



Universidade de São Paulo (USP)  
Programa de doutorado em engenharia de materiais

Everton Diniz dos Santos

**Talheres anti-patogênicos por ação de filme nanoestruturado de “diamond-like carbon”**

Lorena  
2023

Everton Diniz dos Santos

**Talheres anti-patogênicos por ação de filme nanoestruturado de “diamond-like carbon”**

Lorena  
2023

## **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Câmara de vácuo do sistema PECVD desenvolvido pelo pesquisador responsável por este projeto. . . . .	23
Figura 2 – Colheres recobertas com filme de DLC, crescidos com diferentes parâmetros de tempo, potência e fonte de carbono. . . . .	24
Figura 3 – Amostra produzida com DLC dopado com átomos de cobre. . . . .	25
Figura 4 – Amostra produzida com filme de menor espessura em alta potência. Se observa pela imagem sinais de sparks que comprometem a aderência do filme ao substrato, sendo necessário maiores estudos. . . . .	26
Figura 5 – Amostra recoberta com filme mais espesso. A esquerda se observa amostra controle, e a direita a amostra beneficiada. . . . .	27
Figura 6 – Carta de aceite da publicação, com a data de publicação. . . . .	28

## Sumário

1	<b>Introdução e justificativas . . . . .</b>	<b>4</b>
2	<b>Objetivo . . . . .</b>	<b>7</b>
3	<b>Método . . . . .</b>	<b>8</b>
4	<b>Resultados Esperados . . . . .</b>	<b>9</b>
5	<b>Equipe envolvida . . . . .</b>	<b>11</b>
6	<b>Local de execução do projeto . . . . .</b>	<b>12</b>
7	<b>Potenciais veículos de apresentação de resultados . . . . .</b>	<b>13</b>
8	<b>Orçamento detalhado e justificado . . . . .</b>	<b>14</b>
9	<b>Especialidades . . . . .</b>	<b>16</b>
10	<b>Palavras-chave . . . . .</b>	<b>17</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>18</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>21</b>
	<b>ANEXO A – Resultados obtidos no ensaio piloto . . . . .</b>	<b>22</b>

## 1 Introdução e justificativas

No cenário atual da segurança alimentar, a contaminação de alimentos e as doenças transmitidas por meio do processo de alimentação, representam desafios significativos para a saúde pública em todo o mundo (Dancer, 2004; Unegbu, 1998). Entre as várias vias de contaminação, a má higienização dos talheres e utensílios de cozinha emerge como um fator de risco crítico, contribuindo para a disseminação de patógenos, e surtos de doenças bacterianas, parasitárias, virais e fúngicas (Percival; Bowler; Russell, 2005; Unegbu, 1998, cross infection). Nesse contexto, o presente projeto visa explorar uma abordagem inovadora para aprimorar a segurança no processo de alimentação em refeitórios, com destaque a hospitais, presídios, escolas públicas, quartéis militares e restaurantes; por meio do beneficiamento de talheres com a tecnologia inovadora de revestimento nanoestruturados de DLC.

O DLC é um material constituído unicamente por átomos de carbono e hidrogênio, situado estruturalmente entre filmes de diamante, com estrutura cristalina, e filmes de grafite, com estrutura amorfa (QiongYu; FuMing; Ling, 2013; Xiao *et al.*, 2021; Tanaka *et al.*, 2019; Trava-Airoldi *et al.*, 2009). Dessa forma Ferrari e Robertson (2000) define DLC como uma classe de materiais que apresentam forma transitória de carbono amorfo, com uma certa porcentagem de hibridizações  $sp^2$  e  $sp^3$  entre seus carbonos. Este material é amplamente reconhecido por apresentar alta dureza mecânica, estabilidade química, transparência óptica especialmente no infravermelho, elevada resistência ao desgaste por atrito e a corrosão, e por serem atóxico, biocompatíveis e anti patogênicos (QiongYu; FuMing; Ling, 2013; Xiao *et al.*, 2021; He *et al.*, 2015; Kornu *et al.*, 1996; Grill, 2003). Existem diversas formas de se produzir este material (Robertson, 2002; Ferrari; Robertson, 2004). No contexto deste projeto, os talheres serão beneficiados em um modelo de reator “plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD)”, desenvolvido, e aprimorado nos últimos três anos pelo pesquisador responsável deste projeto, para crescer filmes de DLC em utensílios de cozinha.

Processos PECVD são compreendidos como técnicas híbridas resultante da relação entre técnicas físicas (PVD) e químicas de deposição (CVD). Desse modo, características notadamente comuns aos processos que originaram esta técnica, também são encontrados na mesma. Como todo PVD, PECVD trabalha em baixas pressões, cerca de  $10^{-2}$  Torr, sob ação de elevados gradientes de potencial. Ao passo que plasmas originados por CVD apresentam elevada temperatura, no PECVD plasmas são igualmente gerados, contudo por uma grande diferença de potencial em uma baixa pressão. Isto faz com que a energia interna dos elétrons se elevem a ordem de 100-300 eV, mudando a fase de agregação gasosa para o estado plasmático (Trava-Airoldi *et al.*, 2009; Contin *et al.*, 2017; Santos; Ramu; Esposito, 2020; Santos, 09/2016).

De uma forma geral, a formação do plasma tanto neste sistema quanto nos demais, começa

com uma pequena quantidade de elétrons livres que estão presentes no gás devido à radiação externa. Com a aplicação de um campo elétrico externo, gerado pelo catodo e anodo, os elétrons livres adquirem energia suficiente e realizam colisões com as partículas neutras do gás promovendo, através de colisões ionizantes, a geração de novos elétrons; paralelamente, ocorre também a perda dos elétrons para a formação de ânions. Quando o número de elétrons é suficiente para produzir apenas os íons necessários para regenerar o número de elétrons perdidos, é atingido um estado estável (o estado luminescente do plasma é gerado) no qual é estabelecido um equilíbrio entre a taxa de formação de íons e a taxa de recombinação dos íons com elétrons. Assim sendo, a geração e sustentação de um plasma, bem como a sua cinética química, são resultantes de processos colisionais envolvendo partículas neutras e carregadas, bem como perdas por difusão(Pessoa, 2009; Santos, 09/2016).

Em detrimento de outras técnicas aptas a produzir DLC, sistemas PECVD não geram resíduos e apresentam baixo consumo de energia, o que torna esta proposta alinhada com a busca por processos sustentáveis ecologicamente.

Considerando os fatos aqui apresentados, este projeto se justifica por promover:

- 1) Aumento da Higiene e Segurança: A aplicação de revestimentos de DLC em talheres irá oferecer uma camada protetora que pode atuar como uma barreira antimicrobiana eficaz. Devido à natureza do DLC, que apresenta uma estrutura similar à do diamante, esses revestimentos possuem propriedades intrínsecas de resistência à aderência de micro-organismos, contribuindo para a redução da contaminação cruzada e mitigando os riscos de doenças transmitidas por alimentos(Robertson, 2002; Ferrari; Robertson, 2004; Harrasser *et al.*, 2016).
- 2) Resistência a condições extremas: O DLC é conhecido por suas propriedades excepcionais de resistência à corrosão, abrasão e a altas temperaturas. Isso torna os talheres revestidos mais duráveis e adequados para ambientes de cozimento que envolvem altas temperaturas e condições agressivas de uso(Xiao *et al.*, 2021; Jedrzejczak *et al.*, 2020; Vetter *et al.*, ; Mamun; Furuta; Hatta, 2018; Wu *et al.*, 2018; Kovaci *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018).
- 3) Contribuição para a Sustentabilidade: A aplicação de revestimentos de DLC pode aumentar significativamente a vida útil dos talheres, reduzindo a necessidade de substituição frequente. Isso se alinha a objetivos de sustentabilidade, ao reduzir o desperdício de recursos associado à produção e descarte de utensílios(Xiao *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2015; Khamseh *et al.*, 2018).
- 4) Desenvolvimento Tecnológico e Inovação: A aplicação de DLC em talheres é uma abordagem tecnológica inovadora. A natureza versátil do DLC possibilita sua aplicação em diferentes setores industriais, o que pode levar a avanços significativos

na tecnologia de revestimentos e suas aplicações práticas. Como exemplo, cito sua potencial aplicação para produzir placas antiaderentes e anti patogênicas, bem como bancadas de pias e fogões, escurredores de prato, torneiras, entre outros.

- 5) Base Científica Sólida: Estudos têm demonstrado as propriedades antipatogênicas e antiaderentes do DLC a pouco mais de duas décadas (Marquis, 1995). A aplicação desses estudos à proposta do projeto reforça sua fundamentação científica (Jun-jun *et al.*, 2018; Khamseh *et al.*, 2018; Marquis, 1995).

Considerando essas justificativas, fica evidente que a utilização da tecnologia de revestimento de DLC em talheres não apenas visa melhorar a segurança na alimentação em refeitórios, mas também oferece uma solução prática e inovadora ao reunir em um único protótipo a busca atual da sociedade - no pós-pandemia - por mitigar riscos biológicos, através de processos sustentáveis ecologicamente.

## 2 Objetivo

Este projeto preconiza solucionar desafios relacionados a biossegurança de talheres compartilhados em refeitórios. Seja em hospitais, presídios super lotados, fábricas ou em escolas públicas e quartéis militares, a rotatividade dos talheres dentre as pessoas é enorme, e a possibilidade da esponja utilizada na assepsia estar contaminada, do sabão estar fora de especificação, ou ainda da pessoa responsável pela higienização se descuidar com a limpeza de um único talher, já oferece risco de contaminação cruzada. Sendo este um problema de dimensão global, esta pesquisa propõem investigar uma potencial solução por meio do crescimento de filmes de “diamond-like carbon” sobre estes utensílios. Também é objetivo do estudo, crescer filmes que tornem os talheres mais elegantes em comparação com seu estado natural. Este ganho estético decorrente da coloração do DLC que varia de furta cor, a preto brilhante. Desse modo essa pesquisa não objetiva apenas eliminar um veículo de infecção cruzada, mas também produzir um protótipo de talheres competitivos no mercado, tanto por sua propriedade antimicrobiana inovadora, quando por sua bela estética.



### 3 Método

Os procedimentos de deposição do revestimento de DLC serão executados nos talheres selecionados, englobando garfos, colheres e facas, por meio de um sistema PECVD com fonte DC pulsada.

Quinze amostras de talheres, sendo dez de cada tipo, serão cuidadosamente higienizadas em banho ultrassônico com acetona, por 10 minutos, secas em estufa por mais 10 minutos a 50 °C, para então serem armazenadas individualmente em sacos zip-locks. Uma vez limpas, as amostras serão divididas em cinco grupos, cada um representando um intervalo de tempo específico para a deposição ( 10 min, 30 min, 60 min, 90 min, 120 min). Cada grupo será constituído de 3 elementos, para que os resultados obtidos possam ser submetidos a teste de hipóteses estatística t-student. De acordo com resultados prévios do experimento piloto, as amostras serão produzidas sob potência de 200 W, utilizando hexano como precursor de carbono, e HDMSO como fonte de silício para intercamada.

A presença de filmes de DLC será verificada ao submeter as amostras para análise por espectroscopia Raman. Nesta técnica, além de determinar a presença do DLC, também é possível inferir o grau de desordem do filme para classifica-lo dentre as estirpes comuns deste material.

A análise da aderência e da resistência a riscos serão feitas por teste de risco no tribômetro. A aderência do filme a superfície será determinada por scratching test no tribômetro. Para verificar o potencial antimicrobiano, amostras dos talheres serão posicionadas em placas de petri contaminadas com um pool de microrganismos.

Serão determinados os coeficiente de correlação de Pearson ou Spearman, dependendo da distribuição dos dados na gaussiana, para correlacionar o tempo de deposição com o efeito antimicrobiano, bem como com a aderência do filme ao substrato.

## 4 Resultados Esperados

A aplicação de revestimentos de Diamond-Like Carbon em talheres apresenta benefícios potenciais. Dessa forma os resultados esperados - em termos de protótipo - são:

1) Talheres com melhor resistência ao desgaste: O DLC é conhecido por sua alta dureza e baixo coeficiente de atrito, o que pode resultar em uma maior resistência ao desgaste dos talheres. Isso significa que eles teriam uma vida útil mais longa e seriam menos propensos a riscar, descascar ou perder o brilho com o uso regular;

2) Facilidade de limpeza: Os revestimentos de DLC possuem propriedades repelentes à água e ao óleo, o que torna os talheres mais fáceis de limpar. Isso pode reduzir a aderência de resíduos de alimentos e facilitar a remoção de sujeira e gordura durante a limpeza destes utensílios.

3) Resistência à corrosão: O DLC oferecer uma camada protetora contra a corrosão dos talheres. Isso é particularmente importante quando se trata de talheres de aço inoxidável, que podem ser suscetíveis à corrosão quando expostos a certos alimentos ou ambientes.

4) Melhoria na estética: O revestimento de DLC irá conferir uma aparência mais elegante e moderna aos talheres, com um acabamento brilhante e resistente. Isso é um aspecto atraente para os consumidores que valorizam a estética dos utensílios de mesa.

5) Segurança alimentar: diversos estudos demonstram que o DLC tem propriedades antimicrobianas, inibindo o crescimento de bactérias e outros patógenos na superfícies dos talheres. Isso certamente irá contribuir para uma maior segurança alimentar, reduzindo o risco de contaminação cruzada.

Em termos técnicos, se espera obter como resultados:

1) Deslocamento Raman: se espera que os filmes crescidos sobre os talheres, apresentem espectros Raman com picos centrados em torno de  $1350\text{ cm}^{-1}$  e  $1580\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente bandas D e G do filme. Essas bandas são tipicamente encontrados em filmes de DLC. A relação entre as intensidades das bandas D e G (ID/IG), será calculada com base na deconvolução do espectro gerado, e se espera com isto reunir elementos suficientes para determinar a porcentagem de hidrogênio presente nos filmes.

2) Aderencia do filme a superfície: se espera com ensaio de scratching e tribocorrosão, demonstrar que o filme produzido estará fortemente aderido ao substrato, e que também é resistente a ação de substâncias alcalinas ou ácidas.

3) Ensaio antimicrobiano: quanto aos ensaios antimicrobianos, se espera que os microrganismos cresçam no entorno, e sobre, as amostras de utensílios em seu estado original. Por outro lado se espera perceber completa ausência de microrganismos presentes no utensílios revestidos com o filme.

4) Testes estatísticos: se espera que o teste t-student confirme a hipótese de que os filmes crescidos em talheres sejam antimicrobianos. Se espera que os testes de Pearson ou Spearman, demonstre forte correlação entre as variáveis “tempo de deposição” e “efeito

antimicrobiano”, bem como entre “tempo de deposição” e “adesão do filme ao substrato”.

Se espera confirmar todas as hipóteses favoráveis cujo a literatura subsidia para se deduzir o emprego desta tecnologia em talheres, gerando com isto um produto patentável e comercializável por uma startup, com forte potencial de desenvolvimento e geração de empregos.

## 5 Equipe envolvida

Compõem a equipe envolvida com o projeto, os seguintes estudantes e/ou profissionais:

- Dr. Everton Diniz dos Santos. Pesquisador responsável pelo projeto, desenvolvedor do sistema PECVD a ser utilizado neste projeto, com experiência em pesquisas relacionadas a filmes nanoestruturados;
- Dra. Elisa Esposito. Docente e pesquisadora responsável pelo grupo de pesquisa em sistemas biológicos da UNIFESP(São Jose dos Campos-SP). Com vasta experiência em microbiologia, professora Elisa coordenará os ensaios antimicrobianos com os talheres beneficiados;
- Giulia Mendonça: Graduanda em biomedicina. Com notável desempenho acadêmico e pouco mais de 2 anos colaborando com o grupo no programa de iniciação científica UNESA. Giulia tem domínio técnico para operar o reator, redigir artigos e executar testes antimicrobianos sendo um importante apoio ao projeto.

## 6 Local de execução do projeto

O projeto será desenvolvido em comunhão entre três campus universitários, a saber:

- 1) Campus Resende-RJ da UNESA (Deposição dos filmes nos talheres por PVD/PECVD): o campus Resende-RJ da UNESA tem buscado se posicionar como um pólo de pesquisas em engenharia de materiais, no interior do estado do Rio de Janeiro. Dessa forma oferece, desde 2019, bolsas de produtividade acadêmica para os docentes, e de iniciação científica para os alunos, que apresentem projetos relacionados a inovação tecnológica, com especial destaque aos materiais nanoestruturados. Esta busca se alinha com as características do município, o qual se encontra na divisão entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, e possui um forte pólo industrial, com destaque as indústrias farmacêuticas/químicas (Novartis, Biochimico, Clarent) e automobilística (Volkswagen, Land Rover, Stelantis, Nissan), e de eletrodomésticos (Arno). Ao que se refere ao presente projeto, o campus Resende-RJ da UNESA gentilmente cedeu um espaço para que pudesse instalar o PVD/PECVD que desenvolvi com recursos próprios. Desde 2022 tenho montado um laboratório para estudos de materiais nanoestruturados. A unidade ainda dispõe de um laboratório de análises clínicas onde ensaios preliminares antimicrobianos têm sido desenvolvidos.
- 2) Campus Lorena-SP/São Paulo-SP (USP): Há expectativa de se utilizar os laboratórios da USP para promover toda a complexa etapa de caracterização física e química dos materiais. Assim se espera desenvolver no campus Lorena-SP/São Paulo-SP, ensaios de gonêometria, espectroscopia no infra vermelho por transformada de fourrier, microscopia eletrônica de varredura e transmissão, microscopia de força atômica, ensaios de tribocorrosão e de risco (scretching test), caracterização por espectroscopia Raman, por perfilometria otica, ensaios de citotoxicidade de MTT e de difusão do corante vermelho neutro em ágar overlay.
- 3) Campus São José dos Campos-SP (UNIFESP): há uma parceria firmada de longa data entre o proponente e a pesquisadora Elisa Esposito, líder do grupo de pesquisa em sistema microbianos da UNIFESP. Ao que se refere a este projeto, se espera desenvolver ensaios antimicrobianos mais avançados nas estruturas laboratoriais deste campus, bem como se conta com total apoio da pesquisadora no desenvolvimento deste projeto.

## 7 Potenciais veículos de apresentação de resultados

Existem várias opções de veículos de apresentação de resultados de uma pesquisa sobre diamond-like carbon revestindo talheres, são eles:

### 1) Artigo em revistas científicas -

1a) Diamond and Related Materials: Esta revista é dedicada à pesquisa em materiais de diamante e carbono relacionados, incluindo filmes de DLC. Tem um bom fator de impacto e é bem reconhecida na área.

1b) Journal of Applied Physics: Embora não seja uma revista especificamente voltada para DLC, o Journal of Applied Physics publica uma ampla gama de pesquisas em física aplicada, incluindo estudos sobre filmes finos e revestimentos. É uma revista de alto impacto e pode ser uma opção para publicar pesquisas sobre DLC.

1c) Surface and Coatings Technology: Esta revista se concentra em revestimentos e tecnologias de superfície, incluindo filmes finos de DLC. É uma revista bem estabelecida na área de revestimentos e tem um fator de impacto significativo.

1d) Thin Solid Films: Esta revista abrange uma ampla variedade de tópicos relacionados a filmes finos e revestimentos, incluindo DLC. É uma revista de alto impacto na área de materiais e revestimentos.

### 2) Apresentação oral em conferências-

2a) International Conference on Diamond and Carbon Materials: Essa conferência é focada especificamente em materiais de diamante e carbono, incluindo DLC. É uma das principais conferências na área e reúne pesquisadores e especialistas de todo o mundo.

2b) International Conference on Thin Films (ICTF): O ICTF é uma conferência internacional dedicada a filmes finos e revestimentos. Embora não seja exclusivamente focada em DLC, é um ambiente propício para apresentar pesquisas nessa área específica.

2c) International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE): O PSE é uma conferência voltada para engenharia de superfícies e revestimentos, incluindo DLC. É uma oportunidade para compartilhar pesquisas sobre a produção e caracterização de filmes de DLC.

2d) International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF): Essa conferência abrange uma ampla gama de tópicos relacionados a revestimentos e filmes finos, incluindo DLC. É um ambiente adequado para apresentar pesquisas sobre DLC e suas aplicações.

2e) Materials Research Society (MRS) Spring/Fall Meetings: A MRS realiza conferências semestrais que abrangem uma ampla gama de tópicos em ciência e engenharia de materiais. Essas reuniões incluem sessões dedicadas a filmes finos e revestimentos, onde pesquisas sobre DLC podem ser apresentadas.

## 8 Orçamento detalhado e justificado

A pesquisa já se encontra em plenas condições de execução sem custo algum. Isto porque todas as principais compras já foram realizadas. Entretanto se espera submeter a presente proposta a CAPES/FAPESP para obtenção de subsídio público para a pesquisa. Uma vez obtidos, estes recursos serão destinados ao aprimoramento do sistema atual da seguinte maneira:

Fonte de tensão DC pulsada 500 W - 1 unidade - R\$ 30.000,00 - A fonte de tensão é um componente dentro de um circuito elétrico responsável por manter constante ou alterar a diferença de potencial entre dois pontos do circuito. Em nosso projeto, É necessária porque é através da fonte que o campo eletromagnético na câmara de vácuo é gerado formando o plasma, necessário para crescer o filme de cobre sobre os têxteis.

- Janela de acrílico - 1 placa - R\$ 500,00 - Para acompanhar visualmente o projeto, instalaremos uma janela de visualização do processo interno do reator.

- Sensor de vácuo - 1 unidade - R\$ 3000,00 - Dispositivo necessário para medir o nível de vácuo no sistema. Em nosso projeto há preocupação de mantermos o nível de vácuo constante, para que o resultado final apresente reprodutibilidade.

- HDMSO 500ML - 5 unidade - R\$ 5000,00 - Composto químico que é fonte de átomos de silício para produção de DLC (diamond-like carbon), que serve para aprimorar a adesão do filme de DLC no aço dos talheres. Dessa forma eles estarão fortemente fixos nas peças produzidas.

- Cilindro de Argônio 10m<sup>3</sup> - 1 cilindro - R\$ 162,00 - Será necessário, pois precisamos de gases que provocam efeito de etching (corrosão) no catodo oco e na amostra. Sendo um gás nobre, o argônio não participa da reação gerando compostos, ele apenas atua como um veículo de elétrons e íon, para gerar o plasma que produz os filmes.

- Serviço de usinagem - R\$ 10.000,00 - Serviço necessário para desenvolvimento de peças para aprimoramento do sistema PECVD, de modo a possibilitar não apenas melhorar as condições de execução deste estudo, mas também de tornar o sistema potencialmente empregável para uma pequena produção em escala, suficiente para se dar início a uma startup.

- Custos com diárias em eventos, visitas a fornecedores, passagens, publicação de artigos, livros e participação em conferências - R\$ 27.000,00 - Os artigos e livros são importantes para se dividir o conhecimento com a comunidade. Já a participação em congressos, oportuniza apresentar as pesquisas realizadas para uma audiência especializada. Isso permite a troca de conhecimentos com outros pesquisadores, obtendo feedback valioso e promovendo a disseminação do conhecimento, além de potenciais ganhos para aprimoramento da técnica estudada, e firmamento de redes colaborativas para esta, e outras pesquisas decorrentes deste projeto. Participar de conferências também possibilita ter contato com fornecedores de insumos e fechar bons negócios. Sendo um trabalho de relevância global.

a participação em conferências internacionais promoverá a imagem do Brasil, e do Estado de São Paulo mediante a citação do apoio provido pela FAPESP/CAPES na realização do projeto.



## **9 Especialidades**

- Nanotecnologia
- inovação
- microbiologia
- Empreendedorismo e ciência aplicada

## **10 Palavras-chave**

- Diamond-like carbon
- PECVD
- Talheres
- Saúde pública

## Referências

- CONTIN, A. *et al.* Diamond Films on Stainless Steel Substrates with an Interlayer Applied by Laser Cladding. **MATERIALS RESEARCH-IBERO-AMERICAN JOURNAL OF MATERIALS**, UNIV FED SAO CARLOS, DEPT ENGENHARIA MATERIALS, LABORATORIA DE MATERIAIS VITREOS, CAIXA POSTAL 676, SAO CARLOS, 13565-905SP, BRAZIL, v. 20, n. 2, p. 543 – 548, MAR-APR 2017. ISSN 1516-1439.
- DANCER, S. J. How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals. 2004.
- FERRARI, A. C.; ROBERTSON, J. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. **Phys. Rev. B**, American Physical Society, v. 61, p. 14095 – 14107, May 2000. Disponível em: <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.61.14095>.
- FERRARI, A. C.; ROBERTSON, J. Raman spectroscopy of amorphous, nanostructured, diamond-like carbon, and nanodiamond. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, The Royal Society, v. 362, n. 1824, p. 2477 – 2512, 2004. ISSN 1364-503X.
- GRILL, A. Diamond-like carbon coatings as biocompatible materials-an overview. **Diamond and Related Materials**, v. 12, n. 2, p. 166 – 170, 2003. ISSN 0925-9635. Proceedings of the 4th Specialist Meeting on Amorphous Carbon. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925963503000189>.
- HARRASSER, N. *et al.* Antibacterial potency of different deposition methods of silver and copper containing diamond-like carbon coated polyethylene. **Biomaterials Research**, BioMed Central, v. 20, p. 17 –, 2016. ISSN 2055-7124. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4934003/>.
- HE, Y. Y. *et al.* Diamond-like carbon films deposited on three-dimensional shape substratemodel by liquid electrochemical technique. **THIN SOLID FILMS**, ELSEVIER SCIENCE SA, PO BOX 564, 1001 LAUSANNE, SWITZERLAND, v. 590, p. 60 – 63, SEP 1 2015. ISSN 0040-6090.
- JEDRZEJCZAK, A. *et al.* Titanium(IV) isopropoxide as a source of titanium and oxygen atoms in carbon based coatings deposited by Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition method. **THIN SOLID FILMS**, ELSEVIER SCIENCE SA, PO BOX 564, 1001 LAUSANNE, SWITZERLAND, v. 693, JAN 1 2020. ISSN 0040-6090. 10th International Conference on Hot Wire (Cat) and Initiated Chemical Vapor Deposition (HWCVD), Kitakyushu, JAPAN, SEP 03-06, 2018.
- JUN-JUN, W. *et al.* Effects of Cr-based Interlayers on Tribological Property of Diamond-like Carbon Films on Titanium Alloy. **CHINA SURFACE ENGINEERING**, CHINESE ASSOC SCIENCE & TECHNOLOGY-CAST, 21, DUJIAKAN, CHANGXINDIAN, BEIJ, 100072, PEOPLES R CHINA, v. 31, n. 3, p. 61 – 67, JUN 2018. ISSN 1007-9289.
- KHAMSEH, S. *et al.* Magnetron-sputtered copper/diamond-like carbon composite thin films with super anti-corrosion properties. **SURFACE & COATINGS TECHNOLOGY**, ELSEVIER SCIENCE SA, PO BOX 564, 1001 LAUSANNE, SWITZERLAND, v. 333, p. 148 – 157, JAN 15 2018. ISSN 0257-8972.

KORNU, R. *et al.* Osteoblast adhesion to orthopaedic implant alloys: Effects of cell adhesion molecules and diamond-like carbon coating. **Journal of Orthopaedic Research**, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, v. 14, n. 6, p. 871 – 877, 1996. ISSN 1554-527X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/jor.1100140605>.

KOVACI, H. *et al.* The friction and wear performance of DLC coatings deposited on plasma nitrided AISI 4140 steel by magnetron sputtering under air and vacuum conditions. **SURFACE & COATINGS TECHNOLOGY**, ELSEVIER SCIENCE SA, PO BOX 564, 1001 LAUSANNE, SWITZERLAND, v. 349, p. 969 – 979, SEP 15 2018. ISSN 0257-8972. 45th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF), San Diego, CA, APR 23-27, 2018.

MAMUN, M. A. A.; FURUTA, H.; HATTA, A. Pulsed DC plasma CVD system for the deposition of DLC films. **MATERIALS TODAY COMMUNICATIONS**, ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, v. 14, p. 40 – 46, MAR 2018. ISSN 2352-4928.

MARQUIS, R. E. Review Antimicrobial actions of fluoride for oral bacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 11, p. 964 – 955, 11 1995. ISSN 955-964. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/m95-133>.

OLIVEIRA, C. A. G. S. *et al.* Effect of gold oxide incorporation on electrochemical corrosion resistance of diamond-like carbon. **DIAMOND and RELATED MATERIALS**, ELSEVIER SCIENCE SA, PO BOX 564, 1001 LAUSANNE, SWITZERLAND, v. 53, p. 40 – 44, MAR 2015. ISSN 0925-9635.

PERCIVAL, S. L.; BOWLER, P. G.; RUSSELL, D. **Bacterial resistance to silver in wound care**. 2005. 1 – 7 p.

PESSOA, R. S. **Estudos de plasmas fluorados aplicados em corrosão de silício usando simulação de modelo global e diagnósticos experimentais**. 2009. Tese (Doutorado ) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

QIONGYU, L.; FUMING, W.; LING, Z. Study of colors of diamond-like carbon films. **SCIENCE CHINA**, v. 56, n. 3, p. 545 – 550, March 2013.

ROBERTSON, J. Diamond-like amorphous carbon. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 37, n. 4-6, p. 129 – 281, 5 2002. ISSN 0927-796X. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927796X02000050>.

SANTOS, E. D.; RAMU, R.; ESPOSITO, E. R. Antimicrobial silver coating using PVD-PECVD system. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, NISCAIR-CSIR, India, v. 45, n. 2, p. 197 – 206, 06 2020. ISSN 0975-1025. Disponível em: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/54580>.

SANTOS, E. D. dos. **TAXA DE ADESÃO CELULAR DE MACRÓFAGOS J774 SOBRE A LIGA DE TI-6AL-4V: EFEITOS DO POLIMENTO E RECOBRIMENTO DE DLC**. 09/2016. 100 p. Tese (Engenharia biomédica) — Universidade do Vale do Paraíba.

TANAKA, I. *et al.* Effect of humidity on the friction properties of a-C:H and a-C:H:Si films deposited by PECVD employing microwave sheath-voltage combination plasma. **JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS**, IOP PUBLISHING LTD, TEMPLE CIRCUS, TEMPLE WAY, BRISTOL BS1 6BE, ENGLAND, v. 58, n. SA, S, FEB 2019. ISSN 0021-4922.

TRAVA-AIROLDI, V. J. *et al.* Deposition of Hard and Adherent Diamond-Like Carbon Films Inside Steel Tubes Using a Pulsed-DC Discharge. **JOURNAL OF NANOSCIENCE and NANOTECHNOLOGY**, AMER SCIENTIFIC PUBLISHERS, 25650 NORTH LEWIS WAY, STEVENSON RANCH, CA 91381-1439 USA, v. 9, n. 6, p. 3891 – 3897, JUN 2009. ISSN 1533-4880.

UNEGBU, H. C. U. **Monitorization of food intake, prevalence of parasitic infection, anaemia and morbidity in malnourished children receiving treatment in the Centre for Recuperation and Nutritional Education (CREN)**. 1998. Dissertação (Mestrado ) — Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Disponível em: <http://repositorio.unifesp.br/handle/11600/15871>.

VETTER, J. *et al.* High performance hard carbon coatings (diamond-like coatings). **Vakuum in Forschung und Praxis**, v. 24, n. 2, p. 18 – 23. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/vipr.201200484>.

WU, Y. *et al.* Comparative corrosion resistance properties between (Cu, Ce)-DLC and Ti co-doped (Cu, Ce)/Ti-DLC films prepared via magnetron sputtering method. **CHEMICAL PHYSICS LETTERS**, ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, v. 705, p. 50 – 58, AUG 2018. ISSN 0009-2614.

XIAO, Y. *et al.* Deposition, microstructure, performance of diamond-like carbon film with Ni/Cu interlayer. **Surface Innovations**, v. 0, n. 0, p. 1 – 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jsuin.21.00078>.

ZHANG, M. *et al.* Corrosion and wear behaviors of Si-DLC films coated on inner surface of SS304 pipes by hollow cathode PECVD. **SURFACE TOPOGRAPHY-METROLOGY and PROPERTIES**, IOP PUBLISHING LTD, TEMPLE CIRCUS, TEMPLE WAY, BRISTOL BS1 6BE, ENGLAND, v. 6, n. 3, SEP 2018. ISSN 2051-672X.

## **Anexos**

## **ANEXO A – Resultados obtidos no ensaio piloto**

No ano de 2019, com recursos pessoais, o pesquisador responsável pelo projeto iniciou o desenvolvimento de um reator PECVD. O equipamento conta com uma câmara de vácuo de 20 L, com uma bomba de vácuo mecânica, auxiliada por uma turbo-molecular. Os processos executados alcançam um vácuo da ordem de  $10^{-2}$  torr. O sistema conta com uma fonte DC de meia onda, que alcança potências de 500W. Embora o equipamento se mostre eficiente para produção de diversos tipos de materiais, há um especial desafio com a produção de DLC por fontes puramente contínuas. Disto emerge a necessidade de aprovação desta proposta pela FAPESP/CAPES, para aquisição de uma fonte DC pulsada(Fig.1).

**Figura 1 – Câmara de vácuo do sistema PECVD desenvolvido pelo pesquisador responsável por este projeto.**



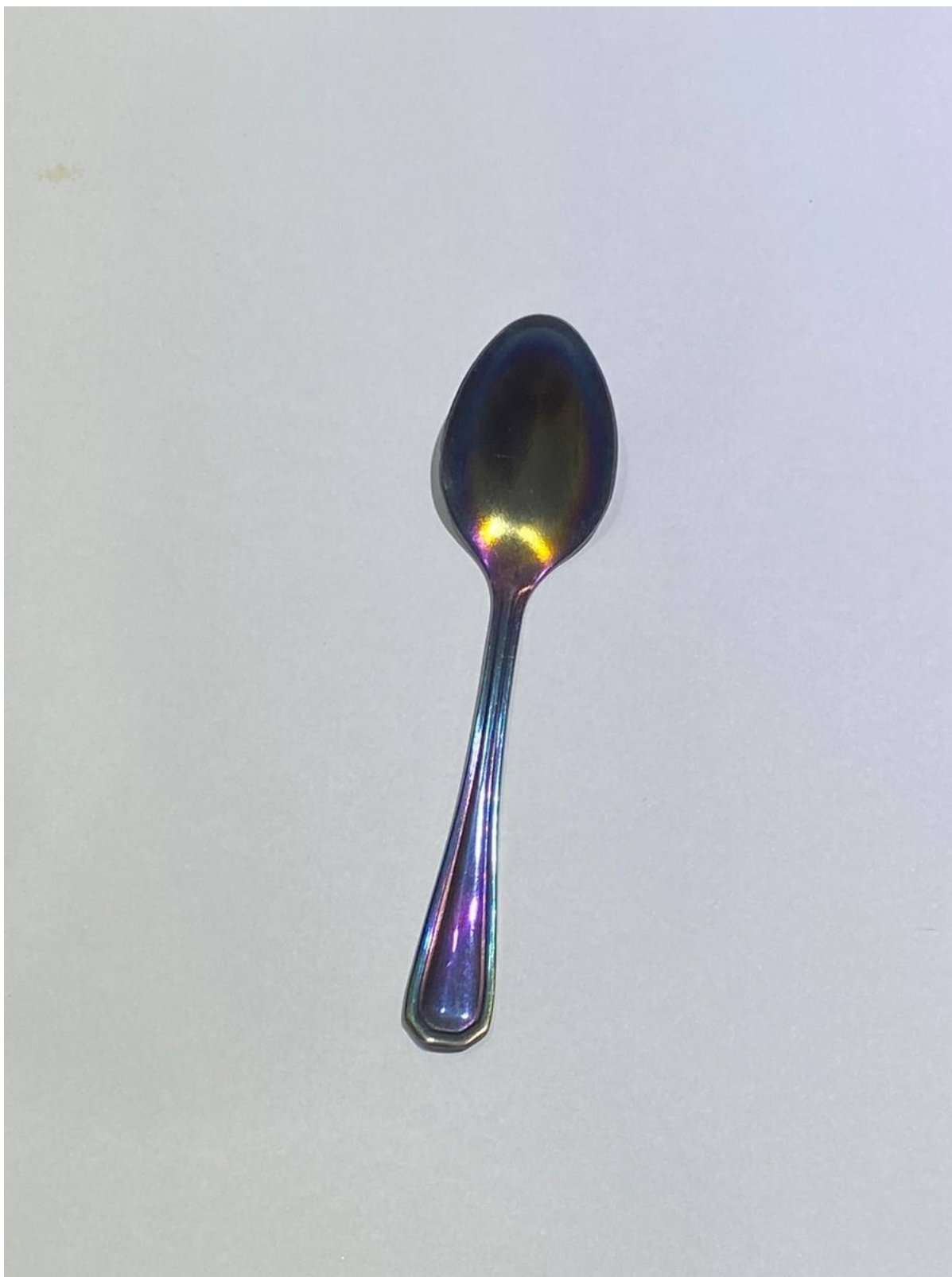
Em estudos pilotos, foram obtidas diversas variedades de colheres beneficiadas com o filme (Fig.2-4). A coloração das mesmas se altera em razão da espessura do filme depositado. Entretanto os parâmetros para crescimento do filme, com máxima aderência, com coloração de apelo comercial, com eficácia antimicrobiana, ainda demandam investigação, a qual será realizada a partir da aprovação deste projeto.



**Figura 2 – Colheres recobertas com filme de DLC, crescidos com diferentes parâmetros de tempo, potência e fonte de carbono.**



**Figura 3 – Amostra produzida com DLC dopado com átomos de cobre.**



**Figura 4 – Amostra produzida com filme de menor espessura em alta potência. Se observa pela imagem sinais de sparks que comprometem a aderência do filme ao substrato, sendo necessário maiores estudos.**



**Figura 5 – Amostra recoberta com filme mais espesso. A esquerda se observa amostra controle, e a direita a amostra beneficiada.**



Este estudo da cores obtidas pelos filmes produzidos, foi submetido e aceito para publicação na *Advanced Materials Letter*. No momento estamos no aguardo da edição da revista em que o trabalho será apresentado para poder referenciá-lo(Fig.5).

**Figura 6 – Carta de aceite da publicação, com a data de publicação.**

**Article Acceptance Certificate**

This certificate confirms that the following paper has been accepted for publication in  
Advanced Materials Letters, Volume 14, Issue 4

Title: Automotive Plasma Painting Process

ID: AML-2303-1079 (R1)

Authors: Giulia Mendonça Ferreira, Everton Dos Santos, Jorge Conceição Júnior, Daiane  
Teixeira Silva

Submission Date: 08 March 2023

Acceptance Date: 28 May 2023

Publication Date: 01 October 2023

**Ashutosh Tiwari**

**Editor-in-chief of Advanced Materials Letters**