento consiste no desbridamento mecânico auxiliado com terapia antibiótica, antissética e de lasers (Wang et al., 2019). De acordo com Hosseinpour et al. (2021), o desbridamento físico do biofilme associado à superfície dos implantes é a forma de tratamento mais antiga e mais simples. No seguimento da terapia não cirúrgica, deve-se reavaliar a resposta ao tratamento, os níveis de higiene oral, a colaboração por parte do paciente e os fatores de contribuição (Wang et al., 2019). A repetição dos tratamentos não cirúrgicos pode ser um reforço necessário nas visitas de reavaliação e manutenção, no entanto, caso verificada uma lesão avançada, dever-se-á optar pelo tratamento cirúrgico, e em casos de rápida perda óssea progressiva, deve ser efetuada a remoção do implante (Wang et al., 2019).

De acordo com Renvert et al. (2019), o tratamento não cirúrgico da peri-implantite provoca melhorias clínicas na redução da hemorragia (20% a 50%) e em alguns casos a redução da profundidade das bolsas (≤ 1 mm). No entanto, em casos avançados, torna-se improvável a sua completa resolução. A utilização de terapias adjuntivas como os antisséticos, antibióticos, antimicrobianos, lasers e probióticos, apresentam poucas melhorias clínicas na redução da hemorragia e das bolsas (Renvert et al., 2019).

A terapia não cirúrgica deve sempre preceder a terapia cirúrgica, com o objetivo de diminuir a inflamação dos tecidos peri-implantares, avaliar a resposta à terapia antibacteriana e garantir que a higienização realizada pelo paciente é eficaz (Renvert et al., 2019; Wang et al., 2019).

2.3.Tratamento cirúrgico

Embora a terapia não cirúrgica possa ser uma opção de tratamento conservadora, quando usada de forma isolada, esta não tem a capacidade de tratar a peri-implantite (Kormas et al., 2020). Face ao exposto, dever-se-á recorrer à terapia cirúrgica, que tem

por objetivos a descontaminação da superfície do implante, o estabelecimento de uma anatomia peri-implantar que promova a sua descontaminação e, quando possível, a regeneração de defeitos infra ósseos (Kormas et al., 2020).

Durante o tratamento cirúrgico da peri-implantite deve também ser realizado o desbridamento mecânico do biofilme e a remoção de excesso de cimento e tecidos inflamados (Khoury et al., 2019). O desbridamento pode ser realizado com instrumentos mecânicos (de aço inoxidável e titânio), equipamentos ultrasónicos com variadas pontas, jatos de partículas abrasivas e escovas de titânio (Khoury et al., 2019).

Podem ser utilizados agentes químicos e antimicrobianos como adjuvantes à descontaminação, como por exemplo, soro, ácido cítrico 40%, peróxido de hidrogénio 3%, soluções de iodo 24%, clorhexidina 0,2%, EDTA 24% e tetraciclina (Khoury et al., 2019).

A utilização de terapia fotodinâmica ou de lasers na descontaminação da superfície dos implantes ainda não apresenta evidência suficiente que suporte o seu uso na prática clínica (Khoury et al., 2019).

3. Implantes

Relativamente ao material de eleição para implantes dentários, o titânio demonstrou preencher os requisitos mais importantes, como uma excelente biocompatibilidade, boa resistência à corrosão, baixo módulo de elasticidade e elevada resistência (Jemat et al., 2015).

Nos implantes, os diferentes tratamentos de superfície são utilizados a fim de alterar a topografia e energia de superfície, resultando numa melhor molhabilidade, num aumento da proliferação e crescimento celular e numa maior rapidez do processo de osteointegração (Nakae et al., 2005; Ponsonnet et al., 2003; Rosales-Leal et al., 2010).

Os tratamentos podem ser classificados como mecânicos, químicos e físicos e podem compreender métodos aditivos ou subtrativos (Jemat et al., 2015). Nos métodos aditivos, é realizada a adição de outros materiais à superfície, de uma forma superficial ou integral, categorizados em revestimento e impregnação, respetivamente. Um exemplo disto é o revestimento com spray de plasma, que consiste numa camada espessa de deposições, como a hidroxiapatite (HA) e titânio (Ti) (Jemat et al., 2015).

Por outro lado, os métodos subtrativos consistem na remoção de uma camada do material, ou na deformação plástica da camada superficial, para assim, torná-la mais rugosa (Jemat et al., 2015):

- Jateamento – projeção de partículas como areia, hidroxiapatite, alumina ou dióxido de titânio, seguido de um ataque ácido para remover as partículas residuais;
- Ataque ácido – a utilização de ácidos vai limpar a superfície metálica e alterar a sua rugosidade;
- Duplo ataque ácido (DAE – *Dual Acid Etching*) – semelhante ao anterior, sequência ou combinação de ácidos;
- Jateamento com areia de grão grosso e ataque ácido (SLA - *Sandblast, Large-Grit, and Acid Etching*) – erosão superficial com a aplicação de um ácido forte sobre a superfície jateada.

A superfície dos implantes pode ser caracterizada relativamente à rugosidade da superfície e à química da superfície (Schwarz et al., 2021). Na maior parte das vezes não é possível associar o impacto das características do implante *per si* na incidência e progressão da peri-implantite (Schwarz et al., 2021).

Relativamente à anatomia de um implante, num estudo de Cha et al. (2019), analisaram-se as microespiras e, mais apicalmente, as macroespiras, tendo sido definidas quatro áreas nestas últimas: área superior da espira (face coronal), o topo da espira, a área inferior da espira e o vale entre espiras (figura 3).

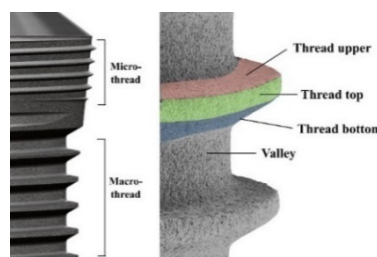


Figura 3: Imagem esquemática das diferentes áreas de um implante. Imagem retirada de (Cha et al., 2019).

O conhecimento sobre as áreas de um implante e a sua dificuldade de acesso é importante para o desenvolvimento de instrumentos mais eficientes ou técnicas, que visam a remoção completa do biofilme como principal fator no tratamento da peri-implantite (Steiger-Ronay et al., 2017).

Um estudo de Steiger-Ronay et al. (2017), observou que a superfície da espira virada para apical, isto é, a área inferior da espira, apresenta um elevado grau de dificuldade de acesso, independentemente da técnica de aproximação e instrumentação. Nesse sentido, o desenvolvimento de novos instrumentos deveria concentrar-se no desbridamento efetivo destas áreas cruciais a fim de permitir resultados fiáveis e previsíveis no tratamento da peri-implantite (Steiger-Ronay et al., 2017).

4. Técnicas de descontaminação dos implantes

Foi realizada uma revisão de literatura com o intuito de conhecer o estado atual da evidência científica relativamente às técnicas de descontaminação. Esta revisão teve como objetivo a comparação de diferentes métodos de descontaminação de implantes, tendo a pesquisa sido efetuada nas plataformas de bases de dados “*Pubmed*”, “*Google Scholar*” e “*Elsevier*”. Para esta recolha foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “peri-implantitis”, “treatment of peri-implantitis”, “decontamination of dental implants”. Foram selecionados artigos publicados entre 2014 e 2022.

Na tabela 2 encontram-se 21 artigos que abrangem estudos “in vitro”, “in vivo” e “ex vivo”, onde foram testados e comparados diferentes métodos de descontaminação em implantes e discos de titânio.

Tabela 2: Estudos experimentais de comparação de métodos de descontaminação de implantes ou discos de titânio.

Autor, Ano	Tipo de Estudo e Amostra	Objetivos	Protocolos	Resultados
Drago et al., 2014	<i>In vitro</i> Discos de titânio (n=18)	Comparação entre os sistemas de jato de partículas de eritritol e de glicina	Jato de água – controlo (n=6) Jato de glicina (n=6) Jato de eritritol-clorhexidina (n=6)	O jato de eritritol-clorhexidina parece ser uma alternativa valiosa ao tratamento com glicina. A combinação de um antimicrobiano, como a clorexidina, com o eritritol, pode ajudar a superar as limitações do controlo químico de infeções associadas ao biofilme
Al-Hashedi et al., 2016	<i>In vitro</i> Discos de titânio (n=48)	Avaliar o efeito de quatro métodos de descontaminação sobre a química da superfície e a carga bacteriana de superfícies de implantes contaminadas com biofilme	Curetas metálicas com irrigação (n=12) Curetas de plástico com irrigação (n=12) Escovas de titânio com irrigação (n=12) Laser Er:YAG com irrigação (n=12)	O laser Er:YAG apresenta atividade bactericida, no entanto, as escovas de titânio demonstraram superioridade na descontaminação, relativamente aos restantes métodos. Apesar disto, nenhum protocolo restabeleceu a química original da superfície dos discos

Hentenaar et al., 2017	<i>In vivo</i> Implantes (n=53)	Avaliar a eficácia microbiológica e clínica do ácido fosfórico como agente descontaminante da superfície de implantes durante o tratamento cirúrgico da peri-implantite	Gel de ácido fosfórico 35% (ph 1) (1 minuto) (n=31) Irrigação com soro (1 minuto) (n=22)	A descontaminação da superfície do implante com aplicação do ácido fosfórico após o desbridamento mecânico é superior quando comparado com o uso de soro. No entanto, o ácido fosfórico 35% como descontaminante da superfície não parece melhorar os resultados clínicos num <i>follow-up</i> de 3 meses
Alotaibi et al., 2018	<i>Ex vivo</i> Implantes (n=24): Osseotite® (n=12); Ti-Unite® (n=12)	Investigar se é possível atingir uma completa descontaminação da superfície de implantes dentários com características de superfície diferentes	Escovas de titânio + peróxido de hidrogénio 3% (1 minuto) (n=24)	A descontaminação mecânica com escovas de titânio suplementada com peróxido de hidrogénio 3% (1 minuto) consegue alcançar uma completa descontaminação. No entanto, foram observadas alterações da topografia em ambas as superfícies de estudo
Schlee et al., 2019	<i>In vivo</i> Implantes (n=24)	Avaliar os resultados de seis meses após cirurgia regenerativa de lesões de	Jato de eritritol + Descontaminação eletrolítica (n=12)	A limpeza electrolítica de implantes contaminados possibilita a completa reosteointegração. Isto foi

		peri-implantite usando um método electrolítico (EC) ou uma combinação de jateamento de partículas com um método electrolítico (PEC) para remover biofilmes	Descontaminação eletrolítica (n=12)	conseguido em 50% dos casos. A limpeza mecânica adicional com o jateamento de partículas não apresentou vantagens adicionais nos resultados
Keim et al., 2019	<i>In vitro</i> Implantes (n=180)	Avaliação da eficácia de três métodos diferentes de descontaminação da superfície de implantes num modelo de defeito ósseo peri-implantar	Curetas metálicas (n=60) Destartarizador (n=60) Jato de glicina (n=60)	O jato abrasivo de glicina demonstrou ser o método mais eficaz e que provocou menos alterações à superfície, seguido do destartarizador e, por último, das curetas
Biazussi et al., 2019	<i>In vitro</i> Discos de titânio (n=15)	Avaliar o efeito do sistema de jato de partículas na superfície do pilar do implante, utilizando diferentes partículas abrasivas:	Água e ar (n=5) Água, ar e bicarbonato de sódio (n=5) Água, ar e glicina (n=5)	O pó de glicina apresenta significativamente menor capacidade de gerar rugosidades na superfície de titânio, comparativamente ao pó de bicarbonato de sódio

		bicarbonato de sódio e glicina		
Ratka et al., 2019	<i>In vitro</i> Implantes (n=72)	Investigar e comparar o efeito descontaminante entre uma abordagem eletrolítica e um sistema de jato de partículas em superfícies de titânio	Jato de glicina (n=30) Descontaminação eletrolítica (n=30)	As diferenças foram estatisticamente significativas e, contrariamente ao sistema de jato de partículas, não foi possível a multiplicação bacteriana em implantes descontaminados com o processo eletrolítico
Matsubara et al., 2020	<i>In vitro</i> Implantes (n=20)	Avaliar o potencial de limpeza de várias partículas abrasivas e o seu efeito nas superfícies de implantes de titânio	Jato de eritról (n=5) Jato de glicina (n=5) Jato de bicarbonato de sódio (n=5)	O jato de bicarbonato de sódio demonstrou maior eficácia na remoção do pigmento da superfície dos implantes, no entanto provocou maiores alterações na superfície. Os jatos de eritról e de glicina não provocaram alterações na rugosidade da superfície, mas demonstraram uma capacidade limitada na remoção do pigmento da superfície dos implantes
Furtsev & Zeer, 2020	<i>Ex vivo</i>	Analisar a eficácia de limpeza e alteração da	Jato de eritról (n=3)	O sistema de jateamento de eritról demonstrou elevada capacidade de

	Implantes (n=6):	composição morfológica de implantes quando se utiliza o jato de eritritol		descontaminar a superfície dos implantes. Além disso, a superfície não sofreu alterações com o tratamento
El Chaar et al., 2020	<i>Ex vivo</i> Implantes (n=7)	Testar a eficácia de diferentes métodos de tratamento, na remoção dos resíduos biológicos de superfícies infetadas de implantes, utilizando a microscopia eletrônica de varrimento como método de avaliação	Grupo A (n=3) - sequência de tratamento: soro, peróxido de hidrogénio 3%, gel de ácido fosfórico 35%, gluconato de clorhexidina 0,12%, e ácido cítrico 40% Grupo B (n=3): implantoplastia (n=1), jato de partículas de bicarbonato de sódio (n=1), escova de titânio (TiBrush) (n=1) Grupo C (n=1): laser Er: YAG	No grupo A, todos os métodos foram classificados como 0 (sem remoção do biofilme). No grupo B, o jato de bicarbonato de sódio e as escovas de titânio foram classificados como 1 (alguma remoção do biofilme) e a implantoplastia como 2 (total remoção do biofilme). No grupo C, o laser Er:YAG foi classificado como 1 (alguma remoção do biofilme)
Passarelli et al., 2020	<i>In vitro</i> Implantes (n=14)	Investigar e comparar a eficácia de descontaminação da clorhexidina e do sistema de	Clorhexidina 0,2% (n=6) Jato de bicarbonato de sódio + Clorhexidina 0,2% (n=6)	Maior eficácia de descontaminação com a combinação do jato de partículas de bicarbonato de sódio e posterior imersão em clorhexidina

		jato de bicarbonato de sódio em implantes contaminados com <i>Candida albicans</i>		0,2%, comparativamente ao uso isolado de clorhexidina 0,2%
Mensi et al., 2020	<i>In vitro</i> Implantes (n=64)	Comparar o potencial de limpeza de quatro métodos não cirúrgicos comumente utilizados no desbridamento de implantes	Destartarizador com ponta de aço inoxidável (n=16) Destartarizador com ponta de plástico (n=16) Jato de eritritol (n=16) Jato de glicina (n=16)	O sistema de jateamento de partículas foi o mais eficaz, em termos de remoção da tinta da superfície dos implantes. No entanto, continua por clarificar qual a partícula, entre o eritritol e a glicina, com maior potencial de limpeza e que seja recomendada no desbridamento dos implantes
Otsuki et al., 2020	<i>Ex vivo</i> Implantes (n=66) – superfície rugosa; superfície maquinada	Avaliar o efeito de vários métodos representativos de descontaminação de biofilmes orais em diferentes superfícies de implantes	Gaze embebida em soro (n=6) Destartarizador (n=6) Jato de glicina (n=6) Escova de aço inoxidável (n=6)	A gaze, a escova de aço inoxidável e o jato abrasivo demonstraram uma maior capacidade de remover os biofilmes quando comparados com os restantes métodos, em ambas as superfícies de estudo. Concluíram também que todos os métodos, à exceção do laser, demonstraram ser

				mais eficazes em implantes com a superfície maquinada comparando com a superfície rugosa
Kubasiewicz-Ross et al., 2020	<i>In vitro</i> Implantes (n=30): Superfície maquinada (n=10); Superfície SLA (n=10); Superfície revestida por HA (n=10)	Avaliar diferentes métodos de descontaminação da superfície de implantes e perceber se o tipo de superfície influencia os resultados	Destartarizador (n=6) Destartarizador + Perisolv® (n=6) Laser Er: YAG (n=6) Terapia fotodinâmica com azul de metileno 0,005 % (n=6)	Superioridade do laser Er:YAG e da combinação do destartarizador com o Perisolv® nos implantes SLA (<i>Sandblasted, large grit, acid-etched</i>) e nos implantes maquinados. Relativamente aos implantes revestidos por hidroxiapatite (HA), a melhor opção de tratamento demonstrou ser o laser Er:YAG
Pranno et al., 2020	<i>Ex vivo</i> Implantes (n=80)	Comparar, utilizando um modelo <i>ex vivo</i> , a remoção do biofilme de três métodos de descontaminação de implantes	Mecânicos (n=20): Jato de bicarbonato de sódio + jato de glicina Químicos (n=20): peróxido de hidrogénio 3% + gluconato de clorohexidina 0,2% Mecânicos + Químicos (n=20)	O método mecânico demonstrou ser mais eficaz em relação ao químico, sendo que a combinação dos dois não apresentou diferenças estatisticamente significativas

Sanz-Martín et al., 2020	<i>In vitro</i> Implantes (n= 96): 4 grupos diferentes (n=24)	Avaliar a eficácia de três métodos mecânicos de descontaminação em quatro tipos de implantes comercialmente disponíveis	Escovas de titânio (n=32 – 8 de cada grupo) Destartarizador (n=32 – 8 de cada grupo) Jato de glicina (n=32 – 8 de cada grupo)	A eficácia do jato de glicina foi significativamente inferior à eficácia das escovas de titânio e do destartarizador, no entanto não houve diferenças estatisticamente significativas entre estes dois últimos
Batalha et al., 2021	<i>In vitro</i> Implantes (n=20)	Avaliar a eficácia de dois protocolos de descontaminação de implantes dentários	Escovagem com soro (n=4) Escovagem com soro + jato de bicarbonato de sódio (n=4) Escovagem com soro + terapia fotodinâmica antimicrobiana (n=4)	Ambos os protocolos que envolviam o jato de bicarbonato e a terapia fotodinâmica demonstraram ser eficazes, no entanto, não na totalidade
Amate-Fernández et al., 2021	<i>In vitro</i> Implantes (n=52)	Determinar se uma formulação de eritritol e clorhexidina aplicada com um sistema de jato inibe o crescimento do biofilme sobre implantes dentários e comparar a capacidade de descontaminação desta	Jato de eritritol com cloroheixidina 3% (n=19) Gaze embebida em soro (n=19)	A combinação do jato de eritritol com cloroheixidina 3% tem a capacidade de inibir a recolonização de superfícies recentemente descontaminadas. Por outro lado, estes métodos demonstraram capacidades de descontaminação

		terapia com a de remoção mecânica com uma gaze embebida em soro fisiológico		similares em biofilmes orais já estabelecidos
AlMoharib et al., 2021	<i>In vitro</i> Discos de titânio (n=59)	Comparar a eficácia da remoção de biofilmes de superfícies de titânio por laser Er:YAG, escovas de titânio, e curetas de carbono	Laser Er:YAG (n=16) Escovas de titânio (n=16) Curetas de carbono (n=16)	O laser Er:YAG não demonstrou uma eficácia significativamente maior na remoção do biofilme em comparação com as escovas de titânio e com as curetas de carbono comumente usadas
Hentenaar et al., 2022	<i>In vivo</i> Implantes (n= 93)	Comparar o sistema de jato de eritritol com a limpeza de superfícies de implantes utilizando soro durante o tratamento cirúrgico da peri-implantite	Jato de eritritol (n=53) Gaze embebida em soro (n=40)	O jato de eritritol como método de limpeza de superfícies de implantes não demonstrou ser mais eficaz comparando com o soro fisiológico, em termos de parâmetros clínicos, radiográficos e microbiológicos, durante o tratamento cirúrgico ressectivo da peri-implantite. Ambas as terapias resultaram em tratamentos de baixo sucesso

A revisão bibliográfica efetuada revelou que não existe ainda um método de descontaminação da superfície de implantes de titânio que possa ser considerado melhor e mais eficaz em comparação com os restantes métodos existentes.

Alguns métodos como escovas de titânio, sistemas de jateamento de partículas e, mais recentemente, a descontaminação eletrolítica têm vindo a demonstrar bons resultados na descontaminação de superfícies de titânio, tendo cada um destes métodos um impacto diferente na sua estrutura superficial. Contudo, não foi detetado nenhum estudo que comparasse estas técnicas de descontaminação sob as mesmas condições.

Posto isto, e considerando o facto de que são protocolos que apresentam bons resultados na descontaminação de implantes, propôs-se comparar a eficácia entre estes, analisando também o efeito de cada um deles na estrutura superficial de titânio, e perceber se algum deles pode ser considerado um método de descontaminação superior em relação aos restantes testados.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESES

1. Objetivos do estudo

O objetivo deste estudo piloto “in vitro” foi comparar a eficácia do sistema de jato de eritritol (*PerioFlow*[®]), do protocolo de descontaminação eletrolítico (*Galvosurge*[®]) e de dois modelos de escovas de titânio (*R-Brush*[®] e *i-Brush*[®]) na remoção de biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* de implantes de titânio, e verificar se estas metodologias alteram a superfície do implante, analisando de uma forma qualitativa a sua rugosidade com auxílio da microscopia eletrónica de varrimento (MEV).

2. Hipóteses de estudo

2.1. Eficácia da descontaminação da superfície dos implantes determinada por contagem de colónias em meio *Mueller-Hinton*

- H0: Não existem diferenças estatisticamente significativas entre os vários métodos de estudo relativamente à descontaminação dos implantes.
- H1: Existem diferenças estatisticamente significativas entre os vários métodos de estudo relativamente à descontaminação dos implantes.

2.2. Alteração da superfície dos implantes determinada por microscopia eletrónica de varrimento (MEV)

- H0: Não existem diferenças notórias entre os vários métodos relativamente à alteração da superfície dos implantes.
- H1: Existem diferenças notórias entre os vários métodos de estudo relativamente à alteração da superfície dos implantes.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

1. Tipo de estudo

Estudo de investigação piloto experimental “*in vitro*”.

2. Local de realização do estudo

Este estudo foi realizado no Laboratório de Microbiologia do Instituto Universitário Egas Moniz, no Laboratório de Microscopia Eletrónica de Varrimento do Centro de Investigação Interdisciplinar da Egas Moniz e na Clínica Dentária FaceArt.

3. Amostra

A amostra foi constituída por 40 implantes de titânio, sendo que 20 implantes são de superfície SLA (*Sandblast, Large-Grit, and Acid Etching*), 10 são de superfície Nano (imersão em diferentes ácidos com temperaturas devidamente controladas), e os restantes 10 são de uma superfície SMA (*Sandblast, Medium-Grit and Acid Etching*).

Cada grupo de estudo tem 8 implantes sendo que 4 são superfície SLA, 2 são superfície Nano e 2 são superfície SMA.

4. Materiais

- N= 40 implantes de titânio (n= 8 em cada grupo de estudo)
- Pó de eritritol – *AirFlow® Plus Powder*
- *PerioFlow® Handpiece*
- *Galvosurge® Control Unit GS 1000*
- *Galvosurge® Dental Implant Cleaning Set*
- Escovas de titânio (*R-brush®* e *i-Brush®*)
- Placas de 12 poços (*JetBiofil®*)

5. Grupos de estudo

Grupos de estudo (n=8):

Grupo C (grupo controlo): implantes contaminados, sem serem submetidos a nenhum tipo de protocolo de descontaminação;

Grupo DE: implantes contaminados, submetidos ao protocolo de descontaminação eletrolítico;

Grupo JE: implantes contaminados, submetidos ao tratamento com o jato de eritritol;

Grupo RB: implantes contaminados, submetidos ao tratamento com *R-Brush*[®];

Grupo IB: implantes contaminados, submetidos ao tratamento com *i-Brush*[®].

6. Protocolo experimental

Modelo da peri-implantite in vitro

Os implantes foram imobilizados em modelos de acrílico com um defeito cônico no centro e um orifício de acesso para inserção dos implantes (figura 4).



Figura 4: Modelo de acrílico de um alvéolo onde foram imobilizados os implantes.

Montagem dos implantes

1. Colocação dos suportes de acrílico em placas de 12 poços (*JetBiofil*; Guangzhou, China).
2. Colocação dos implantes nos acrílicos.
3. Medição da porção de implante que será exposta ao tratamento e posterior colocação das respetivas tampas.

4. Inversão dos acrílicos para novos poços de acordo com o esquema (figuras 5 e 6).

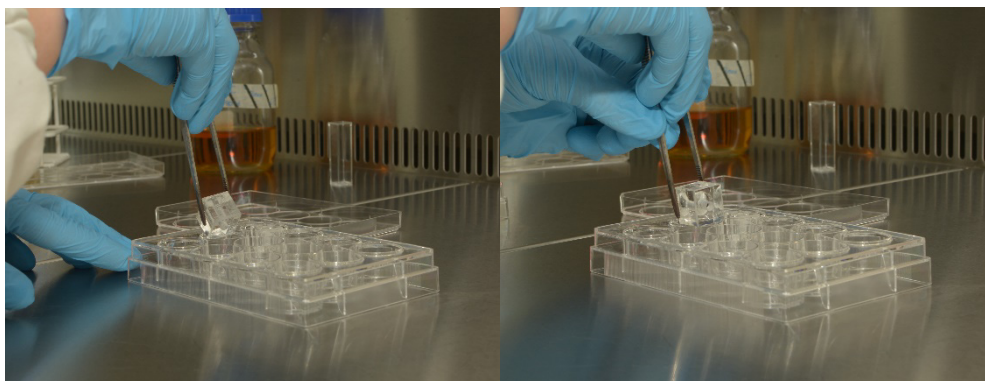


Figura 5: Sequência de inversão de um alvéolo de acrílico apresentado na figura anterior.

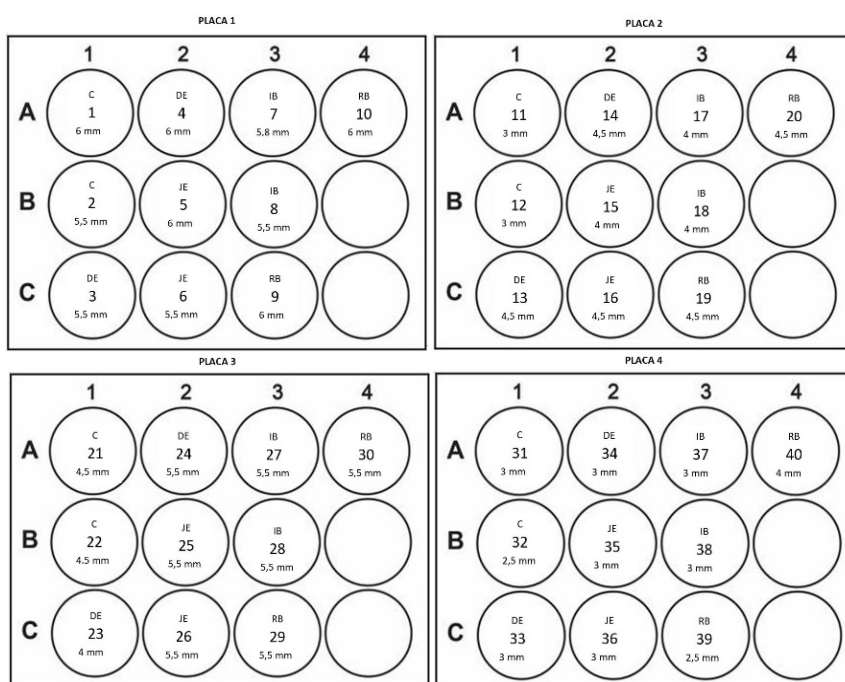


Figura 6: Esquemas de colocação das amostras nos poços. Os valores (mm) correspondem à altura de cada implante imersa no inóculo bacteriano (*P. aeruginosa*).

Preparação do inóculo bacteriano

1. Repicar *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 a partir de *stock* em meio *Mueller-Hinton* agar (*HiMedia Laboratories*, Índia) e incubar a 37° durante 24 horas.
2. A partir desta cultura, é realizado um inóculo em meio BHI (*Brain Heart Infusion*; VWR, Bélgica), em que algumas colónias são suspensas no meio e posterior leitura de densidade ótica (DO) a 600 nm, em espetofetómetro (Zuzi, *Spectrophotometer Model 4101*), que deve ser acertada até compreender valores entre 0,095 e 0,110, o que corresponde aproximadamente a 10^8 UFCs/mL.

3. A partir desta suspensão é realizada uma diluição de 1:100 e esta servirá para inocular (1,5 mL) os poços contendo os implantes e incubar a 37° durante 24 horas.
4. Lavagem dos biofilmes formados nos implantes através de imersão dosacrílicos invertidos em poço contendo 2 mL de PBS (*Phosphate-Buffered Saline; Fisher Scientific*, Reino Unido).
5. Transferência dosacrílicos com os implantes para novas placas de 12 poços estéreis, colocando-os na posição inicial (não invertida) e remoção da tampa.

Tratamento dos implantes

1. Descontaminação eletrolítica (figura 7):

Dispositivo de descontaminação eletrolítico com recurso a correntes galvânicas (*Galvosurge; Galvosurge Dental AG*, Widnau, Suíça), utilizado consoante as indicações do fabricante. A cabeça do equipamento é encaixada no interior do implante e pressionada durante todo o processo de limpeza. A solução de limpeza é bombeada e, através de uma corrente galvânica, formam-se bolhas de hidrogénio na superfície do implante para libertar o biofilme nele aderido. O equipamento deixa de funcionar automaticamente quando atinge 100%.



Figura 7: Descontaminação eletrolítica. a) Encaixe da cabeça do equipamento no implante; b) Galvosurge® Cleaning Solution; c) Descontaminação eletrolítica da amostra.

2. Jato de eritritol (figura 8):

Dispositivo de jateamento de partículas abrasivas à base de eritritol, com uma ponta de plástico (*Perioflow; SEM*, Nyon, Suíça). Foi realizado o jateamento da amostra com partículas de eritritol-clorhexidina, sob irrigação com água e movimentos verticais

oscilatórios ao redor do implante durante 1 minuto. A descontaminação da superfície é realizada pelo impacto das partículas e o seu poder minimamente abrasivo.

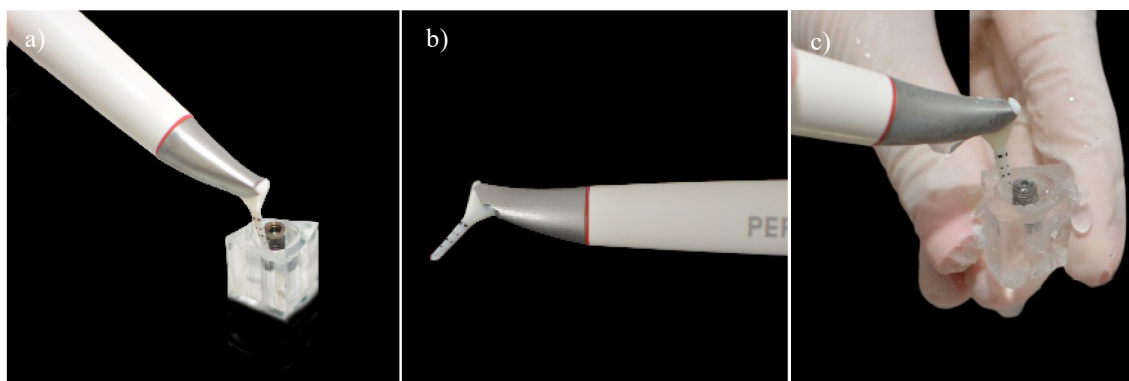


Figura 8: Descontaminação com o jato de eritritol a) Ponta do *Perioflow*® *Handpiece* na bolsa do modelo de acrílico; b) *Perioflow*® *Handpiece*; c) Jateamento da amostra.

3. Desbridamento mecânico com *R-Brush*® (figura 9):

Escova rotatória de titânio (5,6 mm de diâmetro; *R-Brush*, *NeoBiotech*, Seul, Coreia do Sul) utilizada sob irrigação com água, e movimentos verticais oscilatórios durante 1 minuto. As cerdas da escova abraçam as espiras do implante e desagregam mecanicamente o biofilme associado à superfície.

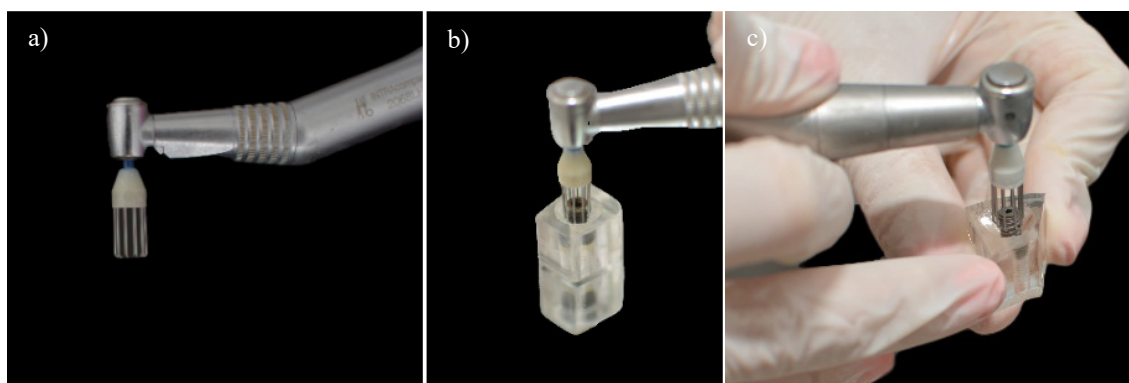


Figura 9: Desbridamento mecânico com *R-Brush*®. a) *R-Brush*®; b) *R-Brush*® encaixada no implante; c) Desbridamento da amostra.

4. Desbridamento mecânico com *i-Brush*® (figura 10):

Escova rotatória de titânio de cerdas inoxidáveis (*i-Brush*, *NeoBiotech*, Seul, Coreia do Sul), utilizada sob irrigação com água e movimentos verticais oscilatórios durante 1 minuto em redor do implante. As cerdas da escova, ao contactarem com a superfície do

implante, vão desagregar o biofilme e assim realizar o desbridamento mecânico da amostra.

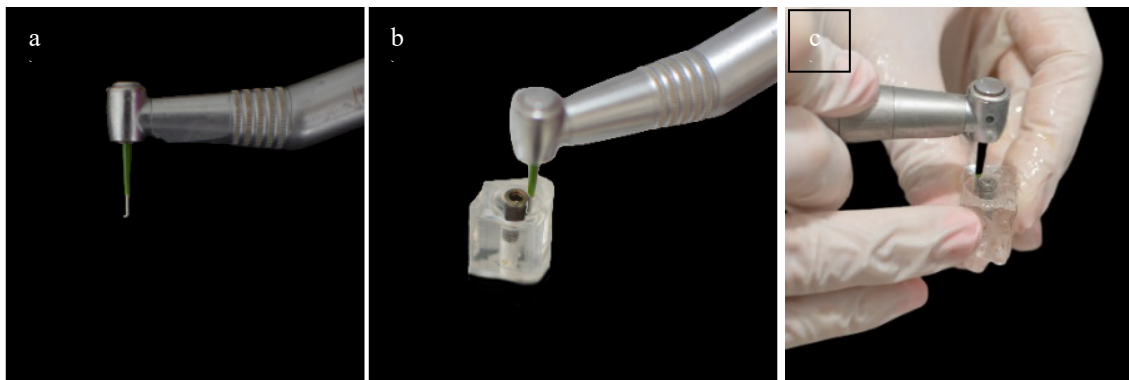


Figura 10: Desbridamento mecânico com *i-Brush*®. a) *i-Brush*®; b) *i-Brush*® colocada na bolsa do modelo de acrílico; c) Desbridamento da amostra.

Determinação de unidades formadoras de colônias – UFCs

1. Cada implante, não sujeito a qualquer tratamento (controle) ou após tratamento, foi retirado cuidadosamente do acrílico e colocado em poço de placa de 12 poços contendo 2 mL de PBS.
2. Cada placa de 12 poços foi fechada e selada com parafilme antes de ser colocada em banho de ultrassons (TPC *Dentsonic* UC-1000 10L *Ultrasonic Cleaner*) durante 20 min, por forma a desagregar o biofilme formado dos implantes.
3. Posteriormente, de cada poço contendo o biofilme desagregado e suspenso em PBS, foram retirados 100 μ L (após intensa pipetagem *up-down* para melhor homogeneização) e realizadas diluições seriadas 1:10 em PBS.
4. Para os controlos foram feitas diluições de 10^{-1} a 10^{-6} e para as condições tratadas, realizaram-se diluições de 10^{-1} a 10^{-4} .
5. Seguidamente, plaquearam-se 100 μ L das quatro últimas diluições (10^{-3} a 10^{-6} no caso das condições controle, e 10^{-1} a 10^{-4} no caso das condições de tratamento), por espalhamento em placas de *Mueller-Hinton* agar, que, posteriormente, foram incubadas, *overnight*, a 37°C.
6. No dia seguinte, fizeram-se as contagens a olho e calcularam-se valores de UFCs/cm² para cada condição.
7. A área (cm²) do implante onde se formou o biofilme foi calculada através da seguinte fórmula $A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$, em que “r” é o raio do implante, e “h” é a altura imersa no inóculo.

Observação ao microscópio eletrônico de varrimento (MEV)

1. As amostras foram observadas com os seguintes parâmetros:
 - Magnificação de 350x;
 - Distância de trabalho (WD) de 40 mm;
 - Alta voltagem de 30 kV.
2. De seguida, as imagens foram editadas com o programa *GNU Image Manipulation Program* - gimp-2.10.

Análise estatística

As diferenças em termos de número de colónias bacterianas (UFC/cm²) entre os grupos controlo e tratamento foram alvo de análise estatística descritiva. Nos implantes de titânio puro, as diferenças entre os grupos de estudo foram avaliadas por ANOVA unidirecional com o teste de comparações múltiplas de *Tukey*. Os testes de hipótese foram de duas caudas e os valores de $P < 0,05$ foram considerados significativos.

IV. RESULTADOS

1. Análise quantitativa

1.1. Contagem de Unidades Formadoras de Colónias (UFCs)

A contagem de unidades formadoras de colónias (UFCs) foi efetuada manualmente em placas de Petri contendo entre 30 e 300 colónias. Em seguida foi calculada a média e o desvio padrão de cada grupo de estudo para cada superfície individualmente (Nano, SLA e SMA) e para a amostra dos implantes de titânio puro (SLA e Nano).

O número de bactérias removido dos implantes Nano, SLA e SMA após os diferentes tipos de tratamento (DE, JE, IB e RB) foi sempre inferior ao removido dos implantes controlo (sem nenhum tratamento) (tabelas 3, 4 e 5 e figuras 11, 12 e 13). Adicionalmente, nos implantes de superfície Nano e SMA, o grupo IB apresentou maiores valores de UFC/cm², enquanto nos implantes de superfície SLA, o grupo RB apresentou um valor mais elevado em relação aos restantes grupos de tratamento. Por outro lado, o grupo JE (jato de eritritol) apresentou menores valores de UFC/cm², comparativamente aos restantes grupos, nas três superfícies em estudo (tabelas 3, 4 e 5). Estes dados sugerem que o jato de eritritol é o melhor método de descontaminação de implantes e que o método com escovas de titânio é o pior método de descontaminação.

Durante a execução do protocolo nos implantes de superfície Nano, por motivos desconhecidos, num dos grupos “controlo” não foi possível observar qualquer crescimento significativo de UFCs, pelo que esse dado não foi introduzido na análise estatística (tabela 3).

Tabela 3: Número de bactérias (log₁₀ UFC/cm²) removidas dos implantes Nano após os diferentes tipos de tratamento.

Log ₁₀ UFC/cm ²	Controlo	DE	JE	IB	RB
Média	9,130334	7,095104	5,352075	7,486947	7,352838
Desvio padrão		0,633173	0,123401	0,272209	0,117839

DE: Descontaminação eletrolítica; JE: Jato de eritritol; IB: *i-Brush*[®]; RB: *R-Brush*[®].

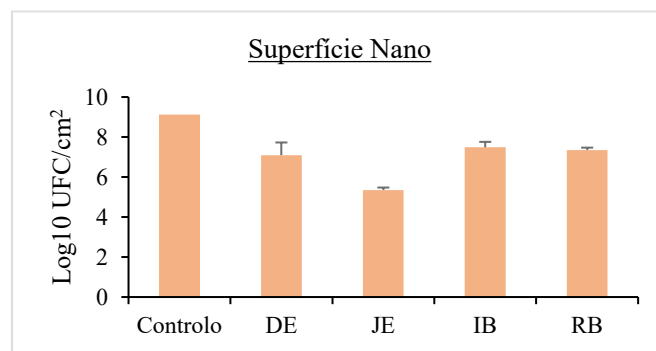


Figura 11: Número de bactérias removidas dos implantes após: Descontaminação eletrolítica (DE); Jato de eritritol (JE); *i-Brush*® (IB) e *R-Brush*® (RB).

Tabela 4: Número de bactérias (log10 UFC/cm²) removidas dos implantes SLA após os diferentes tipos de tratamento.

Log ₁₀ UFC/cm ²	Controlo	DE	JE	IB	RB
Média	8,3993553	6,460509	5,856512	6,325957	6,740406
Desvio padrão	0,221012	0,799142	0,353607	0,028095	0,043974

DE: Descontaminação eletrolítica; JE: Jato de eritritol; IB: *i-Brush*®; RB: *R-Brush*®.

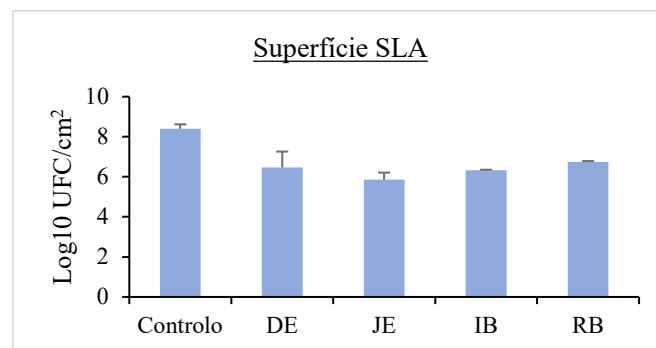


Figura 12: Número de bactérias removidas dos implantes após: Descontaminação eletrolítica (DE); Jato de eritritol (JE); *i-Brush*® (IB) e *R-Brush*® (RB).

Tabela 5: Número de bactérias (log10 UFC/cm²) removidas dos implantes SMA após os diferentes tipos de tratamento.

Log ₁₀ UFC/cm ²	Controlo	DE	JE	IB	RB
Média	7,799758	5,789589	5,185571	6,823267	6,551608
Desvio padrão	0,0535	1,694969	0,187373	0,11058	0,16778

DE: Descontaminação eletrolítica; JE: Jato de eritritol; IB: *i-Brush*®; RB: *R-Brush*®.

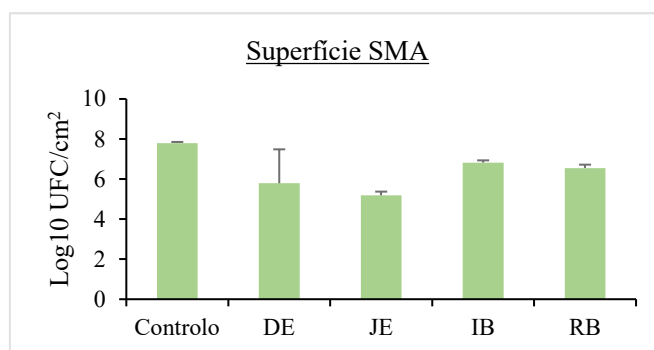


Figura 13: Número de bactérias removidas dos implantes após: Descontaminação eletrolítica (DE); Jato de eritritol (JE); *i-Brush*® (IB) e *R-Brush*® (RB).

De outro ponto de vista, como mencionado anteriormente, sabe-se que a adesão da *P. aeruginosa* está correlacionada com a composição química da superfície de titânio (Nunes Filho et al., 2018). Ambas as superfícies SLA e Nano são de titânio puro, enquanto a superfície SMA é constituída por uma liga de titânio. Com estes dados, calculou-se a média e desvio padrão dos implantes de titânio puro, ou seja, a combinação dos dados da superfície SLA com os da superfície Nano. Analisando esta amostra, obteve-se um menor número de UFC/cm² nos grupos de tratamento em comparação com o grupo controlo, enumerando-os de forma crescente em JE ($\text{Log}_{10} \text{UFC/cm}^2 = 5,688 \pm 1,055$), DE ($\text{Log}_{10} \text{UFC/cm}^2 = 6,672 \pm 0,935$), IB ($\text{Log}_{10} \text{UFC/cm}^2 = 6,713 \pm 0,679$) e RB ($\text{Log}_{10} \text{UFC/cm}^2 = 6,945 \pm 0,408$) (tabela 6).

A análise ANOVA com o teste de comparações múltiplas de *Tukey* (figura 14), permitiu avaliar as diferenças entre os grupos, salientando uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre o grupo controlo e os diferentes grupos de tratamento. No entanto, na comparação entre os grupos de tratamento (T1, T2, T3 e T4) não foi possível obter diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes métodos de descontaminação.

Tabela 6: Número de bactérias ($\text{log}_{10} \text{UFC/cm}^2$) removidas dos implantes de titânio puro após os diferentes tipos de tratamento.

$\text{Log}_{10} \text{UFC/cm}^2$	Controlo	DE	JE	IB	RB
Média	8,545551	6,67204	5,688367	6,712954	6,94455
Desvio padrão	0,4487784	0,934877	1,05478	0,678922	0,408224

DE: Descontaminação eletrolítica; JE: Jato de eritritol; IB: *i-Brush*®; RB: *R-Brush*®.

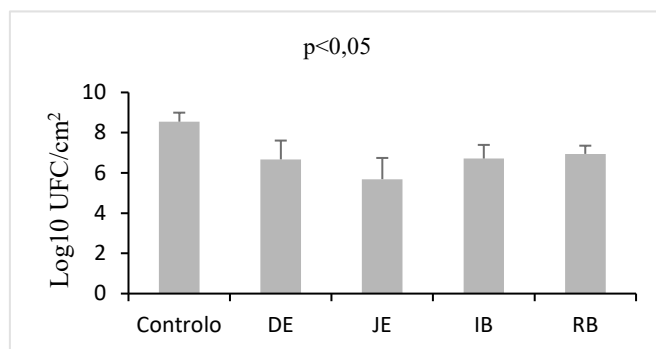


Figura 14: Número de bactérias removidas dos implantes após: Descontaminação eletrolítica (DE); Jato de eritritol (JE); *i-Brush*® (IB) e *R-Brush*® (RB). O valor $p<0,05$ representa a diferença entre o grupo controlo e os diferentes grupos tratamento.

2. Análise qualitativa – Microscopia eletrónica de varrimento

Foram obtidas imagens ao microscópio eletrónico de varrimento (MEV) das amostras dos grupos de estudo representados na tabela 7.

Tabela 7: Grupos de estudo e respetivos tratamentos.

Grupo C Controlo (n=8)	Grupo DE Descontaminação Eletrolítica (n=8)	Grupo JE Jato de Eritritol (n=8)	Grupo IB <i>i-Brush</i> ® (n=8)	Grupo RB <i>R-Brush</i> ® (n=8)
Sem tratamento	Descontaminação eletrolítica até o equipamento dar o sinal de concluído	Jateamento com partículas de eritritol-clorhexidina (1 min)	Desbridamento mecânico com <i>i-Brush</i> ® com irrigação (1 min)	Desbridamento mecânico com <i>R-Brush</i> ® com irrigação (1 min)

Em cada grupo foram avaliadas as respetivas 8 amostras e em cada amostra foi observada a área do vale entre as espiras, em 2 zonas distintas do implante (figura 15), dando um total de 16 imagens por grupo. A análise foi dividida em 3 grupos adicionais, de acordo com as diferentes superfícies em estudo (Nano, SLA e SMA). Na figura 16 podemos observar a vista principal do vale entre as espiras, das superfícies Nano, SLA e SMA após o tratamento de cada grupo.

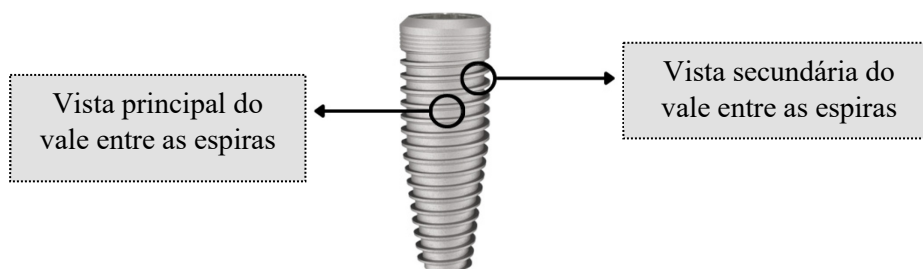


Figura 15: Imagem demonstrativa das duas zonas observadas em cada amostra.

No grupo controlo, das três superfícies em estudo, não foi aplicado nenhum tipo de tratamento, ou seja, a observação dos implantes deste grupo permitiu observar a superfície original de cada um deles e, assim, comparar com os diferentes grupos de tratamento (DE, JE, IB e RB).

Foi possível destacar uma alteração notória da superfície dos implantes tratados com *i-Brush*[®] e *R-Brush*[®]. Além do mais, analisando o impacto destas duas escovas, parece haver uma maior alteração nas superfícies instrumentadas com *i-Brush*[®].

Para complementar esta análise, foram comparadas as três superfícies estudadas, podendo afirmar-se que, apesar de todas as imagens correspondentes aos grupos IB e RB apresentarem alterações óbvias, as superfícies SLA aparentam ter sofrido uma maior alteração, visto que são visíveis delineamentos compatíveis com riscos provocados pelas cerdas das escovas de titânio. Nos grupos DE e JE, não são observadas alterações nas diferentes superfícies, quando comparadas com o grupo controlo.

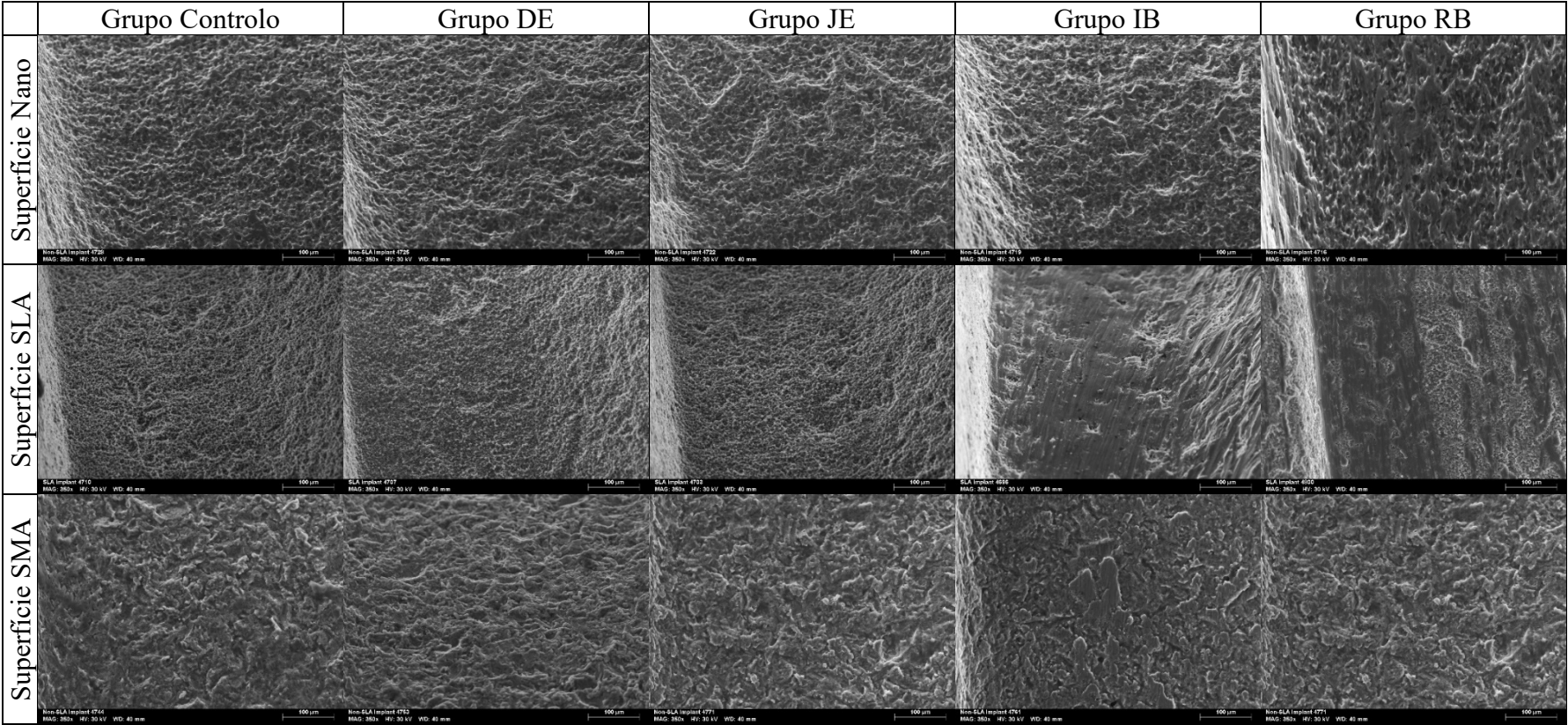


Figura 16: Análise da superfície com microscópio eletrónico de varrimento (vista principal). DE: Descontaminação eletrolítica; JE: Jato de eritritol; IB: *i-Brush*[®]; RB: *R-Brush*[®]. Nas imagens correspondentes ao grupo IB e RB é possível observar alterações notórias da superfície dos implantes.

V. DISCUSSÃO

O objetivo deste trabalho de investigação *in vitro* foi comparar a eficácia entre o sistema de jato de eritritol (PerioFlow[®]), o protocolo de descontaminação eletrolítico (Galvosurge[®]) e dois modelos de escovas de titânio (*R-Brush*[®] e *i-Brush*[®]) na remoção de biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* de implantes, e verificar se estas metodologias alteram a superfície dos mesmos, através da microscopia eletrónica de varrimento (MEV). Este estudo pioneiro visou demonstrar se existem diferenças quantitativas e qualitativas entre os quatro métodos.

A *P. aeruginosa* é uma bactéria Gram negativa e pode ser cultivada facilmente numa grande variedade de condições e temperaturas, apresentando elevada capacidade de adesão às superfícies (LaBauve & Wargo, 2012). Por estes motivos, a *P. aeruginosa* foi escolhida como bactéria modelo a utilizar nesta investigação.

Na análise quantitativa, a contagem de unidades formadoras de colónias é considerada o método mais amplamente utilizado para estimar a viabilidade das células do biofilme e quantificá-las (Alotaibi et al., 2018; Azeredo et al., 2017; Batalha et al., 2021; Kubasiewicz-Ross et al., 2020; Otsuki et al., 2020; Pranno et al., 2020; Ratka et al., 2019).). Assim, na presente investigação recorreu-se à contagem de unidades formadoras de colónias (UFCs) para a quantificação das bactérias remanescentes tanto nos grupos controlo, como após a aplicação de cada tratamento.

Os resultados demonstraram que a descontaminação eletrolítica, o jato de eritritol e as escovas de titânio reduziram significativamente a carga bacteriana das superfícies dos implantes de titânio, contudo, nenhum método conseguiu a total descontaminação das amostras. Adicionalmente, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tipos de tratamento de descontaminação. No entanto, foi possível observar uma menor contagem de bactérias (UFC/cm²) nos implantes tratados com o sistema de jateamento de partículas, o que indica uma tendência de superioridade deste método em relação aos outros.

Tanto quanto é do nosso conhecimento, não existem estudos *in vitro* realizados sob as mesmas condições que comparem a eficácia dos métodos de descontaminação avaliados neste estudo, sendo assim um desafio fazer uma comparação direta destas descobertas com as anteriormente relatadas na literatura.

Diferentes métodos mecânicos como as curetas, escovas de titânio, destartarizadores ou sistemas de jateamento de partículas têm sido estudados, e apesar de

demonstrarem sucesso no desbridamento de superfícies contaminadas, sabe-se que estes podem causar alterações na microestrutura dos implantes (Al-Hashedi et al., 2016).

Quanto à análise qualitativa, a MEV é comumente utilizada, pois tem a capacidade de providenciar informação sobre a topografia da superfície das amostras (Vernon-Parry, 2000). Seguindo a estrutura de diversos estudos, neste estudo piloto, optou-se por fazer uma análise qualitativa da superfície dos implantes após tratamento para descontaminação por MEV (Al-Hashedi et al., 2016; Alotaibi et al., 2018; Amate-Fernández et al., 2021; el Chaar et al., 2020; Furtsev & Zeer, 2020; Keim et al., 2019; Matsubara et al., 2020; Otsuki et al., 2020; Passarelli et al., 2020; Ratka et al., 2019; Sanz-Martín et al., 2020).

Não foram observadas alterações significativas nas superfícies dos implantes nos grupos DE e JE. Por outro lado, implantes instrumentados com as escovas de titânio (grupos IB e RB) apresentaram alterações notórias na superfície sob a forma de riscos, compatíveis com as cerdas das escovas. Nas imagens correspondentes aos implantes de superfície Nano e SMA, instrumentados pelas mesmas escovas, apesar de serem notórias algumas alterações, estas não são tão nítidas como as observadas nos implantes SLA.

O desbridamento mecânico do biofilme com recurso a escovas de titânio foi avaliado nos estudos de Al-Hashedi et al. (2016), AlMoharib et al. (2021), Alotaibi et al. (2018), El Chaar et al. (2020) e Sanz-Martín et al. (2020), sendo que os autores, assim como no presente estudo, verificaram alguma eficácia de descontaminação, isto é, uma redução razoável da contagem bacteriana da superfície em estudo. No entanto, o tratamento com escovas não demonstrou ser superior a outros métodos existentes e os autores, com recurso a uma análise qualitativa cuidada por MEV, relataram ainda alterações marcantes nas superfícies de titânio provocadas pelas escovas. A análise quantitativa e qualitativa dos resultados obtidos nesta investigação corrobora os estudos anteriormente referidos, isto é, as escovas de titânio apresentaram alguma eficácia de descontaminação sem evidência de superioridade comparando com os restantes métodos utilizados, e demonstraram ainda a alteração notória da superfície dos implantes instrumentados com este método.

O sistema de jato de partículas é um método amplamente estudado, maioritariamente no caso da utilização de partículas de bicarbonato de sódio (Biazussi et al., 2019; Matsubara et al., 2020; Passarelli et al., 2020; Pranno et al., 2020) e de glicina (Biazussi et al., 2019; Drago et al., 2014; Keim et al., 2019; Matsubara et al., 2020; Mensi et al., 2020; Otsuki et al., 2020; Pranno et al., 2020; Ratka et al., 2019; Sanz-Martín et al.,

2020). Matsubara et al. (2020) afirmam que, quando utilizadas partículas de dimensões menores, como glicina (25 µm) ou eritritol (14 µm), as alterações da superfície não são significativas, comparativamente ao bicarbonato de sódio (40-65 µm) dado que, este apresenta partículas de dimensões maiores e consecutivamente apresenta um maior poder abrasivo (Matsubara et al., 2020). No presente estudo, os resultados relativamente ao impacto do sistema de jato de partículas de eritritol-clorhexidina (14 µm) na superfície foram de encontro com os resultados obtidos no estudo de Matsubara et al. (2020), onde foi também verificado que não existem alterações significativas da superfície dos implantes submetidos a este tratamento.

Recentemente, foi desenvolvido um método de descontaminação eletrolítico, abordado nos estudos de Ratka et al. (2019) e Schlee et al. (2019), nos quais foi comprovado que este protocolo apresenta bons resultados não só na descontaminação de implantes contaminados por biofilmes multibacterianos provenientes da saliva de voluntários, mas também na ausência de alterações da superfície a ser testada. No estudo de Ratka et al. (2019), foi comparada a utilização da descontaminação eletrolítica com o jato de glicina, e a diferença entre estes métodos foi estatisticamente significativa (valor $p < 2.2 \times 10^{-16}$), pois apenas o grupo de descontaminação eletrolítica foi capaz de descontaminar totalmente as superfícies dos implantes (Ratka et al., 2019). Contrariamente ao apresentado no estudo de Ratka et al. (2019), no presente estudo, a descontaminação eletrolítica não revelou um elevado poder de descontaminação visto que, o sistema de jato de partículas de eritritol demonstrou uma tendência para apresentar valores mais baixos de UFC/cm² em comparação com o método eletrolítico. A diferença de resultados entre o presente estudo e o estudo de Ratka et al. (2019) pode ter origem na utilização de diferentes partículas no sistema de jateamento e na diferença da cultura bacteriana utilizada, pois estes autores recolheram saliva de candidatos o que permitiu estabelecer biofilmes mais heterogêneos e complexos. Por outro lado, a análise das imagens de MEV dos implantes tratados pelo método de descontaminação eletrolítica, valida o que foi anteriormente demonstrado nos estudos de Ratka et al. (2019) e Schlee et al. (2019), isto é, o sistema de descontaminação eletrolítica não provoca alterações significativas na superfície dos implantes.

Esta investigação *in vitro* apresenta limitações tais como: a utilização de implantes com geometrias diferentes, diferentes áreas de exposição à contaminação e descontaminação, a não uniformidade de contaminação das amostras devido às características da *P. aeruginosa* e a criação de biofilmes monobacterianos.

Como perspectivas futuras, a utilização de biofilmes multibacterianos que mimetizem um complexo semelhante ao biofilme encontrado na cavidade oral seria um elemento vantajoso para aproximar as condições de um estudo “*in vitro*” para as condições que podemos encontrar “*in vivo*”. Além deste aspeto, seria benéfica a uniformização das amostras, reunindo implantes com a mesma geometria e dimensões para evitar possíveis variações dos resultados.

VI. CONCLUSÃO

Nenhum protocolo conseguiu descontaminar totalmente as superfícies dos implantes.

Apesar de nenhum método ter demonstrado ser estatisticamente superior a outro, o sistema de jateamento de partículas de eritritol apresentou uma tendência de superioridade na descontaminação dos implantes em comparação com os restantes métodos.

Por outro lado, foram encontradas diferenças notórias entre os vários métodos de estudo relativamente à alteração da superfície dos implantes. As escovas de titânio provocaram alterações significativas e visíveis ao microscópio eletrónico de varrimento, com especial impacto na superfície SLA.

São necessários mais estudos para tentar perceber a razão de algumas superfícies sofrerem alterações mais acentuadas do que outras uma vez que isto pode estar relacionado com o sucesso do tratamento da peri-implantite.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Albertini, M., López-Cerero, L., O'Sullivan, M. G., Chereguini, C. F., Ballesta, S., Ríos, V., Herrero-Climent, M., & Bullón, P. (2015). Assessment of periodontal and opportunistic flora in patients with peri-implantitis. *Clinical Oral Implants Research*, 26(8), 937–941. <https://doi.org/10.1111/clr.12387>
- Albrektsson, T., & Wennerberg, A. (2004). Oral Implant Surfaces: Part 1—Review Focusing on Topographic and Chemical Properties of Different Surfaces and In Vivo Responses to them. *The International Journal of Prosthodontics*.
- Alcoforado, G. A. P., Rams, T. E., Feik, D., & Slots, J. (1990). Aspects bacteriologiques des echecs des implants dentaires osteointegres chez l'homme. *Journal de Parodontologie*, 10.
- Al-Hashedi, A. A., Laurenti, M., Benhamou, V., & Tamimi, F. (2016). Decontamination of titanium implants using physical methods. *Clinical Oral Implants Research*, 28(8), 1013–1021. <https://doi.org/10.1111/clr.12914>
- AlMoharib, H. S., Steffensen, B., Zoukhri, D., Finkelman, M., & Gyurko, R. (2021). Efficacy of an Er:YAG laser in the decontamination of dental implant surfaces: An in vitro study. *Journal of Periodontology*, 92(11), 1613–1621. <https://doi.org/10.1002/JPER.20-0765>
- Alotaibi, M., Moran, G., Grufferty, B., Renvert, S., & Polyzois, I. (2018). The effect of a decontamination protocol on contaminated titanium dental implant surfaces with different surface topography in edentulous patients. *Acta Odontologica Scandinavica*, 77(1), 66–75. <https://doi.org/10.1080/00016357.2018.1504986>
- Amate-Fernández, P., Figueiredo, R., Blanc, V., Álvarez, G., León, R., & Valmaseda-Castellón, E. (2021). Erythritol-enriched powder and oral biofilm regrowth on dental implants: An in vitro study. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*, 26(5), e602–e610. <https://doi.org/10.4317/medoral.24622>
- Azeredo, J., Azevedo, N. F., Briandet, R., Cerca, N., Coenye, T., Costa, A. R., Desvaux, M., di Bonaventura, G., Hébraud, M., Jaglic, Z., Kačániová, M., Knöchel, S., Lourenço, A., Mergulhão, F., Meyer, R. L., Nychas, G., Simões, M., Tresse, O., & Sternberg, C. (2017). Critical review on biofilm methods. Em *Critical Reviews in*

- Microbiology* (Vol. 43, Issue 3, pp. 313–351). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2016.1208146>
- Batalha, V. C., Bueno, R. A., Fronchetti Junior, E., Mariano, J. R., Santin, G. C., Freitas, K. M. S., Ortiz, M. A. L., & Salmeron, S. (2021). Dental Implants Surface in vitro Decontamination Protocols. *European Journal of Dentistry*, 15(3), 407–411. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1721550>
- Belibasakis, G. N., & Manoil, D. (2021). Microbial Community-Driven Etiopathogenesis of Peri-Implantitis. Em *Journal of Dental Research* (Vol. 100, Issue 1, pp. 21–28). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/0022034520949851>
- Berglundh, T. (2019). Peri-implant health, peri-implant mucositis, and peri-implantitis. *European Federation of Periodontology*.
- Berglundh, T., Jepsen, S., Stadlinger, B., & Terheyden, H. (2019). Peri-implantitis and its prevention. *Clinical Oral Implants Research*, 30(2), 150–155. <https://doi.org/10.1111/clr.13401>
- Biazussi, B. R., Perrotti, V., D’Arcangelo, C., Elias, C. N., Bianchini, M. A., Tumedei, M., & de Vasconcellos, D. K. (2019). Evaluation of the effect of air polishing with different abrasive powders on the roughness of implant abutment surface: An in vitro study. *Journal of Oral Implantology*, 45(3), 202–206. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-18-00156>
- Canullo, L., Rossetti, P., & Penarrocha, D. (2015). Identification of Enterococcus Faecalis and Pseudomonas Aeruginosa on and in Implants in Individuals with Peri-implant Disease: A Cross-Sectional Study. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 30(3), 583–587. <https://doi.org/10.11607/jomi.3946>
- Carr, B. R., Boggess, W. J., Coburn, J. F., Chuang, S. K., Panchal, N., & Ford, B. P. (2020). Is Alcohol Consumption Associated With Protection Against Peri-Implantitis? A Retrospective Cohort Analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 78(1), 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.09.004>
- Cha, J. K., Paeng, K., Jung, U. W., Choi, S. H., Sanz, M., & Sanz-Martín, I. (2019). The effect of five mechanical instrumentation protocols on implant surface topography and roughness: A scanning electron microscope and confocal laser scanning

- microscope analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 30(6), 578–587. <https://doi.org/10.1111/clr.13446>
- Chew, S. C., & Yang, L. (2015). Biofilms. Em *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 407–415). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00069-6>
- Cosgarea, R., Sculean, A., Shibli, J. A., & Salvi, G. E. (2019). Prevalence of peri-implant diseases-a critical review on the current evidence. *Brazilian Oral Research*, 33. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2019.VOL33.0063>
- Davies, J. C. (2002). *Pseudomonas aeruginosa* in cystic fibrosis: pathogenesis and persistence. *SERIES: NEW BIOLOGY OF THE AIRWAYS*, 3(2), 128–134. [https://doi.org/10.1016/S1526-0550\(02\)00003-3](https://doi.org/10.1016/S1526-0550(02)00003-3)
- Dhir, S., Mahesh, L., Kurtzman, G. M., & Vandana, K. (2013). *Peri-implant and periodontal tissues: a review of differences and similarities Aesthetic (Esthetic) Dentistry View project periodontal medicine View project*. <https://www.researchgate.net/publication/259764913>
- Diaz, P., Gonzalo, E., Villagra, L. J. G., Miegimolle, B., & Suarez, M. J. (2022). What is the prevalence of peri-implantitis? A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 22(1), 449. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02493-8>
- Drago, L., del Fabbro, M., Bortolin, M., Vassena, C., de Vecchi, E., & Taschieri, S. (2014). Biofilm Removal and Antimicrobial Activity of Two Different Air-Polishing Powders: An In Vitro Study. *Journal of Periodontology*, 85(11), e363–e369. <https://doi.org/10.1902/jop.2014.140134>
- el Chaar, E., Almogahwi, M., Abdalkader, K., Alshehri, A., Cruz, S., & Ricci, J. (2020). Decontamination of the Infected Implant Surface: A Scanning Electron Microscope Study. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 40(3), 395–401. <https://doi.org/10.11607/prd.4568>
- Elemek, E., Agrali, O. B., Kuru, B., & Kuru, L. (2020). Peri-implantitis and Severity Level. *European Journal of Dentistry*, 14(1), 24–30. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701162>
- Franklin, M. J., Nivens, D. E., Weadge, J. T., & Lynne Howell, P. (2011). Biosynthesis of the *pseudomonas aeruginosa* extracellular polysaccharides, alginate, Pel, and Psl.

- Em *Frontiers in Microbiology* (Vol. 2, Issue AUG). Frontiers Research Foundation.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00167>
- Froum, S. J., & Rosen, P. S. (2012). *A Proposed Classification for Peri-Implantitis* (Vol. 32, Issue 5).
- Fu, J. H., & Wang, H. L. (2020). Breaking the wave of peri-implantitis. Em *Periodontology 2000* (Vol. 84, Issue 1, pp. 145–160). Blackwell Munksgaard.
<https://doi.org/10.1111/prd.12335>
- Furtsev, T., & Zeer, G. (2020). Efficiency of Cleaning the Various Types of Dental Implants' Surfaces (Tiu-Nite, Sla, Rbm) Using the Air-Flow Erythritol Method. Em *Journal of International Dental and Medical Research Experimental article (J Int Dent Med Res)* (Vol. 13, Issue 2). <http://www.jidmr.com>
- Guilbaud, M., Bruzard, J., Bouffartigues, E., Orange, N., Guillot, A., Aubert-Frambourg, A., Monnet, V., Herry, J. M., Chevalier, S., & Bellon-Fontaine, M. N. (2017). Proteomic response of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 adhering to solid surfaces. *Frontiers in Microbiology*, 8(AUG). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01465>
- Hashim, D., & Cionca, N. (2020). A Comprehensive Review of Peri-implantitis Risk Factors. Em *Current Oral Health Reports* (Vol. 7, Issue 3, pp. 262–273). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s40496-020-00274-2>
- Heitz-Mayfield, L. J. A., Heitz, F., & Lang, N. P. (2020). Implant Disease Risk Assessment IDRA—a tool for preventing peri-implant disease. *Clinical Oral Implants Research*, 31(4), 397–403. <https://doi.org/10.1111/clr.13585>
- Hentenaar, D. F. M., de Waal, Y. C. M., Stewart, R. E., van Winkelhoff, A. J., Meijer, H. J. A., & Raghoobar, G. M. (2022). Erythritol air polishing in the surgical treatment of peri-implantitis: A randomized controlled trial. *Clinical Oral Implants Research*, 33(2), 184–196. <https://doi.org/10.1111/clr.13881>
- Hentenaar, D. F. M., de Waal, Y. C. M., Strooker, H., Meijer, H. J. A., van Winkelhoff, A.-J., & Raghoobar, G. M. (2017). Implant decontamination with phosphoric acid during surgical peri-implantitis treatment: a RCT. *International Journal of Implant Dentistry*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40729-017-0091-5>

- Hosseinpour, S., Nanda, A., Walsh, L. J., & Xu, C. (2021). Microbial decontamination and antibacterial activity of nanostructured titanium dental implants: A narrative review. Em *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nano11092336>
- Hussain, R. A., Miloro, M., & Cohen, J. B. (2021). An Update on the Treatment of Periimplantitis. Em *Dental Clinics of North America* (Vol. 65, Issue 1, pp. 43–56). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2020.09.003>
- Jemat, A., Ghazali, M. J., Razali, M., & Otsuka, Y. (2015). Surface modifications and their effects on titanium dental implants. Em *BioMed Research International* (Vol. 2015). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2015/791725>
- Kasetty, S., Katharios-Lanwermyer, S., O'Toole, G. A., & Nadell, C. D. (2021). Differential surface competition and biofilm invasion strategies of *Pseudomonas aeruginosa* PA14 and PAO1. *Journal of Bacteriology*, 203(22). <https://doi.org/10.1128/JB.00265-21>
- Keim, D., Nickles, K., Dannewitz, B., Ratka, C., Eickholz, P., & Petsos, H. (2019). In vitro efficacy of three different implant surface decontamination methods in three different defect configurations. *Clinical Oral Implants Research*, 30(6), 550–558. <https://doi.org/10.1111/clr.13441>
- Khoury, F., Keeve, P. L., Ramanauskaite, A., Schwarz, F., Koo, K. T., Sculean, A., & Romanos, G. (2019). Surgical treatment of peri-implantitis – Consensus report of working group 4. *International Dental Journal*, 69(S2), 18–22. <https://doi.org/10.1111/idj.12505>
- Kormas, I., Pedercini, C., Pedercini, A., Raptopoulos, M., Alassy, H., & Wolff, L. F. (2020). Peri-implant diseases: Diagnosis, clinical, histological, microbiological characteristics and treatment strategies. A narrative review. Em *Antibiotics* (Vol. 9, Issue 11, pp. 1–19). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9110835>
- Kubasiewicz-Ross, P., Hadzik, J., Gedrange, T., Dominiak, M., Jurczynszyn, K., Pitułaj, A., Nawrot-Hadzik, I., Bortkiewicz, O., & Fleischer, M. (2020). Antimicrobial efficacy of different decontamination methods as tested on dental implants with various types of surfaces. *Medical Science Monitor*, 26. <https://doi.org/10.12659/MSM.920513>

- LaBauve, A. E., & Wargo, M. J. (2012). Growth and laboratory maintenance of *Pseudomonas aeruginosa*. *Current Protocols in Microbiology*, SUPPL.25. <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc06e01s25>
- Lafaurie, G. I., Sabogal, M. A., Castillo, D. M., Rincón, M. V., Gómez, L. A., Lesmes, Y. A., & Chambrone, L. (2017). Microbiome and Microbial Biofilm Profiles of Peri-Implantitis: A Systematic Review. *Journal of Periodontology*, 88(10), 1066–1089. <https://doi.org/10.1902/jop.2017.170123>
- Lang, N. P., & Berglundh, T. (2011). Periimplant diseases: Where are we now? - Consensus of the Seventh European Workshop on Periodontology. *Journal of Clinical Periodontology*, 38(SUPPL. 11), 178–181. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01674.x>
- Lindhe, J., Lang, N. P., & Karring, T. (2010). *Tratado de Periodontia Clínica e Implantologia Oral - 5ª Ed. 2010*.
- Matsubara, V. H., Leong, B. W., Leong, M. J. L., Lawrence, Z., Becker, T., & Quaranta, A. (2020). Cleaning potential of different air abrasive powders and their impact on implant surface roughness. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 22(1), 96–104. <https://doi.org/10.1111/cid.12875>
- Mattheos, N., Vergoullis, I., Janda, M., & Miseli, A. (2021). The Implant Supracrestal Complex and Its Significance for Long-Term Successful Clinical Outcomes. *The International Journal of Prosthodontics*, 88–100. <https://doi.org/10.11607/ijp.7201>
- Mensi, M., Viviani, L., Agosti, R., Scotti, E., Garzetti, G., & Calza, S. (2020). Comparison between four different implant surface debridement methods: an in-vitro experimental study. *Minerva Medica*. <https://doi.org/10.23736/S0026-4970.20.04342-3>
- Misch, C. E., Perel, M. L., Wang, H. L., Sammartino, G., Galindo-Moreno, P., Trisi, P., Steigmann, M., Rebaudi, A., Palti, A., Pikos, M. A., Schwartz-Arad, D., Choukroun, J., Gutierrez-Perez, J. L., Marenzi, G., & Valavanis, D. K. (2008). Implant success, survival, and failure: The International Congress of Oral Implantologists (ICOI) pisa consensus conference. *Implant Dentistry*, 17(1), 5–15. <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3181676059>

- Mombelli, A., & Décaillet, F. (2011). The characteristics of biofilms in peri-implant disease. *Journal of Clinical Periodontology*, 38(SUPPL. 11), 203–213. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01666.x>
- Moraschini, V., Kischinhevsky, I. C. C., Sartoretto, S. C., de Almeida Barros Mourão, C. F., Sculean, A., Calasans-Maia, M. D., & Shibli, J. A. (2022). Does implant location influence the risk of peri-implantitis? *Periodontology* 2000. <https://doi.org/10.1111/prd.12459>
- Nakae, H., Yoshida, M., & Yokota, M. (2005). Effects of roughness pitch of surfaces on their wettability. *Journal of Materials Science*, 40, 2287–2293.
- Negm, S. A. M. (2016). Implant Success versus Implant Survival. *Dentistry*, 06(02). <https://doi.org/10.4172/2161-1122.1000359>
- Nunes Filho, A., Aires, M. de M., Braz, D. C., Hinrichs, R., Macedo, A. J., & Alves, C. (2018). Titanium Surface Chemical Composition Interferes in the Pseudomonas aeruginosa Biofilm Formation. *Artificial Organs*, 42(2), 193–199. <https://doi.org/10.1111/aor.12983>
- Otsuki, M., Wada, M., Yamaguchi, M., Kawabata, S., Maeda, Y., & Ikebe, K. (2020). Evaluation of decontamination methods of oral biofilms formed on screw-shaped, rough and machined surface implants: an ex vivo study. *International Journal of Implant Dentistry*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40729-020-00212-y>
- Passarelli, P. C., de Leonardis, M., Piccirillo, G. B., Desantis, V., Papa, R., Rella, E., Bonaviri, G. N. M., Papi, P., Pompa, G., Pasquantonio, G., Manicone, P. F., & D'addona, A. (2020). The effectiveness of chlorhexidine and air polishing system in the treatment of candida albicans infected dental implants: An experimental in vitro study. *Antibiotics*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/antibiotics9040179>
- Pérez-Chaparro, P. J., Duarte, P. M., Shibli, J. A., Montenegro, S., Lacerda Heluy, S., Figueiredo, L. C., Faveri, M., & Feres, M. (2016). The Current Weight of Evidence of the Microbiologic Profile Associated With Peri-Implantitis: A Systematic Review. *Journal of Periodontology*, 87(11), 1295–1304. <https://doi.org/10.1902/jop.2016.160184>
- Ponsonnet, L., Reybier, K., Jaffrezic, N., Comte, V., Lagneau, C., Lissac, M., & Martelet, C. (2003). Relationship between surface properties (roughness, wettability) of

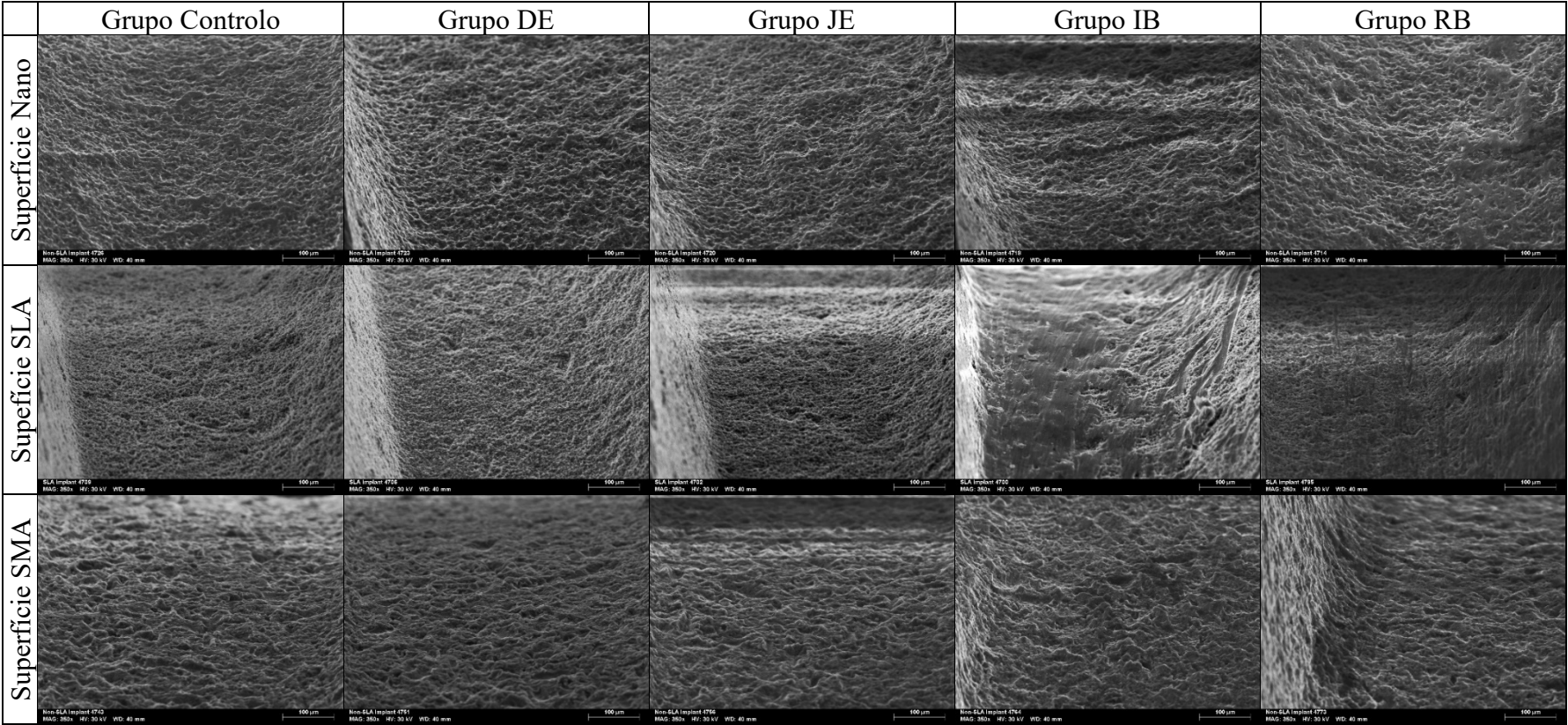
- titanium and titanium alloys and cell behaviour. *Materials Science and Engineering C*, 23(4), 551–560. [https://doi.org/10.1016/S0928-4931\(03\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0928-4931(03)00033-X)
- Pranno, N., Cristalli, M. P., Mengoni, F., Sauzullo, I., Annibali, S., Polimeni, A., & la Monaca, G. (2020). Comparison of the effects of air-powder abrasion, chemical decontamination, or their combination in open-flap surface decontamination of implants failed for peri-implantitis: an ex vivo study. *Clinical Oral Investigations*, 25(5), 2667–2676. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03578-w>
- Ratka, C., Weigl, P., Henrich, D., Koch, F., Schlee, M., & Zipprich, H. (2019). The effect of in vitro electrolytic cleaning on biofilm-contaminated implant surfaces. *Journal of Clinical Medicine*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/jcm8091397>
- Renvert, S., Hirooka, H., Polyzois, I., Kelekis-Cholakis, A., & Wang, H. L. (2019). Diagnosis and non-surgical treatment of peri-implant diseases and maintenance care of patients with dental implants – Consensus report of working group 3. *International Dental Journal*, 69(S2), 12–17. <https://doi.org/10.1111/idj.12490>
- Renvert, S., Polyzois, I., & Claffey, N. (2011). How do implant surface characteristics influence peri-implant disease? *Journal of Clinical Periodontology*. <https://doi.org/10.1111/j.1600>
- Roccuzzo, A., Stähli, A., Monje, A., Sculean, A., & Salvi, G. E. (2021). Peri-implantitis: A clinical update on prevalence and surgical treatment outcomes. Em *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 10, Issue 5, pp. 1–12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm10051107>
- Rokaya, D., Srimaneepong, V., Wisitrasameewon, W., Humagain, M., & Thunyakitpisal, P. (2020). Peri-implantitis update: Risk indicators, diagnosis, and treatment. Em *European Journal of Dentistry* (Vol. 14, Issue 4, pp. 672–682). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715779>
- Rosales-Leal, J. I., Rodríguez-Valverde, M. A., Mazzaglia, G., Ramón-Torregrosa, P. J., Díaz-Rodríguez, L., García-Martínez, O., Vallecillo-Capilla, M., Ruiz, C., & Cabrerizo-Vílchez, M. A. (2010). Effect of roughness, wettability and morphology of engineered titanium surfaces on osteoblast-like cell adhesion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 365(1–3), 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.12.017>

- Sahrmann, P., Gilli, F., Wiedemeier, D. B., Attin, T., Schmidlin, P. R., & Karygianni, L. (2020). The microbiome of peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis. *Em Microorganisms* (Vol. 8, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050661>
- Sanz-Martín, I., Paeng, K., Park, H., Cha, J. K., Jung, U. W., & Sanz, M. (2020). Significance of implant design on the efficacy of different peri-implantitis decontamination protocols. *Clinical Oral Investigations*, 25(6), 3589–3597. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03681-y>
- Schlee, M., Rathe, F., Brodbeck, U., Ratka, C., Weigl, P., & Zipprich, H. (2019). Treatment of peri-implantitis-electrolytic cleaning versus mechanical and electrolytic cleaning- A randomized controlled clinical trial- six-month results. *Journal of Clinical Medicine*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/jcm8111909>
- Schwarz, F., Alcoforado, G., Guerrero, A., Jönsson, D., Klinge, B., Lang, N., Mattheos, N., Mertens, B., Pitta, J., Ramanauskaite, A., Sayardoust, S., Sanz-Martin, I., Stavropoulos, A., & Heitz-Mayfield, L. (2021). Peri-implantitis: Summary and consensus statements of group 3. The 6th EAO Consensus Conference 2021. *Clinical Oral Implants Research*, 32(S21), 245–253. <https://doi.org/10.1111/clr.13827>
- Smeets, R., Henningsen, A., Jung, O., Heiland, M., Hammächer, C., & Stein, J. M. (2014). Definition, etiology, prevention and treatment of peri-implantitis - a review. *Em Head and Face Medicine* (Vol. 10, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-10-34>
- Steiger-Ronay, V., Merlini, A., Wiedemeier, D. B., Schmidlin, P. R., Attin, T., & Sahrmann, P. (2017). Location of unaccessible implant surface areas during debridement in simulated peri-implantitis therapy. *BMC Oral Health*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0428-8>
- Tallarico, M., Canullo, L., Wang, H.-L., Cochran, D., & Meloni, S. (2018). Classification Systems for Peri-implantitis: A Narrative Review with a Proposal of a New Evidence-Based Etiology Codification. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 33(4), 871–879. <https://doi.org/10.11607/jomi.6242>

- Ting, M., Craig, J., Balkin, B. E., & Suzuki, J. B. (2018). Peri-implantitis: A comprehensive overview of systematic reviews. Em *Journal of Oral Implantology* (Vol. 44, Issue 3, pp. 225–247). Allen Press Inc. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-16-00122>
- Toma, S., Brex, M. C., & Lasserre, J. F. (2019). Clinical evaluation of three surgical modalities in the treatment of peri-implantitis: A randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Medicine*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/jcm8070966>
- Vernon-Parry, K. D. (2000). Scanning Electron Microscopy: an introduction. *Elsevier Science*, 13(4), 40–44.
- Wang, C. W., Renvert, S., & Wang, H. L. (2019). Nonsurgical Treatment of Periimplantitis. *Implant Dentistry*, 28(2), 155–160. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000846>

VIII. ANEXOS

Anexo 1 – Análise MEV da superfície dos implantes (vista secundária).



Anexo 2 – Conjunto de alvéolos onde foram imobilizados os implantes.



Anexo 3 – Galvosurge[®] Control Unit GS 1000.



Anexo 4 – AirFlow[®] Plus Powder.

