

Nanopartículas de Cobre – em momentos de pandemia, inovação e oportunidades de negócio

Dra. Patricia Léo

Gerente Técnica do Laboratório de Biotecnologia do IPT

Área de Negócio em Bionanomanufatura

Coordenadora pelo IPT do Projeto NanoCobre (parceria Cecil S.A. - Laminação de Metais , Embrapii e IPT)

Na cadeia produtiva agropecuária existem diversos desafios relacionados às infecções microbianas e virais que podem ser causadas por contaminações cruzadas entre animais da mesma espécie ou não. Para controlar, ou prevenir estas infecções, normalmente são utilizados os agentes biocidas, os quais são compostos químicos ou biológicos que combatem os microrganismos e vírus patogênicos.

Cada vez mais se têm buscado utilizar agentes biocidas de amplo espectro, que sejam capazes de combater os patógenos emergentes, incluindo os vírus, e com possibilidade de aplicação nos setores agroindustriais, assim como nas áreas de saúde veterinária e humana.

Neste sentido, desde meados do século 19 sabe-se que o cobre (Figura 1) é um metal que atua como agente antimicrobiano de amplo espectro biocida com ação comprovada contra diferentes espécies de bactérias, leveduras, fungos filamentos e vírus. De acordo com a Bolsa Internacional de Valores de Metais (*London Metals Exchange* – LME), o cobre custa, em média três vezes menos que a prata, que é metal nobre de alto custo. Entretanto a prata e o cobre podem ser igualmente utilizados para conferir efeito antimicrobiano e antiviral a produtos no mercado.

Recentemente, o cobre ganhou maior destaque na pandemia da Covid-19 devido à sua capacidade e rapidez de inativação do novo Coronavírus. Na sua forma nanométrica (Figura 2), o cobre tem sua atividade biocida potencializada, além de permitir sua incorporação estratégica em diferentes materiais, matrizes e ambientes.

Em 2018, a empresa Cecil S.A. - Laminação de Metais e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) foi pioneira na pesquisa de nanopartículas metálicas de cobre com atividades antimicrobianas e antivirais. Esta parceria também permitiu a formação de dois estudantes do Mestrado Profissional do IPT, com recursos financiados pela Cecil e com infraestrutura e orientação de pesquisadores do próprio IPT.

Logo no início de 2020 foi firmada uma parceria entre a Cecil e o IPT com apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) no projeto NanoCobre, que busca o co-desenvolvimento e produção industrial de nanopartículas de cobre com ação antimicrobiana e antiviral.

Tradicionalmente, o processo de produção destas nanopartículas metálicas ocorre em meio aquoso utilizando reatores químicos convencionais (Figura 3), que tem sua capacidade produtiva limitada pelo volume de trabalho dos reatores. Para superar esta limitação, utilizaram-se técnicas de micromanufatura avançada, com as que foram desenvolvidos reatores microfluídicos em nossos laboratórios (Figura 4). Estes microrreatores são dispositivos miniaturizados com canais internos de dimensões micrométricas e que operam em fluxo contínuo, isto é, sem interrupção. Neste novo processo microfluídico, as nanopartículas metálicas são produzidas com menor consumo de reagentes, menor gasto de energia, e menor geração dos resíduos. Com as vantagens de ter maior controle e precisão dos parâmetros operacionais, assim como maior versatilidade para escalonamento industrial com produção simultânea, contínua e independente.

A partir de ensaios laboratoriais validados por normas técnicas internacionais, foi comprovada a ação antimicrobiana (Figura 5) e antiviral das nanopartículas de cobre, produzidas tanto em suspensão líquida como na forma de pó seco. Para obtenção destas nanopartículas de cobre na forma de pó foi utilizada a secagem pelo processo de *spray-dryer* (Figura 6). A manutenção da atividade biocida das nanopartículas secas agrega benefícios ao insumo, associada à estabilidade prolongada e a possibilidade de aditivação e modificação das propriedades superficiais.

Para atender a demanda de diferentes setores como construção civil, indústrias automotivas, transportes, saúde e bem-estar, as nanopartículas de

cobre podem ser incorporadas em diversos produtos como revestimentos, tecidos, tintas, resinas e polímeros, entre outros. Por exemplo, a incorporação do cobre em matrizes poliméricas por meio de processos de microencapsulação, preserva a manutenção da descontaminação (do inglês: *sustained release-killing*) possibilitando a liberação controlada e gradual do material biocida por um período maior de tempo em comparação ao produto não-encapsulado.

Na agricultura, além da sua ação direta no controle de patógenos o cobre também é um micronutriente importante para as plantas, desempenhando um papel crítico nas barreiras de defesa e na resistência às doenças. Na pecuária, as nanopartículas de cobre também podem ser aplicadas na nutrição animal, aumentando a biodisponibilidade deste metal, além de evitar e/ou diminuir a contaminação cruzada nos rebanhos e, também, para humanos.

Para o projeto NanoCobre alcançar a atual maturidade foi fundamental a atuação integrada das plataformas tecnológicas de nanotecnologia, biotecnologia, microtecnologia e metrologia de ultraprecisão. Estas plataformas são as bases da área de Bionanomanufatura do IPT (Figura 7), compondo o complexo laboratorial em operação desde 2012. A multidisciplinaridade destas plataformas possibilita a entrega de soluções tecnológicas integradas.

Neste projeto as capacitações e infraestrutura apropriada do Laboratório de Processos Químicos e Tecnologia de Partículas (LPP) permitiu a obtenção e funcionalização das nanopartículas de cobre secas. De fato, o LPP vem contribuindo de maneira intensiva para o desenvolvimento de nanoestruturas metálicas, cerâmicas, poliméricas entre outras, direcionadas para entrega de ativos em alvos específicos e com liberação controlada.

No Laboratório de Biotecnologia Industrial (LBI) todas as etapas dos processos biotecnológicos são executadas, partindo desde a seleção de microrganismos selvagem ou geneticamente modificados chegando até a produção de bioinsumos. Neste sentido, os bioprocessos podem utilizar matérias-primas renováveis como estratégia de sustentabilidade além de reduzir os custos de produção. O LBI também possui capacidade e infraestrutura para o cultivo de células animais e vegetais, neste sentido o LBI

vem contribuindo para a produção de vacinas veterinárias, além do cultivo de tecidos vegetais *in vitro*. O conhecimento analítico da equipe proporciona ainda, avaliar a atividade biocida e citotoxicidade dos compostos biocidas químicos e biológicos.

Por sua vez, o Laboratório de Micromanufatura (LMI) agrega competências relacionadas à modelagem matemática, à simulação virtual dos reatores microfluídicos (Figura 8) e à microfabricação dos microrreatores mediante a tecnologia de LTCC (Figura 9). Já a área de Metrologia de Ultraprecisão atua no desenvolvimento e diagnóstico dos produtos e processos na interface das bionanomicrotecnologias, possibilitando, por exemplo, a avaliação interna dos canais dos reatores microfluídicos de forma não invasiva e não destrutiva (Figura 10).

A Bionanomanufatura no IPT vem, portanto, desenvolvendo e aplicando estas tecnologias de modo integrado e sustentável, respondendo prontamente às demandas da sociedade, dos governos e dos setores produtivos. Projetos de diferentes modalidades, como P&D&I, consultoria e prestação de serviços tecnológicos são desenvolvidas em parceria com empresas, contando com diversas formas de incentivos e financiamentos, incluindo recursos não-reembolsáveis previstos nas parcerias com a Embrapii.

Neste sentido, com o domínio integrado dos processos de produção e secagem de nanopartículas de cobre, acumulado nos últimos anos a partir das parcerias com a Cecil e com a Embrapii, o IPT vem prospectando novos parceiros interessados também nas aplicações agropecuárias destas nanopartículas metálicas, agregando assim valor aos produtos e serviços comercializados.



Figura 1: Minério de cobre bruto (Fonte: <https://www.todamateria.com.br/cobre/>)

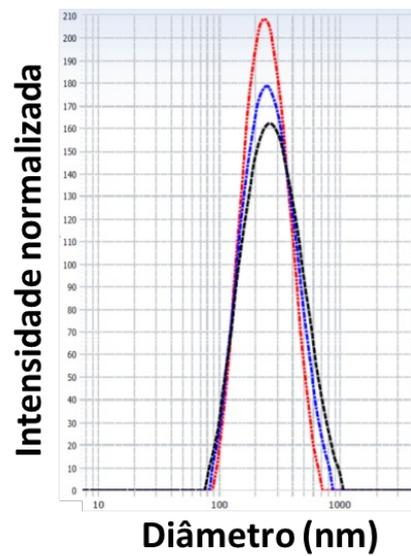
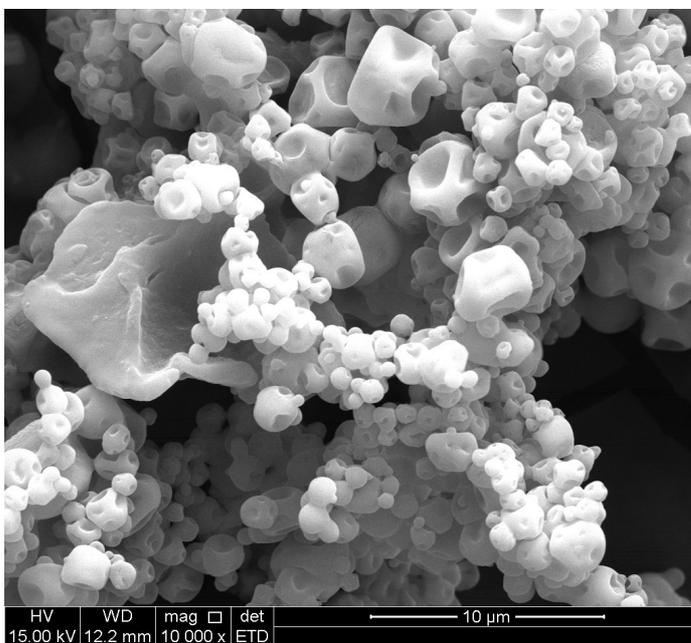


Figura 2: Nanopartículas de Cobre com revestimento polimérico e curva de DLS (*Dynamic light scattering*) com a distribuição de tamanho das nanopartículas.

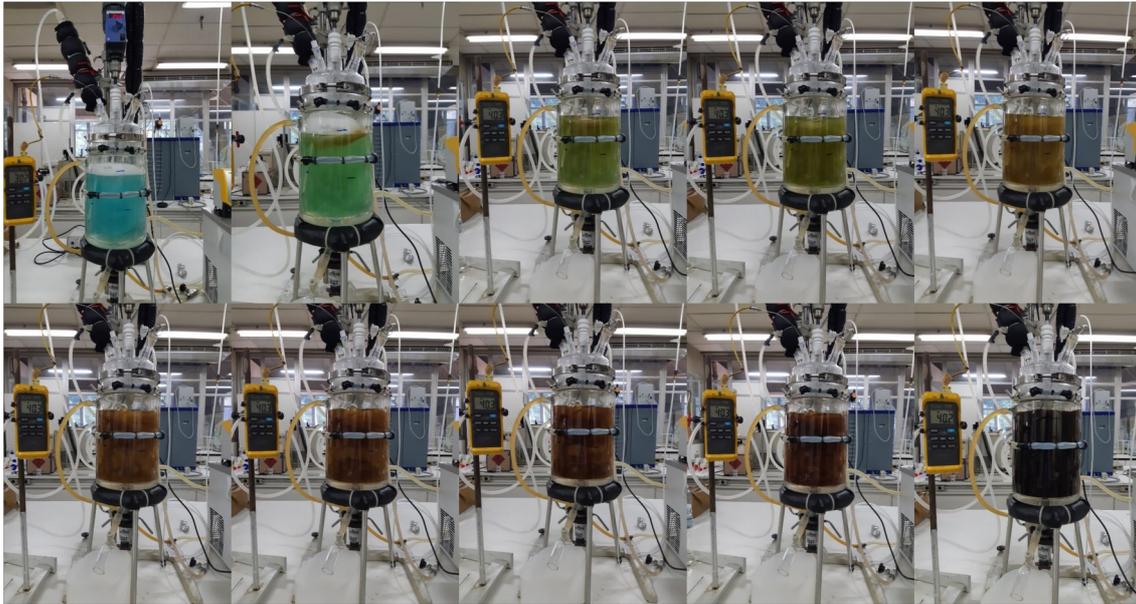


Figura 3: Síntese das Nanopartículas de cobre.

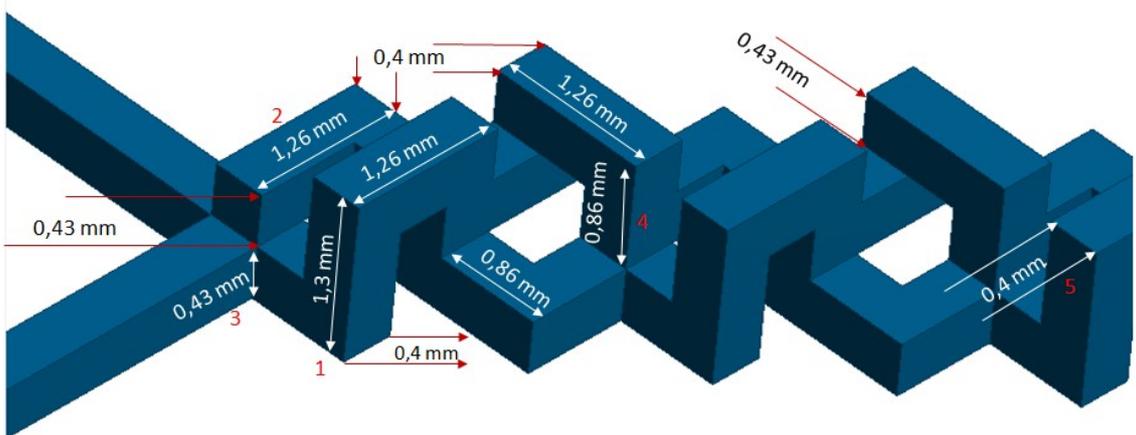


Figura 4: Micromanufatura avançada

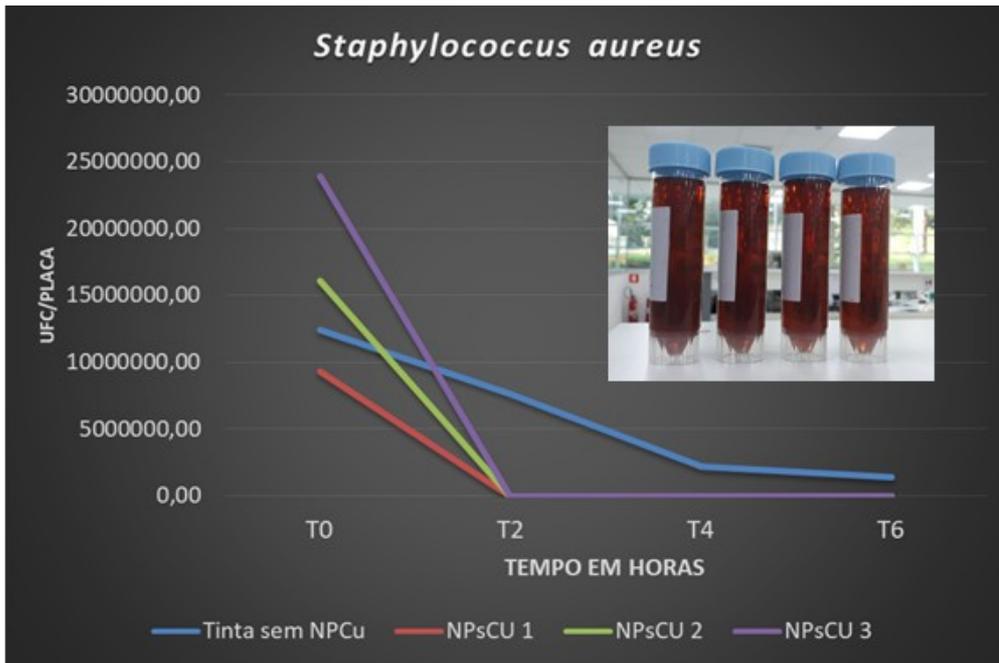


Figura 5: Efeito antimicrobiano de preparações de nanopartículas de cobre.



Figura 6: Processo de secagem por *spray dryer*.



Figura 7: Bionanomanufatura do IPT.

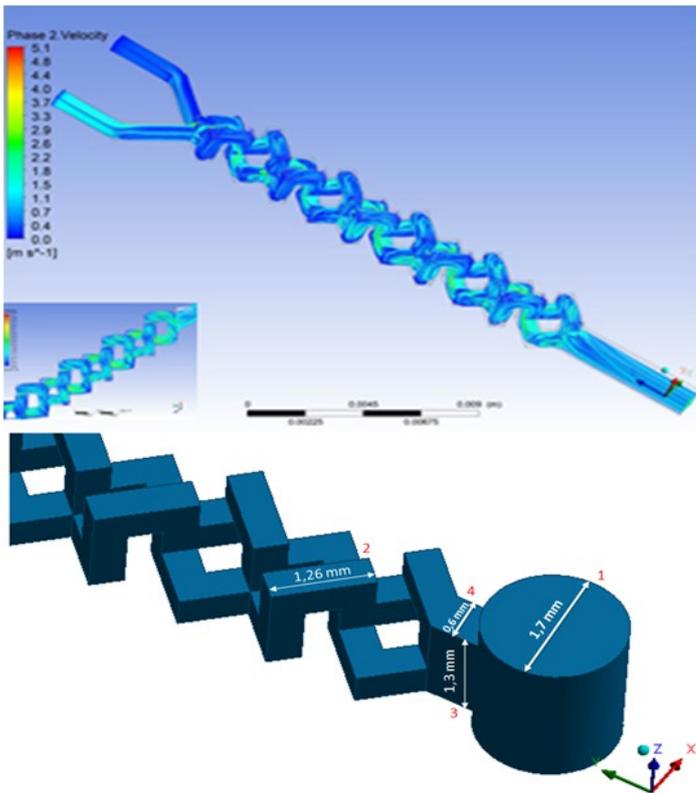
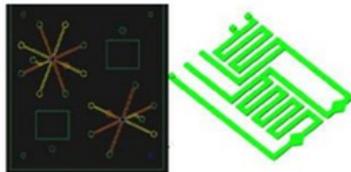


Figura 8: Comportamento fluidodinâmico nos microcanais.

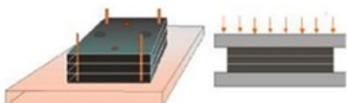
1. Geometria de microcanais



2. Corte a laser de LTCC



3. Alinhamento de laminação



4. Processo de sinterização

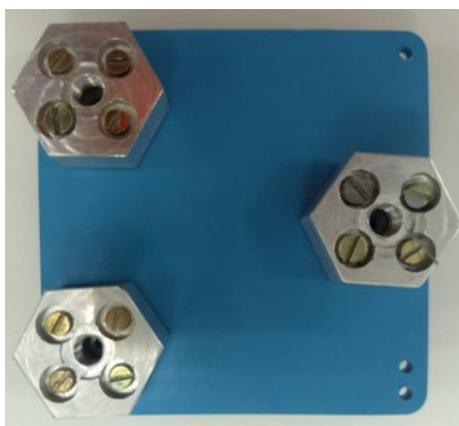
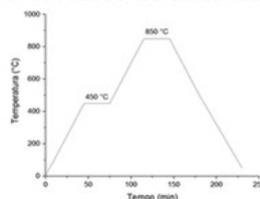


Figura 9: Etapas do processo de microfabricação de dispositivos microfluídicos usando a tecnologia LTCC.

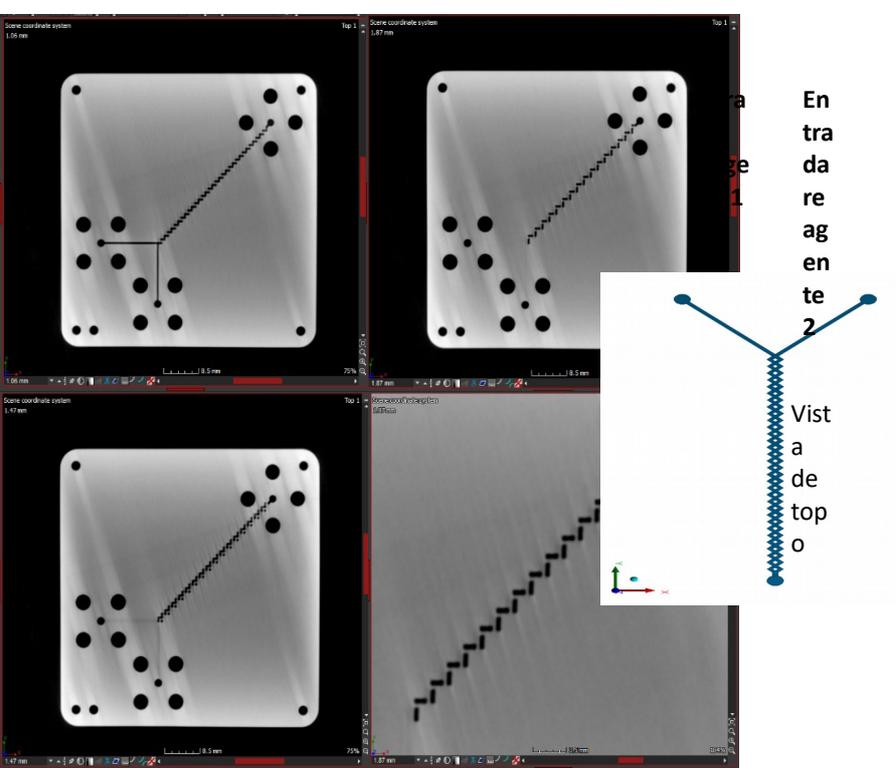


Figura 10: Avaliação de obstrução dos canais microfluídicos

Saída de produto