



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Fernanda Torres de Souza


**CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PLA  
PRODUZIDO POR MANUFATURA ADITIVA COM  
SELANTE ANTIMICROBIANO PARA USO NA  
CONFECÇÃO DE EPI**

Rio de Janeiro

2021

Fernanda Torres de Souza

**CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PLA PRODUZIDO POR  
MANUFATURA ADITIVA COM SELANTE ANTIMICROBIANO PARA  
USO NA CONFECÇÃO DE EPI**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Mecânica dos Sólido.

Orientador: Prof. Dr. Norberto Mangiavacchi  
Coorientador: Profa. Dra. Marília Garcia Diniz

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S729 Souza, Fernanda Torres de.  
Caracterização da superfície de PLA produzido por  
manufatura aditiva com selante antimicrobiano para uso na  
confeção de EPI / Fernanda Torres de Souza. – 2021.  
71f.

Orientador: Norberto Mangiavacchi.  
Coorientadora: Marília Garcia Diniz.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Polímeros - Teses. 3.  
Dispositivos protetores - Teses. 4. Agentes anti-infecciosos -  
Teses. I. Mangiavacchi, Norberto. II. Diniz, Marília Garcia. III.  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de  
Engenharia. IV. Título.

CDU 678.7:614.4

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou  
parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Fernanda Torres de Souza

**CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PLA PRODUZIDO POR  
MANUFATURA ADITIVA COM SELANTE ANTIMICROBIANO PARA  
USO NA CONFECÇÃO DE EPI**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Mecânica dos Sólido.

Aprovada em 08 de Junho de 2021.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Norberto Mangiavacchi (Orientador)  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

---

Profa. Dra. Marília Garcia Diniz (Coorientador)  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

---

Prof. Dr. Daniel José Nahid Mansur Chalhub  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

---

Prof. Dr. Marco Antônio Lemos Miguel  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

---

Prof. Dr. André Rocha Pimenta  
Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ

Rio de Janeiro

2021

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força, sabedoria alcançada, por ter me concedido a vida e ter me dado paciência e perseverança até aqui.

Aos meus pais, Joaquim e Neli, ao noivo Nathanael e padrinhos, João Raymundo e Maria Lúcia pelo amor, e pelo suporte ao longo dessa caminhada.

Aos meus orientadores, Prof. Norberto e Profa Marília pelos ensinamentos desde a graduação. Pelas suas excelentes aulas e atenção ao compartilhar sua sabedoria.

Aos professores que me auxiliaram e foram importantes nessa longa jornada acadêmica na UERJ.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante os estudos, dando suporte.

Aos professores Daniel Chalhub, Marco Antônio Miguel, e André Rocha Pimenta e o jovem aluno de IC Alex Reis, pelo apoio técnico nessa pesquisa para que os objetivos fossem alcançados.

Agradeço aos laboratórios da Engenharia Mecânica da UERJ, Microbiologia de Alimentos na Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ e IFRJ-Campos Paracambi pelo apoio nessa pesquisa e disponibilização de suas estruturas para a condução deste trabalho.

Enfim, a todos que foram citados aqui e aos tantos outros que não couberam neste pequeno espaço eu deixo o meu muito obrigada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.

*John Ruskin*

## RESUMO

SOUZA, Fernanda **Torres de**. *Caracterização da superfície de PLA produzido por manufatura aditiva com selante antimicrobiano para uso na confecção de EPI*. 2021. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar propriedades da superfície de polímero à base de poliácido láctico (PLA) utilizado na confecção de partes de protetores faciais e fabricados por manufatura aditiva (impressão 3D), na situação não recoberta e recoberta com selante inorgânico à base de Cobre (mistura de verniz com sulfato de cobre). A metodologia incluiu a fabricação das placas poliméricas de PLA através de manufatura aditiva, com o mesmo material e processo usado na confecção de suportes para protetores faciais comumente usados em ambientes hospitalares. As placas foram revestidas manualmente com um selante à base de Cobre e que teve seu efeito bactericida testado de modo *in vitro* sobre oito estirpes diferentes de bactérias que estão comumente presentes em ambiente hospitalar. Foram utilizadas técnicas de avaliação e inspeção visual, microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semiquantativa por espectroscopia por dispersão de energia (EDS), medidas de rugosidade, análise e processamento digital de imagens (PDI) e metodologia de testes *in vitro* para crescimento de culturas de bactérias. Os valores de rugosidade média (Ra) para as placas de PLA foram de  $22,51 \pm 8,40 \mu\text{m}$  na direção perpendicular às linhas de orientação preferencial geradas pela impressão e  $8,72 \pm 3,49 \mu\text{m}$  em direção paralela à estas linhas, o que indicou forte anisotropia na morfologia da superfície. Para teores entre 0,1 - 0,001g de Sulfato de Cobre / ml de selante preparado, o PLA apresentou os selantes fortemente aderidos após 24 horas de cura sobre as superfícies e os resultados de PDI mostraram que *clusters* de Sulfato de Cobre ocupavam áreas que variaram entre 1 - 17 % da área das placas.

Após etapa preliminar de avaliação qualitativa, na qual oito diferentes estirpes de bactérias mostraram que o selante possuía efeito antimicrobiano, foram realizados testes *in vitro* com a finalidade de quantificação da efetividade do efeito antimicrobiano com apenas duas espécies de bactérias, uma Gram Negativa (*Escherichia coli* ATCC 11229) e outra Gram Positiva (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923). Foram feitos testes em triplicata para o crescimento destas culturas sobre as placas de PLA com selante, com verniz e sem selante (controle). Após 30 minutos de inoculação das culturas comparando o inóculo final da placa sem selante (pura) com a placa com selante, obtivemos uma redução de 39,77x (redução de aproximadamente  $10^2$ ) de crescimento de unidades formadoras de colônias (ufc) para *Staphylococcus aureus* e uma redução de 43,72x (redução de aproximadamente  $10^2$ ) de crescimento de ufc para *Escherichia coli*.

Palavras-chave: PLA; impressão 3D; caracterização do selante; atividade antimicrobiana.

## ABSTRACT

SOUZA, Fernanda **Torres de**. *Surface characterization of PLA produced by additive manufacturing with antimicrobial sealant for use in the manufacture of PPE*. 2021. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

This work was to characterize the surface with a bactericidal sealant and to obtain properties of the polymer surface based on Polylactic acid (PLA) used in the manufacture of facial protectors (face shield) made by additive manufacturing (3D printing), with the sealant and without the sealant with inorganic copper-based sealant. The methodology included the manufacture of PLA through additive manufacturing, with the same material and process used in the manufacture of facial protectors commonly used in the hospital environments, such as those that were coated with a copper-based sealant. Visual exploration techniques, optical microscopy (OM), scanning electron microscope (SEM), chemical analysis by energy dispersion spectroscopy (EDS), surface roughness measurements and digital image analysis, processing (PDI) were used and *in vitro* tests. Roughness measurements for advanced PLA plates by 3D printing with and without the presence of the sealant, values of average roughness (Ra) of  $22.51 \pm 8.40 \mu\text{m}$  in the direction parallel to the guidance lines generated by printing and  $8.72 \pm 3.49 \mu\text{m}$  in a direction perpendicular to these lines, which indicates a Strong anisotropy in the surface morphology. For levels between 0.1 - 0.001g of copper Sulfate/ml of prepared sealant, PLA presents tightly adhered sealants after 24 h of curing and the results of PDI that these known surfaces covered with levels varying between 1 - 17% copper sulfate, respectively. The presence of a sealant with the lowest necessary copper Sulfate caused a smooth reduction in the roughness values, for both tested. Morphological, qualitative and quantitative analysis of the surface of the material and the inorganic agent will in the future be associated with quantitative and qualitative measurements of cell cultures to evaluate the bactericidal effects of the surface with the proposed sealant.

After a preliminary qualitative evaluation step, in which eight strains of bacteria showed that the sealant had antimicrobial effect, *in vitro* tests were performed to quantify the effectiveness of antimicrobial effect with only two types of bacteria, a Gram-Negative (*Escherichia coli ATCC 11229*) and another Gram-Positive (*Staphylococcus aureus ATCC 25923*). Triplicate tests were performed for the growth of these cultures on PLA plates with sealant, with varnish and without sealant (control). After 30 min of inoculation of cultures comparing the final inoculation, of the plate without sealant (pure) with the plate with sealant, we obtained a reduction of 39.77x (reduction of approximately  $10^2$ ) of growth of colony-forming units (ufc) for *Staphylococcus aureus* and a reduction of 43.72x (reduction of approximately  $10^2$ ) pfc growth for *Escherichia coli*.

Keywords: PLA; 3D printing; sealant characterization; antimicrobial activity.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Utilização de EPIs durante a pandemia causada pelo COVID-19 em 2020 em hospitais . . . . .	23
Figura 2 - Atividade antimicrobiana de nCu (nanopartículas de cobre) contra <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . . . . .	25
Figura 3 - Mecanismo de toxicidade do cobre nos microorganismos . . . . .	26
Figura 4 - Estudo da distribuição de nano partículas de cobre de acordo com seu tamanho em fibras de materiais PET (polietileno tereftalato, polímero termoplástico). . . . .	28
Figura 5 - Colônias de crescimento de <i>E.coli</i> e <i>S. aureus</i> em filmes de diferentes concentrações de cobre . . . . .	30
Figura 6 - <i>Face shields</i> confeccionados por manufatura aditiva nos laboratórios da Engenharia Mecânica da UERJ. A estrutura de cor laranja é obtida a partir de filamentos de PLA. . . . .	37
Figura 7 - a) Amostra de PLA com 0,100g de CuSO <sub>4</sub> , b) Amostra de PLA com 0,0100g de CuSO <sub>4</sub> , c) Amostra de PLA com 0,0010g de CuSO <sub>4</sub> , d) Amostra de PLA apenas com verniz. . . . .	39
Figura 8 - Triplicatas na placa de petri com faixas com selante e sem selante em cada extremidade da lâmina de vidro para avaliação do efeito bactericida do selante de forma qualitativa . . . . .	42
Figura 9 - Teste com placas de PLA com o selante após a contaminação com <i>Escherichia coli</i> (ATCC) 11229 e <i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC) 25923, Para a avaliação efetiva da atividade inibitória do selante proposto . . . . .	44
Figura 10 - Contagem manual e quantificação de cada ponto de unidade formadora de colônia após a inoculação e escovação das placas de PLA com selante proposto. . . . .	46
Figura 11 - Fluxograma esquemático dos testes do efeito bactericida para o selante proposto. . . . .	47
Figura 12 - Perfil de rugosidade (Evaluation Profile) do PLA sem verniz e com verniz. Em direção paralela às linhas de deposição da impressão (a). Em direção perpendicular às linhas de deposição (b). . . . .	50
Figura 13 - Superfície do PLA com selante (a) e superfície do PLA sem selante (b). MEV, magnificação 50 X. Em ambas as imagens podem ser observadas as linhas de impressão. . . . .	52
Figura 14 - Partículas de sulfato de cobre (regiões azuladas) aderidas sobre a superfície do PLA. MO, objetiva 10 X. . . . .	52

Figura 15 - Análise por MEV e EDS de cluster de partículas de sulfato de cobre depositado no PLA. a – imagem de MEV, ampliação 120X. b – resultado de EDS por mapeamento dos elementos químicos presentes; c – espectro de energias características. . . . .	54
Figura 16 - Partículas de sulfato de cobre ocupando aproximadamente 17% da superfície revestida, medidas obtidas por PDI . . . . .	55
Figura 17 - Teste preliminar com faixa superior em lâmina de vidro com selante proposto demonstrando a sua atividade bactericida por meio da não turvação e faixa inferior apenas com o verniz na lâmina de vidro mostrando a sua não atividade bactericida por meio da turvação na região da faixa de verniz nas amostras com a) <i>Staphylococcus aureus</i> e b) <i>Escherichia coli</i> . . . . .	56
Figura 18 - Gráfico comparativo do antes x depois da inoculação das bactérias sobre a placa de PLA pura (controle), placa com verniz e placa com selante: Cultura de <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 Tempo de inoculação de 30 minutos. . . . .	59
Figura 19 - Gráfico comparativo do antes x depois da inoculação das bactérias sobre a placa de PLA pura (controle), placa com verniz e placa com selante: Cultura de <i>Escherichia coli</i> ATCC 11229 Tempo de inoculação de 30 minutos. . . . .	60
Figura 20 - Placas de PLA com selante antes da limpeza (a), após a limpeza com Hipoclorito de sódio (água sanitária) (b), após a limpeza com Lysoform (Johnson) (c) e após a limpeza com água e sabão (d). . . . .	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Patógenos comuns em ambientes hospitalares. . . . .	19
Tabela 2 - Requisitos para o crescimento de microorganismos de importância clínica	33
Tabela 3 - Misturas utilizadas para teste <i>In Vitro</i> do selante proposto . . . . .	38
Tabela 4 - Quadro de rugosidade média (Ra) para placas de PLA sem verniz e com verniz. . . . .	51
Tabela 5 - Quantidade de ufc contadas em cada placa de PLA de amostra no teste com a bactéria <i>Staphylococcus aureus ATCC 25923</i> para inóculos de 10 $\mu$ l.	57
Tabela 6 - Quantidade de inóculo inicial e final de contagem das placas de acordo com a escala McFarland feita em cada placa de PLA (Pura, com verniz e com selante) contadas em cada amostra no teste com a bactéria <i>Staphylococcus aureus ATCC 25923</i> . para inóculos de 10 $\mu$ l. . . . .	58
Tabela 7 - Quantidade de ufc contadas em cada placa de PLA de amostra no teste com a bactéria <i>Escherichia coli ATCC 11229</i> para inóculos de 10 $\mu$ l. . . . .	58
Tabela 8 - Quantidade de inóculo inicial e final de contagem das placas de acordo com a escala McFarland feita em cada placa de PLA (Pura, com verniz e com selante) contadas em cada amostra no teste com a bactéria <i>Escherichia coli ATCC 11229</i> . para inóculos de 10 $\mu$ l. . . . .	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PLA	Poliácido Láctico
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MO	Microscopia ótica
EPI	Equipamento de proteção individual
PDI	Processamento Digital de Imagens
Ra	Rugosidade Média
IFRJ	Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
McF	<i>Mc Farland</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
CAGR	Taxa de crescimento anual composta
pH	Potencial Hidrogênico
$\mu$	Micro
$\mu\text{m}$	Micrometro
m	Metro
mm	Milímetro
mm/s	Milímetro por segundo
cm	Centímetro
l	litro
ml	Mililitro
g	Gramma
Kg	Kilograma
kT	Kilotonelada
kV	Kilovolts
°C	Graus Celsius
%	Porcento
Cu	Cobre
TSA	Agar Trypticaseína de soja
TSB	<i>Tryptic Soy Broth</i>
BHI	<i>Brain Heart Infusion</i>
ATCC	<i>American Type Culture Collection</i>

RGB	<i>Red- Green- Blue</i>
$A_A$	Área percentual

## SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO . . . . .	14
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	16
1.1	Histórico uso do cobre na área médica . . . . .	16
1.2	Exposição de materiais em ambiente hospitalar . . . . .	16
1.3	Resistência bacteriana . . . . .	17
1.4	Equipamento de proteção individual . . . . .	20
1.4.1	<u>Histórico da utilização do EPI em ambientes hospitalares</u> . . . . .	20
1.4.2	<u>EPIs utilizados nas Unidades de Emergência</u> . . . . .	21
1.5	Cobre como antimicrobiano. . . . .	24
1.6	Testes <i>in vitro</i> . . . . .	29
1.6.1	<u>Estudos <i>in vitro</i> utilizando cobre</u> . . . . .	29
1.7	Testes <i>in vivo</i> . . . . .	30
1.7.1	<u>Estudos <i>in vivo</i> utilizando a prata</u> . . . . .	31
1.8	Fatores de crescimento das culturas de bactérias e vírus . . . . .	32
1.9	Ácido Polilático (PLA) . . . . .	34
2	MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	36
2.1	Composição do EPI e do selante . . . . .	36
2.2	Parâmetros de impressão e confecção do PLA . . . . .	36
2.3	Selante à base de cobre . . . . .	37
2.4	Medidas de rugosidade do PLA sem selante e com selante . . . . .	38
2.5	Processamento digital de imagens (PDI), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia ótica (MO) e micro análise química por espectroscopia por dispersão de energia ( <i>Energy Dispersive Spectroscopy - EDS</i> ) . . . . .	40
2.6	Alteração do efeito bactericida do selante na superfície de PLA . . . . .	40
2.7	Avaliação qualitativa dos selantes após processos de limpeza comumente utilizados . . . . .	48
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	49
3.1	Rugosidade do PLA sem selante e com selante . . . . .	49
3.2	Processamento digital de imagens (PDI), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia ótica (MO) e microanálise química por espectroscopia por dispersão de energia ( <i>Energy Dispersive Spectroscopy - EDS</i> ) . . . . .	51
3.3	Testes <i>in vitro</i> . . . . .	53
3.4	Resultado da avaliação qualitativa do selante após processo de limpeza comumente utilizado . . . . .	60

CONCLUSÃO . . . . .	62
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .	63
REFERÊNCIAS . . . . .	64

## INTRODUÇÃO

O uso do cobre na medicina como agente antimicrobiano era comum até o aparecimento dos primeiros antibióticos comercializados e utilizados em 1940, caindo, portanto, em desuso. O mais antigo registro médico citado do uso de cobre foi encontrado em um papiro egípcio antigo, datado de 2600 a 2200 a.C., que detalha o uso do mesmo para fazer a assepsia de feridas e para uso em limpeza de recipientes com água potável. Atualmente, o aumento da resistência de diversos microrganismos às drogas para o tratamento clínico, assim como o surgimento de novos patógenos, tem levado à necessidade da busca por métodos alternativos no controle dos microrganismos. Entre eles, o uso do cobre pode ser uma das alternativas (BARRIE, 2017).

Superfícies de unidades de saúde são considerados como superfícies com um grande mecanismo por parte dos microrganismos para escapar da ação dos antibióticos ali encontrados, em função do elevado uso de substâncias antimicrobianas. Estes patógenos podem contaminar direta ou indiretamente pacientes, funcionários e visitantes através de fômites, que são as superfícies de contato (objetos) capaz de absorverem, reterem ou transportarem organismos contagiantes ou infecciosos, de um indivíduo para o outro. Há vários exemplos de fômites na Medicina. Calçados contaminados podem Disseminar infecções, na pele e mucosas (MORGAN et al., 2010b; SIFRI; BURKE; ENFIELD, 2016).

A habilidade é um ato instintivo ou desenvolvido por entidades biológicas e faz dela uma superfície dita antimicrobiana. Alguns estudos têm demonstrado a maior eficácia antimicrobiana do cobre quando comparado com o alumínio, aço inoxidável, PVC e polietileno, por exemplo. O efeito antimicrobiano do cobre depende de uma série de fatores relacionados ao sistema, tais como a temperatura, a acidez ou basicidade do meio e presença de matéria orgânica, entre outros. Além disso, propriedades relacionadas à superfície do material, tais como aspectos morfológicos, rugosidade, composição química e tensão superficial, irão afetar a capacidade de adesão, sobrevivência e reprodução de microorganismos (JUNIOR, 2008; AMEER; OTHMAN, 2012; DELGADO et al., 2011; CIOFFI et al., 2005).

Apesar da ação antimicrobiana contra diversos microrganismos de importância industrial e ambiental, destaca-se a eficácia do cobre contra patógenos humanos e animais, que são rapidamente inativados quando em contato com esta substância. Entre os microrganismos de interesse clínico se destacam as bactérias patogênicas ou os seguintes patógenos *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Salmonella Enteritidis*, *Legionella pneumophila*, *Enterobacter spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus do grupo D* (agora gênero *Enterococcus*), *Pseudomonas aeruginosa* e *Mycobacterias* associadas à tuberculose. Entre os fungos patogênicos já existe ação comprovada contra *Aspergillus niger* e *Candida albicans*. Entre



os vírus já foi verificada a ação contra o Poliovírus e o agente causador da poliomielite (SANIN; SANIN; BRYERS, 2003; NORDSTROM; REYNOLDS; GERBA, 2012; CASEY et al., 2011).

Os mecanismos antimicrobianos do cobre são complexos e ocorrem em diferentes formas, tanto dentro das células quanto nos espaços intersticiais entre as células. Um fator crítico responsável pelas propriedades antimicrobianas do cobre é o seu alto potencial de redução. Esta propriedade química permite que os íons de cobre alterem as proteínas dentro das células dos micróbios (desorganizando seu DNA) para que elas já não possam realizar suas funções normais. Também já foi observado que o cobre é responsável por inibir o transporte eletrônico nas interações da parede celular, ligando-se ao DNA (ácido desoxirribonucleico) e desordenando as estruturas helicoidais. Através destes mecanismos e outros, o cobre deixa inativos muitos tipos de bactérias, fungos e vírus (CASEY et al., 2011).

Uma vez que a utilização de equipamentos hospitalares e equipamentos de proteção individual (EPI's) de cobre não seriam viáveis, devido a custos envolvidos e outras questões de projeto, o uso de recobrimentos à base de cobre (vernizes especiais, tintas ou selantes) poderão trazer os benefícios antimicrobianos no ambiente hospitalar. Os selantes são revestimentos orgânicos ou inorgânicos que podem ser usados sobre diversos tipos de superfícies como na forma de tinta ou vernizes. Os selantes podem ser a base de resina (epóxi, poliéster ou poliuretano) ou cera, podem ter pigmentos metálicos ou não. No entanto, para que seja garantido o bom desempenho dos selantes, eles devem ter baixa razão de sólidos por volume, os pigmentos sólidos devem ser pequenos e compatíveis com a superfície a ser recoberta, o selante deve absorver pouca água, ser compatível com ambiente de trabalho e possuir baixa espessura, geralmente  $75 \mu m$  ou menor (STANDARD; STANDARD, 1988; JIAO et al., 2017; AMOUSOLTANI; SALIMIJAZI; GOLOZAR, 2019).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar superfícies de polímero à base de PLA (poliácido láctico) usados na confecção de suportes de *face shields* (protetores faciais) fabricados por manufatura aditiva (impressão 3D), não recobertos e recobertos com um selante inorgânico à base de cobre (*clusters* de cobre em suspensão). Foram realizados testes *In Vitro* para a avaliação do efeito antimicrobiano das superfícies impressas e do selante proposto. O selante foi fabricado e aplicado manualmente sobre os mesmos materiais utilizados para a confecção de suportes de *face shields* (protetor facial).

## REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. de N. T. *ABNT NBR ISO 4287:2002 – ABNTCatálogo*. 2002. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/ABNTNBRISO4287>.
- ABNT, A. B. de N. T. *ABNT NBR ISO 4288:2008 – ABNTCatálogo*. 2008. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/ABNTNBRISO4288>.
- ABNT, A. B. de N. T. *ABNT NBR ISO 13688:2017 – ABNTCatálogo*. 2017. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>.
- AHMED, M. et al. Physical and biological changes associated with the doping of carbonated hydroxyapatite/polycaprolactone core-shell nanofibers dually, with rubidium and selenite. *Journal of Materials Research and Technology*, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 3710–3723, 2020.
- ALI, M.; WINTERER, M. ZnO nanocrystals: surprisingly ‘alive’. *Chemistry of Materials*, ACS Publications, v. 22, n. 1, p. 85–91, 2010.
- ALLEN, J. M.; GOSSETT, C. J.; ALLEN, S. K. Photochemical formation of singlet molecular oxygen ( $^1O_2$ ) in illuminated aqueous solutions of p-aminobenzoic acid (paba). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Elsevier, v. 32, n. 1-2, p. 33–37, 1996.
- AMEER, R.; OTHMAN, R. Sustainability practices and corporate financial performance: A study based on the top global corporations. *Journal of business ethics*, Springer, v. 108, n. 1, p. 61–79, 2012.
- AMOUSOLTANI, N.; SALIMIJAZI, H.; GOLOZAR, M. Study of alumina sealing of hvof thermally sprayed wc-co coatings by sol-gel method. *Materials Research Express*, IOP Publishing, v. 7, n. 1, p. 016410, 2019.
- ANTIMICROBIAL, E. plastics and the european biocidal products directive. *Plastics Additives & Compounding*, Elsevier, 2002.
- ANVISA, A. nacional de vigilância sanitária. *Medidas de prevenção e controle que devem ser adotadas durante a assistência aos casos suspeitos ou confirmados de infecção pelo novo coronavírus (covid19)*. 2020. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/33852/271858/Nota+T\\$%C3\\$%A9cnica+n+04-2020+GVIMS-GGTES-ANVISA/ab598660-3de4-4f14-8e6f-b9341c196b28](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33852/271858/Nota+T$%C3$%A9cnica+n+04-2020+GVIMS-GGTES-ANVISA/ab598660-3de4-4f14-8e6f-b9341c196b28).
- BARRIE, B. L. Do paleolítico à queda de roma. *Babelcube Inc*, n. 7, p. 81, 2017.
- BLOECHER, N.; FLOERL, O. Efficacy testing of novel antifouling coatings for pen nets in aquaculture: How good are alternatives to traditional copper coatings? *Aquaculture*, Elsevier, v. 519, p. 734936, 2020.
- BORKOW, G.; GABBAY, J. Copper as a biocidal tool. *Current medicinal chemistry*, Bentham Science Publishers, v. 12, n. 18, p. 2163–2175, 2005.

- CASEY, A. L. et al. A comparative study to evaluate surface microbial contamination associated with copper-containing and stainless steel pens used by nurses in the critical care unit. *American journal of infection control*, Elsevier, v. 39, n. 8, p. e52–e54, 2011.
- CHAKRADHAR, T. et al. Biotechnological perspective of reactive oxygen species (ros)-mediated stress tolerance in plants. In: *Reactive Oxygen Species and Antioxidant Systems in Plants: Role and Regulation under Abiotic Stress*. [S.l.]: Springer, 2017. p. 53–87.
- CHANDRASEKARAN, M.; KANNATHASAN, K.; VENKATESALU, V. Antimicrobial activity of fatty acid methyl esters of some members of chenopodiaceae. *Zeitschrift für Naturforschung C*, Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, v. 63, n. 5-6, p. 331–336, 2008.
- CHEN, J. Global markets and technologies for bioplastics. *BCC Research report PLS050C*, 2014.
- CHERNOUSOVA, S.; EPPLE, M. Silver as antibacterial agent: ion, nanoparticle, and metal. *Angewandte Chemie International Edition*, Wiley Online Library, v. 52, n. 6, p. 1636–1653, 2013.
- CIOFFI, N. et al. Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Chemistry of Materials*, ACS Publications, v. 17, n. 21, p. 5255–5262, 2005.
- COONEY, T. E. Bactericidal activity of copper and non-copper paints. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, Cambridge University Press, v. 16, n. 8, p. 444–450, 1995.
- CRAUGHWELL, M.; LIU, A. How a medical miracle evolved into a human hazard: The history of antibiotic resistance. *The iScientist*, v. 3, n. 1, p. 28–33, 2018.
- D'ARCY, N. Antimicrobials in plastics: a global review. *Plastics, Additives and Compounding*, Elsevier, v. 3, n. 12, p. 12–15, 2001.
- DELGADO, K. et al. Polypropylene with embedded copper metal or copper oxide nanoparticles as a novel plastic antimicrobial agent. *Letters in applied microbiology*, Wiley Online Library, v. 53, n. 1, p. 50–54, 2011.
- DHUMAL, C. V.; PAL, K.; SARKAR, P. Synthesis, characterization, and antimicrobial efficacy of composite films from guar gum/sago starch/whey protein isolate loaded with carvacrol, citral and carvacrol-citral mixture. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 30, n. 10, p. 1–14, 2019.
- DINIZ, M. et al. Surface topography modulates the osteogenesis in human bone marrow cell cultures grown on titanium samples prepared by a combination of mechanical and acid treatments. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 13, n. 4, p. 421–432, 2002.
- DINIZ, M. G. et al. Characterization of titanium surfaces for dental implants with inorganic contaminant. *Brazilian oral research*, SciELO Brasil, v. 19, n. 2, p. 106–111, 2005.

ERGAIEG, K. et al. Involvement of both type i and type ii mechanisms in gram-positive and gram-negative bacteria photosensitization by a meso-substituted cationic porphyrin. *Solar Energy*, Elsevier, v. 82, n. 12, p. 1107–1117, 2008.

ESPAÑA-SÁNCHEZ, B. L. et al. Nanocompuestos de polipropileno con nanopartículas de cobre: preparación, activación superficial por plasma y actividad antibacteriana. *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato, v. 24, n. 3, p. 13–24, 2014.

FAN, B. et al. Synthesis of ag/rgo composite materials with antibacterial activities using facile and rapid microwave-assisted green route. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 29, n. 5, p. 1–9, 2018.

FUJITANI, S.; MOFFETT, K. S.; YU, V. Pseudomonas aeruginosa. *Antimicrobe: Infectious Disease & Antimicrobial Agents* <http://www.antimicrobe.org/new/b112.asp>, 2017.

GARCIA-GODOY, F. et al. Long-term degradation of enamel and dentin bonds: 6-year results in vitro vs. in vivo. *Dental Materials*, Elsevier, v. 26, n. 11, p. 1113–1118, 2010.

GERDING, D. N.; MUTO, C. A.; JR, R. C. O. Measures to control and prevent clostridium difficile infection. *Clinical Infectious Diseases*, The University of Chicago Press, v. 46, n. Supplement\_1, p. S43–S49, 2008.

GOMES, J. Saúde ocupacional no hospital. revista paulista de hospitais. In: *Saúde ocupacional no hospital, Rev Paul Hosp.* [S.l.: s.n.], 1974. p. 274.

GRASS, G.; RENSING, C.; SOLIOZ, M. Metallic copper as an antimicrobial surface. *Applied and environmental microbiology*, Am Soc Microbiol, v. 77, n. 5, p. 1541–1547, 2011.

HICKSON, M. Probiotics in the prevention of antibiotic-associated diarrhoea and clostridium difficile infection. *Therapeutic advances in gastroenterology*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 4, n. 3, p. 185–197, 2011.

HOUDT, R. V.; MICHELS, C. Biofilm formation and the food industry, a focus on the bacterial outer surface. *Journal of applied microbiology*, Wiley Online Library, v. 109, n. 4, p. 1117–1131, 2010.

HUGHES, R. Patient safety and quality: An evidence-based handbook for nurses. Agency for Healthcare Research and Quality Rockville, MD, 2008.

HWANG, G. B. et al. White light-activated antimicrobial surfaces: effect of nanoparticles type on activity. *Journal of Materials Chemistry B*, Royal Society of Chemistry, v. 4, n. 12, p. 2199–2207, 2016.

INGLE, A. P.; DURAN, N.; RAI, M. Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: a review. *Applied microbiology and biotechnology*, Springer, v. 98, n. 3, p. 1001–1009, 2014.

JI, X. et al. Synthesis and in-vitro antibacterial properties of a functionally graded ag impregnated composite surface. *Materials Science and Engineering: C*, Elsevier, v. 99, p. 150–158, 2019.

- JIAO, J. et al. Influence of sealing treatment on the corrosion resistance of fe-based amorphous coatings in hcl solution. *Journal of Alloys and Compounds*, Elsevier, v. 714, p. 356–362, 2017.
- JUNIOR, A. C. C. d. A. Aspectos jurídicos do licenciamento ambiental brasileiro: uma análise do conflito de competência para licenciar. 2008.
- KATSIKOIANNI, M. et al. Adhesion of slime producing staphylococcus epidermidis strains to pvc and diamond-like carbon/silver/fluorinated coatings. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 17, n. 8, p. 679–689, 2006.
- KRAMARENKO, G. G. et al. Ascorbate reacts with singlet oxygen to produce hydrogen peroxide. *Photochemistry and photobiology*, Wiley Online Library, v. 82, n. 6, p. 1634–1637, 2006.
- LAB, D. *PLA: Tudo que você precisa saber sobre o filamento PLA*. 2020. Disponível em: <[https://3dlab.com.br/pla-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-filamento-pla/#O\\_que\\_e\\_material\\_PLA](https://3dlab.com.br/pla-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-filamento-pla/#O_que_e_material_PLA)>.
- LENNETTE, E. et al. Manual of clinical microbiology. american society for microbiology. *Washington DC*, 1985.
- LIU, X. et al. Antibacterial abilities and biocompatibilities of ti–ag alloys with nanotubular coatings. *International journal of nanomedicine*, Dove Press, v. 11, p. 5743, 2016.
- MARIK, P.; SHANKARAN, S.; KING, L. The effect of copper-oxide-treated soft and hard surfaces on the incidence of healthcare-associated infections: a two-phase study. *Journal of Hospital Infection*, Elsevier, v. 105, n. 2, p. 265–271, 2020.
- MATHYS, Z. K.; WHITE, A. R. Copper and alzheimer’s disease. *Neurotoxicity of Metals*, Springer, p. 199–216, 2017.
- MENAZEA, A.; AHMED, M. Silver and copper oxide nanoparticles-decorated graphene oxide via pulsed laser ablation technique: Preparation, characterization, and photoactivated antibacterial activity. *Nano-Structures & Nano-Objects*, Elsevier, v. 22, p. 100464, 2020.
- MEULENKAMP, E. A. Synthesis and growth of zno nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry B*, ACS Publications, v. 102, n. 29, p. 5566–5572, 1998.
- MOHORČIČ, M. et al. Surface with antimicrobial activity obtained through silane coating with covalently bound polymyxin b. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 21, n. 10, p. 2775–2782, 2010.
- MORGAN, D. J. et al. Frequent multidrug-resistant acinetobacter baumannii contamination of gloves, gowns, and hands of healthcare workers. *Infection control and hospital epidemiology: the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America*, NIH Public Access, v. 31, n. 7, p. 716, 2010.
- MORGAN, D. J. et al. The propeptide precursor prosaas is involved in fetal neuropeptide processing and body weight regulation. *Journal of neurochemistry*, Wiley Online Library, v. 113, n. 5, p. 1275–1284, 2010.

NAMPOOTHIRI, K. M.; NAIR, N. R.; JOHN, R. P. An overview of the recent developments in polylactide (pla) research. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 101, n. 22, p. 8493–8501, 2010.

NASCIMENTO, C. A. D. L. *Implantação na NR 32 no Hospital Cruz Azul de São Paulo*. 2008.

NEJABATDOUST, A. et al. Synthesis, characterization and functionalization of zno nanoparticles by glutamic acid (glu) and conjugation of zno@ glu by thiosemicarbazide and its synergistic activity with ciprofloxacin against multi-drug resistant staphylococcus aureus. *Journal of Cluster Science*, Springer, v. 30, n. 2, p. 329–336, 2019.

NGANGA, S. et al. In vitro antimicrobial properties of silver–polysaccharide coatings on porous fiber-reinforced composites for bone implants. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 24, n. 12, p. 2775–2785, 2013.

NGUYEN, V. T.; TRINH, K. S. In situ deposition of copper nanoparticles on polyethylene terephthalate filters and antibacterial testing against escherichia coli and salmonella enterica. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, SciELO Brasil, v. 36, n. 4, p. 1553–1560, 2019.

NISHIDE, V. M.; BENATTI, M. C. C. Riscos ocupacionais entre trabalhadores de enfermagem de uma unidade de terapia intensiva. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, SciELO Brasil, v. 38, n. 4, p. 406–414, 2004.

NOIMARK, S. et al. Dual-mechanism antimicrobial polymer–zno nanoparticle and crystal violet-encapsulated silicone. *Advanced Functional Materials*, Wiley Online Library, v. 25, n. 9, p. 1367–1373, 2015.

NORDSTROM, J. M.; REYNOLDS, K. A.; GERBA, C. P. Comparison of bacteria on new, disposable, laundered, and unlaundered hospital scrubs. *American journal of infection control*, Elsevier, v. 40, n. 6, p. 539–543, 2012.

NR-06, E. nacional de inspeção do trabalho. *NR-06*. 1978. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-06.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-06.pdf).

NR-09, S. de T. *NR-09*. 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2019.pdf>.

NR-32, S. de T. *NR-32*. 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-32.pdf>.

OLIVEIRA, M. M. M. d.; BRUGNETRA, D. F.; PICCOLI, R. H. Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)*, v. 69, n. 3, p. 277–284, 2010.

OTTER, J. A.; YEZLI, S.; FRENCH, G. L. The role of contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. In: *Use of biocidal surfaces for reduction of healthcare acquired infections*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 27–58.

- PALZA, H. Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *International journal of molecular sciences*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 1, p. 2099–2116, 2015.
- PALZA, H. et al. Polypropylene in the melt state as a medium for in situ synthesis of copper nanoparticles. *AIChE Journal*, Wiley Online Library, v. 60, n. 10, p. 3406–3411, 2014.
- PALZA, H. et al. In situ antimicrobial behavior of materials with copper-based additives in a hospital environment. *International journal of antimicrobial agents*, Elsevier, v. 51, n. 6, p. 912–917, 2018.
- PELEG, A. Y.; HOOPER, D. C. Hospital-acquired infections due to gram-negative bacteria. *New England Journal of Medicine*, Mass Medical Soc, v. 362, n. 19, p. 1804–1813, 2010.
- PONNUVELU, D. V. et al. Enhanced cell-wall damage mediated, antibacterial activity of core-shell ZnO@Ag heterojunction nanorods against Staphylococcus aureus and Pseudomonas aeruginosa. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 26, n. 7, p. 1–12, 2015.
- PRADO, V.; VIDAL, R.; DURÁN, C. Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica. *Revista médica de Chile*, Sociedad Médica de Santiago, v. 140, n. 10, p. 1325–1332, 2012.
- RAHA, S. et al. Is copper beneficial for COVID-19 patients? *Medical hypotheses*, Elsevier, v. 142, p. 109814, 2020.
- RAMAZZINI, B. As doenças dos trabalhadores. In: *As doenças dos trabalhadores*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 324–324.
- RAMSDEN, J. et al. Disastrous performance of nanocote/aqua-based antimicrobial paint in a hospital setting. *J Biol Chem Phys Chem*, v. 16, n. 3, p. 131–136, 2016.
- RDC, R. de D. C. *RESOLUÇÃO - RDC Nº 356, DE 23 DE MARÇO DE 2020*. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-356-de-23-de-marco-de-2020-249317437>.
- RESENDE, M.; CMCB, F. Risco ocupacional entre profissionais da área de saúde e medidas de proteção. *Colibrini MRC, Figueiredo RM, Paiva MC, organizadoras. Leito-dia em AIDS: uma experiência multiprofissional. São Paulo (SP): Atheneu*, p. 139–57, 2001.
- RIBEIRO, V. F. Desenvolvimento de compósitos antimicrobianos a base de sebs/pp aditivados com partículas de cobre. 2019.
- SÁNCHEZ-SANHUEZA, G.; FUENTES-RODRÍGUEZ, D.; BELLO-TOLEDO, H. Nanopartículas de cobre como potencial agente antimicrobiano en la desinfección de canales radiculares: Revisión sistemática. *International journal of odontostomatology*, Universidad de La Frontera, v. 10, n. 3, p. 547–554, 2016.

- SANIN, S. L.; SANIN, F. D.; BRYERS, J. D. Effect of starvation on the adhesive properties of xenobiotic degrading bacteria. *Process Biochemistry*, Elsevier, v. 38, n. 6, p. 909–914, 2003.
- SCULLY, J. R. *The COVID-19 Pandemic, Part 1: Can Antimicrobial Copper-Based Alloys Help Suppress Infectious Transmission of Viruses Originating from Human Contact with High-Touch Surfaces?* [S.l.]: NACE International, 2020.
- SENADO, F. *Senadores lamentam colapso na saúde, mas comemoram número de curados.* 2020.
- SHEN, Y.; GAO, J.; LI, L. Municipal wastewater treatment via co-immobilized microalgal-bacterial symbiosis: microorganism growth and nutrients removal. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 243, p. 905–913, 2017.
- SIFRI, C. D.; BURKE, G. H.; ENFIELD, K. B. Reduced health care-associated infections in an acute care community hospital using a combination of self-disinfecting copper-impregnated composite hard surfaces and linens. *American journal of infection control*, Elsevier, v. 44, n. 12, p. 1565–1571, 2016.
- SONG, J. et al. Antibacterial properties and biocompatibility in vivo and vitro of composite coating of pure magnesium ultrasonic micro-arc oxidation phytic acid copper loaded. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 30, n. 5, p. 1–14, 2019.
- STANDARD, B.; STANDARD, A. International standards. *INTERNATIONAL ORGANIZATION*, v. 1988, p. 12–15, 1988.
- SUN, C. et al. Durable and washable antibacterial copper nanoparticles bridged by surface grafting polymer brushes on cotton and polymeric materials. *Journal of Nanomaterials*, Hindawi, v. 2018, 2018.
- THOMAS, S.; MCCUBBIN, P. A comparison of the antimicrobial effects of four silver-containing dressings on three organisms. *Journal of wound care*, MA Healthcare London, v. 12, n. 3, p. 101–107, 2003.
- USMAN, M. S. et al. Synthesis, characterization, and antimicrobial properties of copper nanoparticles. *International journal of nanomedicine*, Dove Press, v. 8, p. 4467, 2013.
- VOLPATO, N. *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.* [S.l.]: Editora Blucher, 2017.
- WELDEGEBRIEAL, G. K. Photocatalytic and antibacterial activity of CuO nanoparticles biosynthesized using verbascum thapsus leaves extract. *Optik*, Elsevier, v. 204, p. 164230, 2020.
- XI, J. et al. Copper/carbon hybrid nanozyme: Tuning catalytic activity by the copper state for antibacterial therapy. *Nano letters*, ACS Publications, v. 19, n. 11, p. 7645–7654, 2019.
- XUE, Y. et al. In vitro and in vivo evaluation of chitosan scaffolds combined with simvastatin-loaded nanoparticles for guided bone regeneration. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Springer, v. 30, n. 4, p. 1–13, 2019.



- ZAHRAN, M.; MAREI, A. H. Innovative natural polymer metal nanocomposites and their antimicrobial activity. *International journal of biological macromolecules*, Elsevier, v. 136, p. 586–596, 2019.
- ZAMAN, S. B. et al. A review on antibiotic resistance: alarm bells are ringing. *Cureus*, Cureus Inc., v. 9, n. 6, 2017.
- ZHUANG, Y. et al. Antibacterial activity of copper-bearing 316l stainless steel for the prevention of implant-related infection. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, Wiley Online Library, v. 108, n. 2, p. 484–495, 2020.
- ZOTTOLA, E. A.; SASAHARA, K. C. Microbial biofilms in the food processing industry—should they be a concern? *International journal of food microbiology*, Elsevier, v. 23, n. 2, p. 125–148, 1994.