

Modificação da adesão e proliferação bacteriana em aço inoxidável texturizado por *shot peening*

Modification of bacterial adhesion and proliferation in textured stainless steel by shot peening

HOCH, Juliana; Engenheira de Materiais, Mestranda de Ciência e Tecnologia dos Materiais; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; hoch.juliana@gmail.com

TAKIMI, Antonio; Engenheiro de Materiais, Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Professor adjunto do curso de Engenharia Metalúrgica da UFRGS; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; antonio.takimi@gmail.com

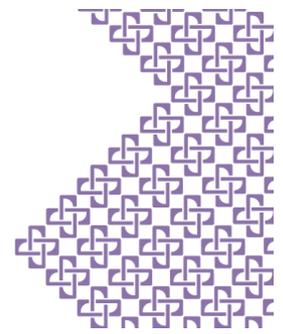
Resumo

Estima-se que aproximadamente 80% das infecções no mundo estão relacionadas a adesão bacteriana e formação de biofilmes, que envolvem interação entre bactéria, superfície e microambiente. Nesse contexto, superfícies biomiméticas texturizadas com padrões micro e nanométricos têm recebido especial atenção. Tendo em vista a dificuldade no tratamento tradicional e o aumento da resistência bacteriana, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da texturização de amostras de aço inoxidável AISI 430 por *shot peening* na adesão e proliferação de bactérias Gram-positivas (*S. aureus*) e Gram-negativas (*E. coli*). As amostras foram obtidas sob diferentes condições e caracterizadas quanto à rugosidade, topografia, proliferação e adesão bacteriana submetidas a 24h de contato frente às cepas de *S. aureus* e *E. coli*. Os resultados indicaram redução bacteriana de 77% para Gram-positiva e 50% para Gram-negativa para amostras submetidas ao *shot peening* por 80s, com esferas de aço projetadas a 100 psi a 30°. Dessa forma, a técnica avaliada se mostra como alternativa promissora para redução da adesão e proliferação bacteriana.

Palavras Chave: *Shot peening*; Texturização; Adesão bacteriana; Biofilmes

Abstract

It is estimated that approximately 80% of infections in the world are related to bacterial adhesion and biofilm formation, which involve interaction between bacteria, surface and microenvironment. In this context, textured biomimetic surfaces with micro and nanometric patterns have received special



attention. In view of the difficulty in traditional treatment and the increase in bacterial resistance, this study aimed to evaluate the influence of texturing of AISI 430 stainless steel samples by shot peening on the adhesion and proliferation of Gram-positive bacteria (*S. aureus*) and Gram-negative (*E. coli*). The samples were obtained under different conditions and characterized for roughness, topography, proliferation and bacterial adhesion submitted to 24h of contact against strains of *S. aureus* and *E. coli*. The results indicated a bacterial reduction of 77% for Gram-positive and 50% for Gram-negative for samples submitted to shot peening for 80s, with steel balls projected at 100 psi at 30°. Thus, the evaluated technique is an alternative for reducing bacterial adhesion and proliferation.

Keywords: Shot peening; Texturing; Bacterial adhesion; Biofilms.

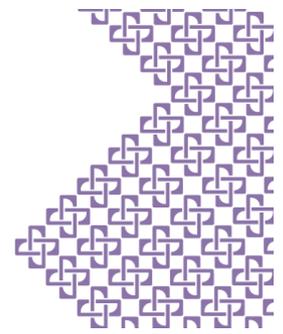
Introdução

Um dos grandes obstáculos enfrentados pelo sistema de saúde está relacionado a adesão bacteriana e a consequente formação de biofilmes, associada a aproximadamente 80% das infecções médicas no mundo, segundo a *National Institutes of Health* (NIH, 2002). Biofilmes são comunidades tridimensionais de células aderidas entre si e a uma superfície, envolvidas em uma matriz polimérica extracelular auto-excretada. Uma das mais importantes características do biofilme bacteriano é a sua resistência ao sistema imune do hospedeiro e aos agentes antimicrobianos, podendo tornar-se de 10 a 1.000 vezes mais resistente do que quando na forma de bactérias livres (DAVIES, 2003). Por essa razão, a formação de biofilmes possui papel importante na patogênese, sendo causa comum de infecções persistentes e representando um grande obstáculo. (COSTERTON *et al.*, 1999).

Para que a adesão bacteriana ocorra é necessário que haja a interação multifacetada de três componentes: a bactéria, a superfície e o microambiente em que eles se encontram (DAROUCHE, 2001). Dessa forma, as estratégias para o combate de biofilmes podem, basicamente, ser divididas em dois segmentos: a inibição da formação de biofilmes e a erradicação de biofilmes já formados.

Existem diversos tipos de bactérias formadoras de biofilme. Entre as Gram-positivas, destaca-se o *Staphylococcus aureus*, que é capaz de invadir e sobreviver dentro de células e driblar o sistema imunológico. (UÇKAY *et al.*, 2009). Dentre as Gram-negativas destacam-se *Escherichia coli* e *Salmonella*, responsáveis por infecções gastrointestinais; e as *P. aeruginosa* e *B. cenocepacia*, capazes de acarretar e agravar infecções respiratórias em pacientes. (NORDMANN & CORNAGLIA, 2012).

Um dos atuais desafios da engenharia é a modificação das superfícies para prevenção da formação de biofilmes. Buscando atender à essa demanda, diversas áreas se destinam a agregar propriedades antimicrobianas pela modificação superficial dos materiais, através da inclusão de



nanopartículas de prata, liberação controlada de antibióticos, funcionalização da superfície, modificação química e métodos mecânicos (IARIKOV *et al.*, 2014; GU *et al.*, 2016). Superfícies texturizadas com padrões micro e nanométricos têm recebido especial atenção como mecanismo de redução da adesão bacteriana, pela modificação das interações físico-químicas que medeiam a adesão primária. (GALLO *et al.*, 2014; CAMPOCCIA *et al.*, 2013). Essa texturização, permite modificar a superfície externa dificultando a colonização microbiana, mantendo inalteradas propriedades mecânicas, e funções do material, podendo ainda facilitar biocompatibilidade. (BAZAKA *et al.*, 2012).

Dentre as técnicas de texturização disponíveis, o processo de *shot peening* vêm ganhando cada vez mais interesse devido à sua capacidade de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, possibilitando altas taxas de deformação a temperaturas baixas, sem alterar consideravelmente as dimensões gerais do material. (VALIEV *et al.*, 2000; VALIEV, 2004).

Diante disso, a pesquisa avaliou a influência da texturização superficial de amostras de aço inox AISI 430 por *shot peening* na adesão e proliferação de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. As amostras foram obtidas sob diferentes condições e caracterizadas quanto à rugosidade, topografia, e adesão/proliferação bacteriana após 24 horas de contato frente à cepas de *S. aureus* e *E. coli*.

Materiais e Métodos

Substrato

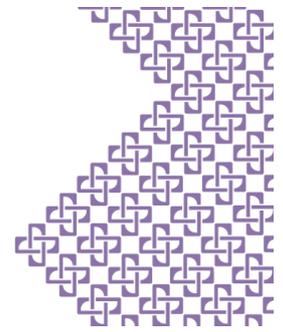
Foram utilizadas amostras de aço inoxidável AISI 430 polido, de 25 mm x 25 mm x 1 mm para avaliar a influência da texturização na adesão e proliferação bacteriana após 24 horas de contato.

Shot peening

O processo de *shot peening* foi realizado em dois diferentes momentos e condições nas dependências da Carpintaria Estância Ltda, com aplicação dos parâmetros descritos na Tabela 1.

Parâmetro	Condição 1	Condição 2
Ângulos de jateamento	30°, 45°, 60° e 90°	30°, 45°, 60° e 90°
Pressão do ar comprimido	100 psi	100 psi
Distância de aplicação	24 cm	24 cm
Tempo	40s	25s a 120s
Rotação (rpm)	46	0 e 46
Granalha esférica de aço	S-110 (ϕ = 300 μ m a 500 μ m)	S-110 (ϕ = 300 μ m a 500 μ m)

Tabela 1. Parâmetros de *shot peening* aplicados para texturização das superfícies
Fonte: Elaborada pela autora, 2021.



Para obtenção das amostras na Condição 1, foram fixados o tipo de granalha, pressão, distância e tempo. O tipo de granalha escolhido foi esférico de aço de 300µm a 500µm do tipo S-110. O parâmetro ângulo de jateamento foi variado, uma vez que ele interfere na intensidade do tratamento e na morfologia da rugosidade gerada na superfície. Foram testados os ângulos de 30°, 45°, 60° e 90°.

Depois da realização de testes iniciais e análise por microscopia óptica, foi identificada necessidade de variar o tempo de acordo com o ângulo, na Condição 2, para obtenção de boa cobertura. O tempo necessário para cobertura do substrato foi monitorado com uso de microscópio digital. Nas duas condições o ângulo de jateamento foi variado e sua influência avaliada. Na condição 2 as amostras não foram submetidas a rotação. Apenas uma das amostras (30°) foi testada em ambas as condições para verificar se haveria alteração significativa. Considerando as diferentes variações aplicadas, foram obtidas nove condições operacionais de ensaio, conforme apresentado na Tabela 2.

Variáveis	Ensaio								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ângulos de jateamento	30°	30°	30°	45°	45°	60°	60°	90°	90°
Tempo (s)	40	80	80	40	100	40	120	40	25
Rotação (rpm)	46	46	0	46	0	46	0	46	0

Tabela 2. Combinações dos valores de cada variável na realização do *shot peening* |
Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Caracterização das amostras

Para a caracterização das amostras foram consideradas as seguintes análises:

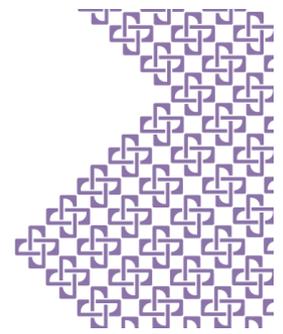
- Cobertura da superfície por microscopia óptica;
- Rugosidade superficial 2D e 3D por perfilômetro óptico; e
- Adesão e proliferação bacteriana após 24 horas de contato com cepas de *E. coli* e *S. aureus*.

Microscopia óptica

A cobertura das amostras foi avaliada a partir do microscópio ótico Olympus BX51, no Laboratório de Processos Eletroquímicos de Corrosão (Eletrocorr/ UFRGS). Para a Condição 2, em que a cobertura foi monitorada durante a obtenção, foi utilizado microscópio digital HAIZ X4, HZ 1600X.

Rugosidade 2D e 3D

As imagens de rugosidade 2D e 3D foram obtidas por perfilometria óptica, utilizando-se um perfilômetro Bruker, modelo ContourGT, disponível no Laboratório Multiusuário de Análises de



Superfícies (LAMAS/UFRGS). Uma vez que o equipamento limita a avaliação à uma área de 1mm², três regiões distintas foram avaliadas, de modo a obter uma amostragem representativa.

Adesão e proliferação bacteriana

As atividades referentes à adesão e proliferação bacteriana foram conduzidas no Centro de Biotecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CBiot/UFRGS). Cepas de *Escherichia coli* (ATCC 8739) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 9801) foram inoculadas em caldo Luria Bertani (LB) e cultivados a 37°C/24h, em agitador orbital (Tecnal TE-400) a 150 rpm. As bactérias foram quantificadas a 600 nm em espectrofotômetro (NanoDrop 2000C) e diluídas a 0,5 na escala MacFarland. Antes de cada análise, os substratos foram limpos com detergente e água destilada. Após isso, as amostras foram esterilizadas por exposição a luz ultravioleta por 15 min de cada lado em fluxo laminar (Pachane 400). As amostras foram imersas em placas de Petri estéreis contendo a suspensão de células vegetativas de forma a obter uma contagem aproximada de 10³ UFC/mL, e foram incubadas a 37°C/24h (DeLeo). As contagens de quantidade de células aderidas por cm² foram realizadas após as 24 horas de contato.

Após o término da incubação, as amostras foram retiradas do caldo nutriente com pinça esterilizada e imersas em água peptonada 0,1%, por 1 min, para a remoção das células planctônicas. Após isso, foram imersas em frascos contendo 10 mL da mesma solução diluente e submetidos ao vórtex (Genie 2), por 1 min para remoção de células sésseis. As soluções de lavagem contendo as células planctônicas e sésseis foram diluídas seriadamente e plaqueadas pelo método *drop plate* em placas de ágar LB. As placas foram incubadas a 37°C/24h. As células viáveis foram calculadas por UFC/mL. A significância estatística foi verificada pelo teste de F e análise de variância (ANOVA) e pós-teste de Dunnet, com confiança de 95%.

Resultados e Discussões

Texturização por Shot peening

Para realização dos processos de *shot peening*, na Condição 1, o parâmetro tempo foi fixado em 40s. Nas Figuras 1a e 1b estão apresentadas as amostras antes e depois do *shot peening*. É possível observar à olho nu nítida alteração na rugosidade e aparente homogeneidade nas amostras.

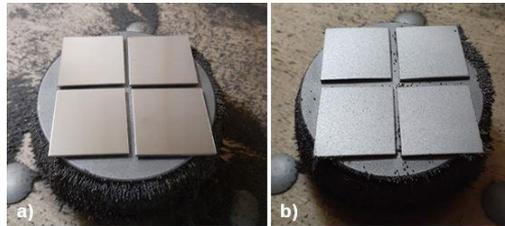
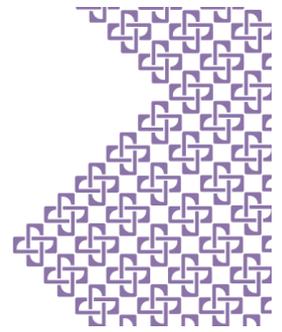


Figura 1. Amostras antes (a) e depois do processo de shot peening (b)
Fonte: Registrado pela autora, 2021.

Na Figura 2 podem ser visualizados os substratos antes e depois do *shot peening* por 40s a 30° e 90°. Percebe-se diferença na intensidade dos tratamentos e leve empenamento na amostra a 90°.



Figura 2. Controle e substratos após o shot peening por 40s a 30° e 90°
Fonte: Registrado pela autora, 2021.

Após a realização dos testes de rugosidade e microscopia ótica da Condição 1, identificou-se a necessidade de nova etapa de testes (Condição 2), uma vez que a cobertura não foi suficiente para atingir 100% em todos ângulos testados. Um novo critério passou a definir o tempo para cada ângulo: a cobertura total dos substratos. Essa cobertura foi avaliada com microscópio digital portátil. O tempo ideal para as amostras obtidas a 30° foi 80s; para 45° foi 100s; para 60° foi 120s; e para 90° foi de 25s.

Análise da topografia/textura por microscopia ótica

Após a obtenção das amostras na Condição 1, os substratos foram avaliados com microscópio ótico (Figura 3). A partir dessa análise visual, foi evidenciado que o tempo não poderia ser fixado, uma vez que o percentual de cobertura sofre grande influência do ângulo de jateamento.

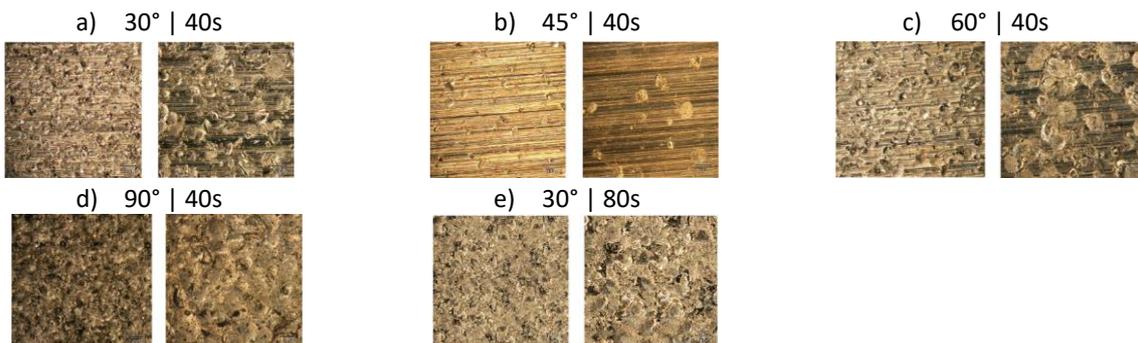
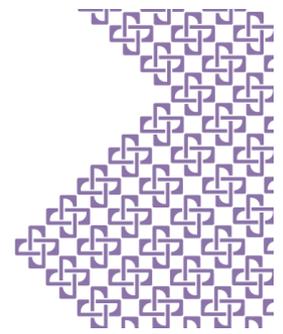


Figura 3. Microscopia ótica da superfície após shot peening
Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



As imagens obtidas demonstram que (i) para o ângulo de 45°, o tempo de 40s foi insuficiente, mantendo majoritariamente características do substrato; (ii) para o ângulo de 90° o tempo de exposição de 40s foi excessivo; e (iii) para as amostras obtidas a 30° e 60° a cobertura foi similar, um pouco maior em 30°. A imagem 5e, obtida na Condição 2, demonstra a superfície com boa cobertura.

Medição da rugosidade 2D

As amostras foram submetidas a medição da rugosidade e obtenção dos perfis com uso do perfilômetro óptico. Os valores medidos estão apresentados na Tabela 3, incluindo o desvio padrão.

Amostra	R _a (μm)	R _q (μm)	R _p (μm)	R _v (μm)
I	1,2 ± 0,04	1,751 ± 0,065	18,080 ± 3,069	-20,250 ± 6,280
II	1,2 ± 0,06	2,459 ± 0,094	19,679 ± 2,878	-24,478 ± 1,079
III	1,6 ± 0,03	2,210 ± 0,045	14,399 ± 1,622	-26,229 ± 2,612
IV	1,3 ± 0,12	1,991 ± 0,124	30,168 ± 18,069	-23,164 ± 8,143
V	1,9 ± 0,05	2,587 ± 0,118	19,842 ± 5,452	-24,617 ± 4,247
VI	1,5 ± 0,02	2,154 ± 0,040	21,509 ± 4,829	-22,191 ± 2,384
VII	1,7 ± 0,08	2,251 ± 0,062	13,777 ± 1,585	-25,617 ± 8,594
VIII	3,5 ± 0,32	4,509 ± 0,428	21,768 ± 1,609	-35,003 ± 6,239
IX	2,4 ± 0,07	3,087 ± 0,114	18,061 ± 1,670	-36,817 ± 5,218
Controle	0,2 ± 0,01	0,332 ± 0,020	2,523 ± 0,079	-5,691 ± 0,911

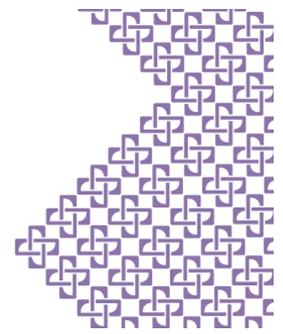
Tabela 3. Parâmetros de superfície de rugosidades médias
Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Estudos anteriormente realizados relacionando valores de Ra com a adesão inicial de *Candida albicans*, sugerem que valores de Ra abaixo de 0,2μm não afetam a adesão bacteriana (BOLLEN et al., 1997), e valores acima de 0,2μm apresentam influência na adesão. (QUIRYNEN et al., 1990). A amostra controle (polida) apresentou Ra neste limite de 0,2μm e todas as amostras apresentaram valores maiores. Além disso, os ensaios de rugosidade confirmam a insuficiência do jateamento por 40s na amostra obtida a 45°, e a expressiva rugosidade da amostra obtida a 90°.

Excetuando-se os valores obtidos em 45°, observa-se correlação entre o aumento da rugosidade e o aumento do ângulo de incidência das esferas. Conforme relatado por Rego (2011), isso se dá em função da componente vertical da força, que fica maior à medida em que se aproxima de 90°. Além da componente vertical de força, isso também é justificado pelo ricocheteamento das esferas.

Medição da rugosidade 3D

Com perfilômetro óptico foram obtidas medidas de perfil de rugosidade e as imagens da rugosidade 3D. Comparando-se os parâmetros de superfície (2D) aos parâmetros de perfil (3D),



observa-se que os valores de S_a , S_q , S_p e S_v são idênticos aos valores de R_a , R_q , R_p e R_v . Essa similaridade indica certa periodicidade na topografia das superfícies.

Os valores médios obtidos bem como o desvio padrão, estão apresentados na Tabela 4.

Amostra	S_a (μm)	S_q (μm)	S_p (μm)	S_v (μm)	S_z (μm)
I	1,2 \pm 0,04	1,817 \pm 0,08	18,072 \pm 3,08	-20,238 \pm 6,26	38,311 \pm 8,75
II	1,8 \pm 0,06	2,547 \pm 0,10	19,679 \pm 2,86	-24,482 \pm 1,08	44,162 \pm 3,30
III	1,6 \pm 0,03	2,267 \pm 0,05	14,412 \pm 1,62	-26,202 \pm 2,62	40,613 \pm 4,21
IV	1,4 \pm 0,12	2,079 \pm 0,12	30,179 \pm 18,1	-23,128 \pm 8,13	53,307 \pm 11,99
V	2,0 \pm 0,07	2,667 \pm 0,15	19,831 \pm 5,43	-24,599 \pm 4,24	44,430 \pm 9,01
VI	1,5 \pm 0,01	2,239 \pm 0,07	21,539 \pm 4,84	-22,159 \pm 2,39	43,699 \pm 2,50
VII	1,7 \pm 0,07	2,354 \pm 0,04	13,818 \pm 1,59	-25,562 \pm 8,60	39,380 \pm 10,16
VIII	3,5 \pm 0,32	4,536 \pm 0,43	21,782 \pm 1,62	-34,984 \pm 6,24	56,766 \pm 6,99
IX	2,5 \pm 0,08	3,199 \pm 0,13	18,100 \pm 1,69	-36,737 \pm 5,25	54,837 \pm 6,89
Controle	0,2 \pm 0,01	0,339 \pm 0,02	3,985 \pm 2,07	-5,690 \pm 0,91	9,675 \pm 1,75

Tabela 4. Parâmetros de perfil de rugosidades médias | Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A partir das imagens de rugosidade 3D, apresentadas nas Figuras 4a a 4i, ficou evidente o fenômeno de *ploughing*, com a formação de bordas elevadas em torno de cada depressão.

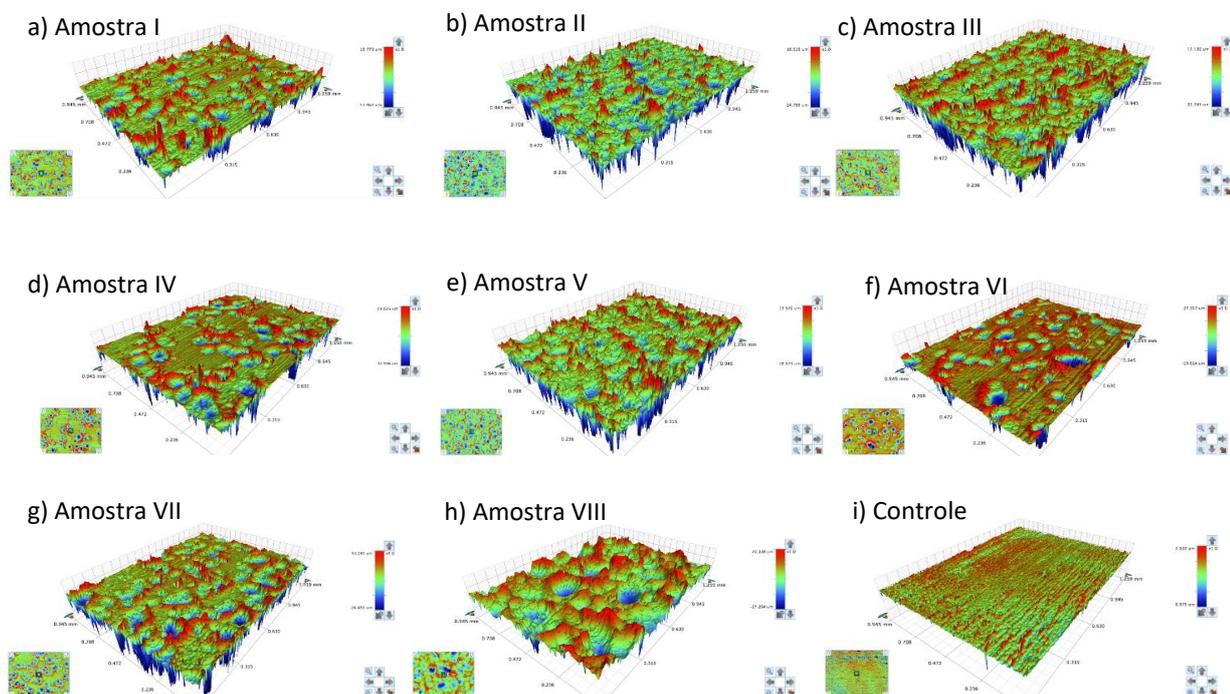
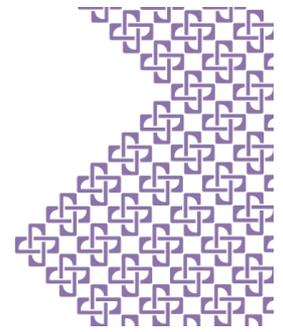


Figura 4. Perfis de rugosidade 3D. | Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Também foi possível perceber que para a amostra VII, obtida por 120s a 60°, o tempo de processo não foi suficiente para obtenção de cobertura total. Essa foi a amostra submetida ao maior tempo de tratamento, mas seria necessário um período mais prolongado.

A rugosidade superficial média (Ra) e a rugosidade superficial quadrada média (Rq) são os parâmetros mais usados para caracterizar topografias. (CRAWFORD et al., 2012). Entretanto, ao avaliar os valores Ra juntamente com os perfis 3D, fica evidente a limitação da utilização de apenas esse parâmetro. No caso das amostras I e II, obtidas a 30° com 40s e 80s, respectivamente, os valores de Ra são idênticos, embora a topografia das superfícies apresente características muito distintas.

As imagens também permitem estimar os diâmetros dos vales, que variaram de 90 µm a 130 µm. Na amostra VIII (90°/40s) os diâmetros variaram de 200 a 300 µm, evidenciando maior severidade no tratamento. Essa amostra apresentou visível empenamento e os maiores valores de rugosidade.

Esses diâmetros de vales muito maiores do que as bactérias (com diâmetro médio de 1 µm) provavelmente não permitem que ocorra um confinamento físico que barre a proliferação celular, conforme relatado nos estudos realizados por Yang e colaboradores (2015). Pelo contrário, uma das hipóteses é que os vales possam facilitar a adesão primária, com um acúmulo bacteriano nas regiões rebaixadas e paredes laterais, por serem localizações energeticamente favoráveis, como mostrado em estudo conduzido por Rodríguez e colaboradores (2018).

Adesão e proliferação bacteriana

Para realização dos testes de adesão e proliferação bacteriana foram selecionadas as amostras apresentadas na Tabela 5 e o controle polido.

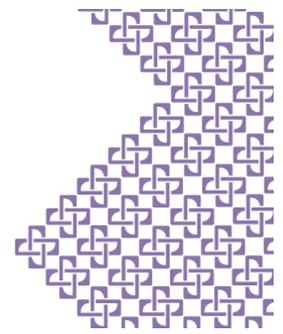
	I	III	V	VI	VII	VIII	IX
Ângulos	30°	30°	45°	60°	60°	90°	90°
Tempo (s)	40	80	100	40	120	25	40
Rotação (rpm)	46	0	0	46	0	0	46

Tabela 5. Amostras selecionadas para realização dos testes microbiológicos

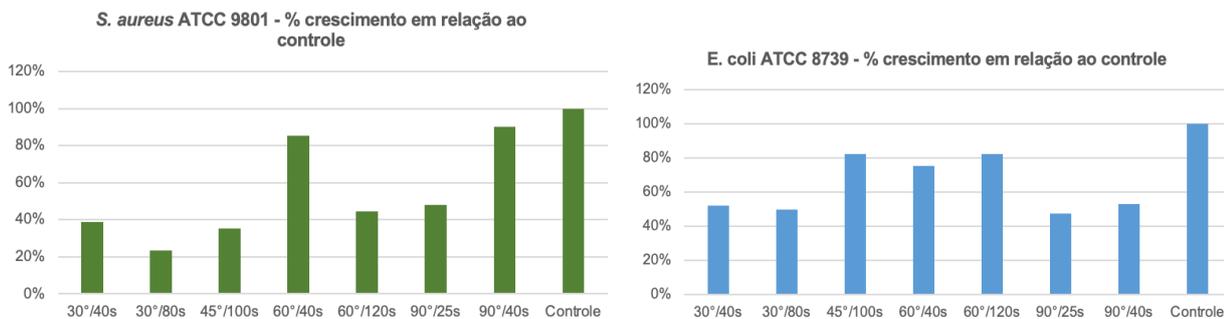
Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

A exclusão das amostras II (30°/80s/46 rpm) e IV (45°/40s/46 rpm) se deu em função dos resultados previamente obtidos de rugosidade 3D, que indicaram, respectivamente, ausência de alteração significativa na morfologia e baixa cobertura no tratamento por shot peening por 40s°.

Para avaliar a proliferação e adesão bacteriana, foi considerada a soma das contagens de bactérias planctônicas e sésseis. Para isso, o crescimento bacteriano dos controles respectivos a cada um dos ensaios foi assumido como sendo 100% de crescimento. Nos Gráficos 1a e 1b estão



apresentados os resultados percentuais de crescimento em relação ao controle, frente às cepas de *S. aureus* e *E. coli*, respectivamente, no período de contato de 24h.



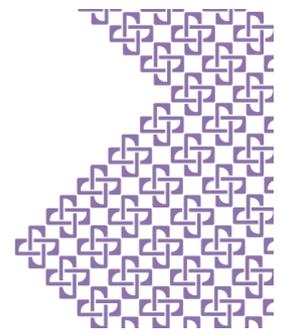
Gráficos 1 (a) Adesão e proliferação em relação ao controle (%) – *S. aureus*; (b) *E. coli*

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Quando avaliados os resultados microbiológicos frente à cepa de *S. aureus*, é possível observar que para todos os ângulos testados, as amostras obtidas na Condição 2, os resultados de inibição foram mais favoráveis. A condição que apresentou os maiores valores de redução da proliferação e adesão bacteriana foi o *shot peening* aplicado por 80s a 30°. Nessas amostras, houve uma redução de 77%. A amostra obtida a 90° por 40s foi a que apresentou maior rugosidade média e maiores diâmetros de vales (200-300 µm). Isso possivelmente facilitou os pontos de ancoragem, favorecendo a proliferação e adesão bacteriana.

No caso da *E. coli*, as amostras obtidas a 30° e 90° (tanto na Condição 1 quanto na Condição 2) apresentaram % de redução similar, próximo de 50%. No caso da amostra obtida a 90° por 40s, apesar dos altos valores de rugosidade e diâmetro de vale, a proliferação e adesão bacteriana foi reduzida.

De maneira geral, os resultados obtidos indicam que, para ambas as bactérias avaliadas, houve redução significativa da proliferação e adesão bacteriana. O bom desempenho em relação ao controle pode ser explicada pelo papel das várias irregularidades superficiais. No caso das amostras lisas, sua topografia não apresenta estruturas capazes de restringir o movimento das células. Entretanto, quando comparados os resultados microbiológicos frente à cepa de *E. coli*, observa-se que a inibição da adesão e proliferação bacteriana não foi tão pronunciada quanto frente à *S. aureus*. A energia de deformação necessária para as células de *E. coli* é significativamente maior do que para *S. aureus*, em função de suas diferentes morfologias. As células de *E. coli* possuem tamanho maior e precisam gerar uma deformação muito mais forte para se adaptar à geometria do que as células de *S. aureus*, de tamanho menor. Isso significa que a adesão seletiva das células de *E. coli* é menos favorável do ponto



de vista energético do que as células de *S. aureus*, podendo explicar o efeito mais aparente na adesão seletiva das células de *S. aureus* do que de *E. coli*.

Com base nos resultados obtidos e nos estudos anteriores realizados por outros autores, estima-se que para que os resultados de inibição bacteriana sejam mais pronunciados, as irregularidades produzidas devem ser menores, mais próximas ao tamanho das bactérias (de 1 μm a 6 μm).

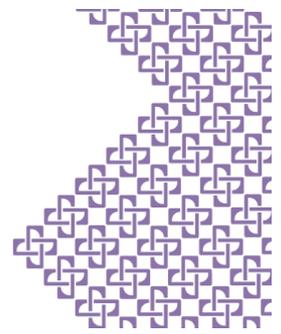
Considerações finais

Os resultados apresentados neste estudo contribuem para a compreensão de um campo experimental ainda pouco explorado, a respeito da resposta bacteriana às diferentes topografias com rugosidade de superfície em microescala. O avanço nessa e em tantas outras pesquisas relacionadas podem ajudar a desenvolver novos materiais para controle efetivo da adesão bacteriana e formação de biofilmes, para uma ampla gama de aplicações biomédicas e industriais, sem que haja a necessidade da administração de agentes antimicrobianos que são responsáveis por produzir bactérias resistentes. Os resultados obtidos pela texturização superficial de aço inox AISI 430 por *shot peening* demonstram influência direta da rugosidade e da morfologia superficial na proliferação e adesão bacteriana.

Amostras submetidas ao *shot peening* por 80s, utilizando esferas de aço projetadas a 100 psi com ângulo de 30° apresentaram redução na proliferação e adesão bacteriana de 77% para Gram-positiva e 50% para Gram-negativa. Por outro lado, no caso das amostras em que as esferas foram projetadas com ângulo de 60°, observou-se pouca redução bacteriana para ambas as cepas avaliadas. Isso demonstra a influência direta do ângulo de jateamento na morfologia das superfícies, no tempo de processo necessário e reforça a importância do perfil topográfico na adesão bacteriana e formação de biofilmes.

Referências

- BAZAKA, K.; JACOB, M. V.; CRAWFORD, R. J.; IVANOVA, E. P. **Efficient surface modification of biomaterial to prevent biofilm formation and the attachment of microorganisms.** Applied Microbiology and Biotechnology. 2012. 95: 299-311.
- CAMPOCCIA, D.; MONTANARO, L.; ARCIOLA, C. R. **A review of the biomaterials technologies for infection-resistant surfaces.** Biomaterials. 2013. 34(34): 8533–8554.
- COSTERTON, J. W.; STEWART, P. S.; GREENBERG, E. P. **Bacterial biofilms: a common cause of persistent infectious.** Science. 1999. 284: 1318-1322.



- CRAWFORD, R. J. et al. **Surface topographical factors influencing bacterial attachment.** Advances in Colloid and Interface Science. 179-182. 2012. 142-149.
- DAROUCHE, R. **Device-associated infections: a macroproblem that starts with a microadherence.** Clinical Infectious Disease. 2001. 33: 1567-1572.
- DAVIES, D. G. **Understanding biofilm resistance to antimicrobial agents.** Nature Reviews Drug Discovery. 2003. 2: 114-122.
- GALLO, J.; HOLINKA, M.; MOUCHA, C. S. **Antibacterial Surface Treatment for Orthopaedic Implants.** Int. J. Mol. Sci. 2014. v 15(8): 13849–13880.
- GU, H.; LEE, S. W.; BUFFINGTON, S. L.; HENDERSON, J. H.; REN, D. **On-Demand Removal of Bacterial Biofilms via Shape Memory Activation.** ACS Appl. Mat. Interf. 2016. 8: 21140–21144.
- IARIKOV, D. D.; KARGAR, M.; SAHARI, A.; RUSSEL, L.; GAUSE, K. T.; BEHKAM, B.; DUCKER, W. A. **Antimicrobial Surfaces Using Covalently Bound Polyallylamine.** Biomacrom. 2014. 15: 169–176.
- National Institutes of Health. 2002. Disponível em: <http://grants.nih.gov/grants/guide/pa-files/PA-03-047.html>. Acesso em 23 mar. 2020.
- NORDMANN, P.; CORNAGLIA, G. **Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae: a call for action!** Clinical Microbiology and Infection. 2012. 18: 411-412.
- QUIRYNEN, M.; MARECHAL, M.; BUSSCHER, H.J.; WEERKAMP, A.H.; DARIUS, P.L.; VAN STEENBERGHE, D. **The influence of surface free energy and surface roughness on early plaque formation.** An in vivo study in man. J. Clin. Periodontol. 1990. 17, 138–144.
- REGO, R. R. **Influência do uso de Distribuição Bimodal de Classes de Granalha no Processo de Shot Peening sobre o Perfil de Tensões Residuais de Engrenagens.** SENAI Cimatec. 2011.
- RODRÍGEZ, V. V.; MORA, A. I. G. G.; COSTA, D. P.; MARTÍN, M. L. G.; CALDERÓN, M. C. F. **Bacterial response to spatially organized microtopographic surface patterns with nanometer scale roughness.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2018. 169: 340–347.
- UÇKAY, I.; PITTET, D.; VAUDAUX, P.; SAX, H.; LEW, D.; WALDVOGEL, F. **Foreign body infections due to Staphylococcus epidermidis.** Annals of Medicine. 2009. 41: 109-119.
- VALIEV, R. **Nanostructuring of metals by severe plastic deformation for advanced properties.** Nat. Materials. 2004. 3: 511-516.
- VALIEV, R. Z.; ISLAMGALIEV, R. K.; ALEXANDROV, I. V. **Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation.** Prog. Material Science. 2000. 45: 103-189.
- YANG, M.; DING, Y; GE, X.; LENG, Y. **Control of bacterial adhesion and growth on honeycomb-like patterned surfaces.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 135. 2015. 549–555.