

NANOPARTÍCULAS DE PRATA: APLICAÇÕES E IMPACTO AMBIENTAL

BENEDITO, Aline de Souza; SILVA, Fabiana Fanger; SANTOS, Ísis V. de Sousa
aline.sb10@gmail.com; fabi.fs994@gmail.com
Faculdades Oswaldo Cruz

Resumo: *Nanomateriais são corpos cujas dimensões nanométricas alteram suas propriedades usuais. As nanopartículas de prata metálica (NPsAg) atuam de forma mais eficiente que os íons prata, possuem propriedades desinfectantes e antissépticas. Além disso, estudos recentes mostram que as NPsAg também podem atuar como inibidoras de corrosão. Sua síntese pode ser realizada a partir de boroidreto de sódio e nitrato de prata, de glicose e nitrato de prata, e também através da síntese verde, com extrato de plantas, método de baixo custo e sustentável. Estudos sobre a toxicidade das nanopartículas sugerem que as mesmas afetam os organismos de diferentes maneiras, dependendo das taxas de concentração e tempo de exposição. Os mecanismos de ação das nanopartículas, tanto como bactericida quanto como anticorrosiva, ainda não são completamente esclarecidos, mas estudos recentes comprovam sua eficácia. Esse trabalho objetiva apresentar uma revisão da literatura sobre as características das nanopartículas de prata, bem como suas principais aplicações e impacto ambiental.*

Palavras-chave: *Nanopartículas de prata, bactericida, anticorrosão.*

Abstract: *Nanomaterials are bodies whose nanometric dimensions change their usual properties. Metal silver nanoparticles (AgNPs) act more efficiently than silver ions, possess disinfectant and antiseptic properties. Further, recent studies show that AgNPs can also act as corrosion inhibitors. Its synthesis can be carried out from sodium borohydride and silver nitrate, glucose and silver nitrate, and also through green synthesis, with plant extract, a low cost and sustainable method. Studies on the toxicity of nanoparticles suggest that they affect organisms in different ways, depending on concentration rates and exposure time. The mechanisms of action of the nanoparticles, both as bactericidal and as anticorrosive, are still not fully understood, but recent studies prove his efficiency. This work aims to present a review of the literature on the characteristics of silver nanoparticles, as well as their main applications and environmental impact.*

Keywords: *Silver nanoparticles, bactericide, anticorrosion.*

1 INTRODUÇÃO

No final do século XX, o estudo dos nanomateriais se destacou. Entende-se nanomaterial como um corpo cuja dimensão nanométrica é responsável por alterar suas

propriedades usuais, ou seja, seu diminuto tamanho manifesta novas características, processabilidades e capacidades. (DURAN, 2010).

Recentes avanços em nanotecnologia permitiram a produção de prata metálica como nanopartículas, as quais são mais eficientes do que os íons prata, já que necessitam de menores concentrações para atuarem de forma eficiente (DURAN, 2010).

Entre os diversos tipos de nanomateriais, as nanopartículas de prata ocupam lugar de destaque nos quesitos desinfectante e antisséptico. Possuem dimensões extremamente pequenas, da ordem de 1 a 100 nanômetros, contendo cerca de 15 – 20.000 átomos de prata (ANJUM et al., 2013), e como consequência, uma grande área superficial que eleva a velocidade de formação dos íons prata. Isso resulta em propriedades óticas, magnéticas, químicas e mecânicas diferentes das partículas de superfícies maiores (ZARBIN, 2007).

A síntese das nanopartículas de prata pode ser realizada a partir de diversos métodos. Por esta razão, foi discutido neste trabalho apenas os métodos principais: a partir do boroidreto de sódio e nitrato de prata, a partir do PVP (polivinilpirrolidona) e glicose e a síntese verde.

O número de aplicações da nanoprata vem aumentando com o passar do tempo. Devido a este fato, neste trabalho serão abordadas somente duas de suas ações, a mais usual e conhecida, como desinfectante e antibacteriana, e a outra mais recente e pouco difundida, como anticorrosiva.

Novas pesquisas que abordam sua atividade anticorrosiva exibem resultados empíricos que comprovam sua ação, porém quase nada é esclarecido sobre seu mecanismo de atuação.

Estudos sobre a toxicidade da nanoprata mostram que as partículas afetam organismos de diferentes maneiras, geralmente dependendo da sua taxa de concentração e do tempo de exposição. Tais informações são essenciais já que muitas nanopartículas estão sendo sintetizadas, processadas e descartadas, em quantidades cada vez maiores, com poucos conhecimentos sobre seus possíveis efeitos tóxicos no meio ambiente e nos seres vivos.

2 SÍNTESE DA NANOPRATA

Existem algumas dificuldades para sintetizar as nanopartículas metálicas, e a principal delas é obter suspensões coloidais estáveis. Isso acontece porque as nanopartículas têm alta energia superficial, o que facilita termodinamicamente a agregação instantânea das mesmas para a geração de ligações metal-metal (KLABUNDE, 2001).

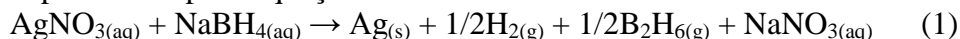
Para impossibilitar a agregação das NPs, a preparação dos sistemas coloidais geralmente é realizada na presença de espécies chamadas de estabilizadores, as quais adsorvem nas superfícies das nanopartículas, produzindo uma camada auto-organizada, que evita a interação (MELO et al., 2012). Alguns dos estabilizadores mais eficientes são os poliméricos, como o poli(álcool vinílico) (PVA), poli(vinilpirrolidona) (PVP) e ácido poli acrílico (PAA), que possuem sítios básicos de Lewis em suas estruturas, com alta afinidade pelas NPsAg, além de cadeias orgânicas longas que geram um impedimento estérico, impossibilitando interações entre as mesmas (KLABUNDE, 2001).

Também é possível garantir essa estabilidade adicionando íons boroidreto e citrato de sódio, que adsorvem nas superfícies, criando repulsões eletrostáticas entre as

nanopartículas. Logo, para que isso ocorra, é preciso adicionar esses reagentes em excesso (SOLOMON et al., 2007).

Para sintetizar as NPsAg, é importante que os reagentes sejam de alta pureza, para evitar que impurezas sirvam como sítio de nucleação das nanopartículas. Como já foi descrito, o boroidreto de sódio atua na síntese como agente redutor e estabilizante, gerando cargas nas superfícies das NPsAg. Por esta razão, é interessante que se atente ao controle das condições de reação, incluindo tempo de agitação e proporções relativas dos reagentes, para que se obtenha o produto estável. (HYNING et al., 2001)

A reação que descreve o processo de redução de íons prata pelo boroidreto de sódio é representada pela Equação 1:



Outro método de síntese é a partir do PVP (polivinilpirrolidona) como agente estabilizante e da glicose como agente redutor. Primeiramente, uma solução contendo PVP e glicose é preparada utilizando água desmineralizada, e posteriormente aquecida a 80°C. Depois, uma solução de nitrato de prata é preparada pela dissolução de certa massa do composto em água desmineralizada e então misturam-se as duas soluções. Essa solução final é agitada por uma hora com aquecimento a 80°C e finalmente é resfriada, para interromper a reação, representada pela Equação 2: (BOSELT et al., 2015)



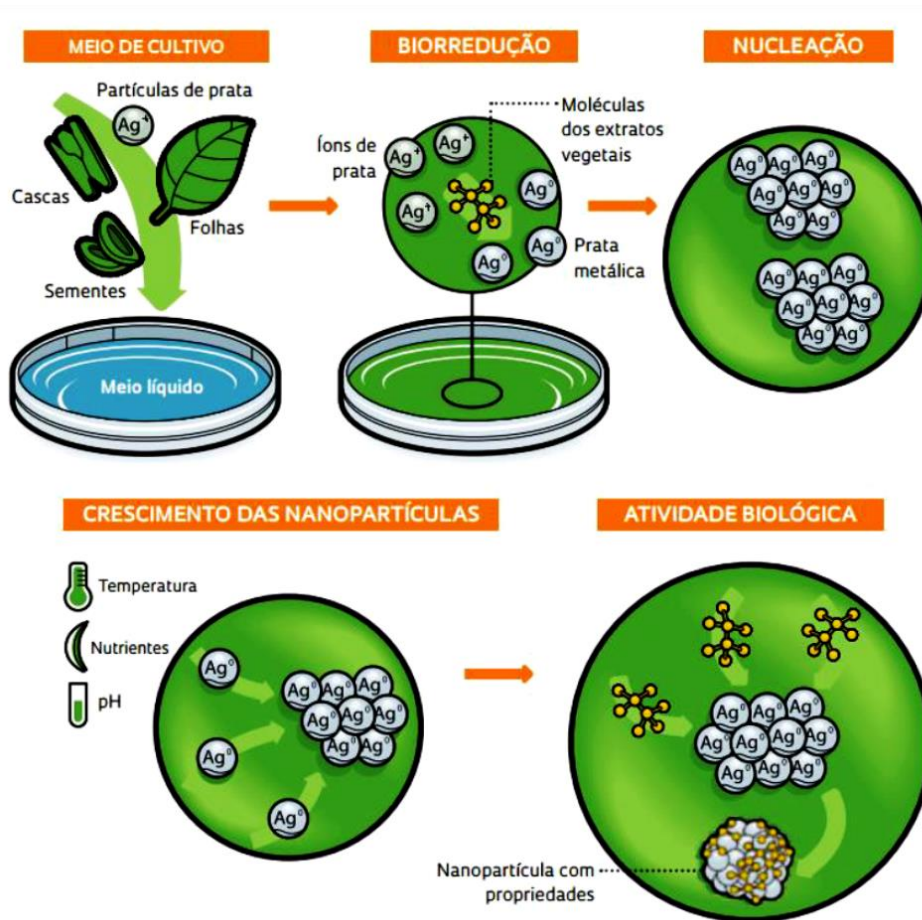
Existe também o método da síntese verde, que consiste em utilizar agentes redutores de baixa ou nula toxicidade, substituindo os reagentes convencionais, o que torna o método sustentável. Nesta via biológica, são usados extratos vegetais que contém moléculas capazes de reduzir os íons Ag^+ a nanopartículas em apenas uma etapa. (SHARMA et al., 2008)

Os agentes redutores presentes nas plantas incluem as enzimas, proteínas, aminoácidos, flavonoides, compostos heterocíclicos e metabólitos hidrossolúveis, que são detectados em talos, cascas, folhas, sementes ou a mistura desses. Esse método é vantajoso porque as plantas produzem biomoléculas redutoras que aderem à superfície das nanopartículas, garantindo estabilidade e proteção. Além disso, geram alto rendimento e baixo custo de produção. (MITTAL et al., 2013)

A eficiência da síntese e as características das nanopartículas de prata dependem da parte da planta utilizada no extrato (das folhas, talo, cascas ou sementes). São exemplos de plantas já estudadas a erva mate (DE MELO, 2015), *Artemisia annua* e *Sida acuta* (JOHNSON et al., 2015), casca de banana Cavendish (KOKILA et al., 2014), *Hibiscus rosa sinensis* (PHILIP, 2009), *Camellia sinensis* (chá verde) (VILCHIS-NESTOR et al., 2008).

Para a realização dessa síntese, no geral, o extrato é misturado a uma solução aquosa de um sal do metal, usualmente o nitrato de prata, e acontece a biorredução ou redução química, como mostra o esquema na Figura 1. Fatores como pH, temperatura, concentração e natureza do extrato, e concentração do sal metálico podem afetar a velocidade da reação, bem como a quantidade obtida e a estabilidade das nanopartículas. (MITTAL et al., 2013)

Figura 1 Esquema de crescimento das nanopartículas em síntese verde



Fonte: SILVA – (EMBRAPA-CENARGEN)- Revista Pesquisa Fapesp, 2014.

2.1 Mecanismo de ação em micro-organismos

O mecanismo de ação das NPsAg não é completamente esclarecido. No entanto, sua atuação resulta em inibição do crescimento e perda da infectividade, ao impedir os processos que ocorrem na superfície e no interior da célula dos micro-organismos. A diminuta dimensão da nanop prata é essencial para sua melhor penetração à membrana celular, podendo assim, prejudicar o funcionamento celular, retardando a velocidade de suas atividades vitais, podendo então, ocasionar danos celulares. (MORONES, 2005; SHARMA, 2008).

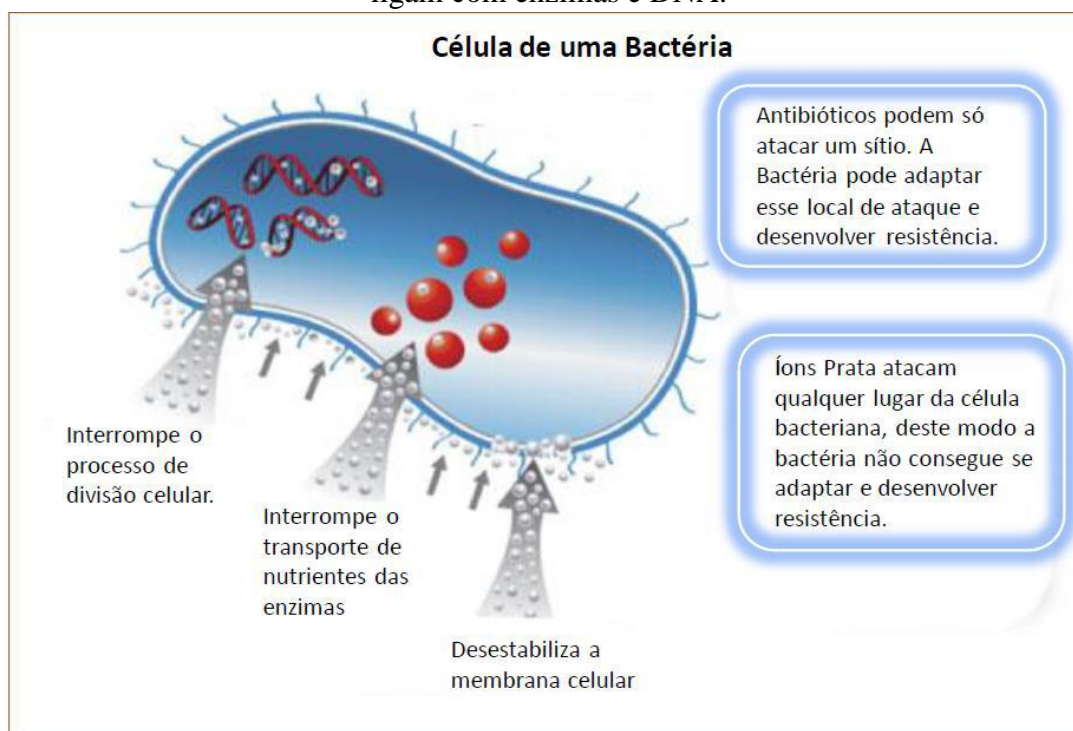
Vários estudos relatam que a carga positiva do íon Ag^+ (cedido pelas NPsAg após atravessarem a parede celular dos micro-organismos) é primordial para a sua atividade antimicrobiana, por meio da atração eletrostática entre a membrana celular dos microorganismos (negativamente carregadas) e as nanopartículas (positivamente carregadas). Conseqüentemente, as NPsAg afetam a permeabilidade seletiva da membrana (é aumentada), bem como a respiração, resultando na morte celular (MORONES, 2005; SHARMA, 2008).

Em um segundo momento, as nanopartículas de prata são capazes de invadir as células, interagindo com ligações dissulfeto dos conteúdos de glicoproteína / proteína de micro-organismos tais como vírus, bactérias e fungos, ou seja, é nociva às proteínas, e

consequentemente afeta negativamente o DNA (dificulta sua replicação) e o RNA (impossibilita sua transcrição) (LARA et al., 2011).

Tais fatos ocorrem porque a prata tem alta afinidade com os elementos enxofre e fósforo. A membrana celular, assim como muitas proteínas, é rica em enxofre. Já o DNA, é rico em fósforo. Estas modificações nas estruturas prejudicam os processos bacterianos, podendo ocasionar sua morte celular (MORONES, 2005; SHARMA, 2008). A Figura 2 ilustra a interação do íon prata em células de bactérias.

Figura 2 NPsAg atravessando a parede celular e liberando íons prata que se ligam com enzimas e DNA.



Fonte: Methanogens and Nano-Silver, disponível em <http://methanenanosilver.weebly.com/> - Adaptado

2.2 Aplicações

Devido a sua grande atividade microbicida e fungicida, as nanopartículas de prata têm um vasto campo de aplicações na medicina, na biotecnologia, em cosméticos, na indústria têxtil, em produtos eletrônicos e para acondicionamento (LEM et al., 2012).

Na área médico-hospitalar, as NPsAg vêm sendo agrupadas a próteses ósseas, equipamentos cirúrgicos, tecidos e implantes (PASCHOALINO et al., 2010). Revestimentos de nanop prata sob superfícies de válvulas cardíacas artificiais, catéteres para diálise, marca-passos, entre outros, têm grande capacidade de prevenir o crescimento de bactérias e diminuir as taxas de infecção. Outra aplicação da nanop prata é a impregnação em tecidos, para a fabricação de lençóis e roupas, para a utilização em ambientes hospitalares (LUOMA, 2008).

Um uso recente e interessante desse material nanoparticulado é na odontologia. O estudo realizado pelo Cetene (Centro Nacional de Pesquisas Estratégicas do Nordeste) em parceria com a UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) promete utilizar as nanopartículas de prata na eliminação das bactérias causadoras da cárie. De acordo com a pesquisa, apenas uma aplicação na área lesionada é capaz de paralisar

cerca de dois terços da cárie, sem a necessidade da remoção do tecido, abrindo novos caminhos para o tratamento. Esse método acabaria com o uso da broca, seria capaz de prevenir futuras cáries e ainda contribuiria com a remineralização dentária. Os resultados obtidos foram satisfatórios e promissores (MCTI, 2015).

2.3 Nanopartículas de prata como anticorrosivo

Experimentos realizados recentemente comprovaram a ação inibidora de corrosão das nanopartículas de prata. Um desses estudos, feito a partir da síntese verde das nanopartículas, utilizando extrato de folhas de *Artemisia annua* e *Sida acuta*, analisou sua ação em aço doce (aço com baixo teor de carbono) com HCl 0,5M. O aumento das concentrações das nanopartículas de prata causou uma inibição notável nas reações anódicas e catódicas do aço doce. (JOHNSON et al., 2014). Os resultados desta pesquisa são observados na Tabela 1.

Tabela 1 Eficiência de inibição (EI) da corrosão do aço doce em solução de HCl 0,5M contendo diferentes concentrações de inibidores.

Inibidores	EI (%)
Sem inibidor	-
2% <i>Artemisia annua</i> NPsAg	35,55
4% <i>Artemisia annua</i> NPsAg	86,56
6% <i>Artemisia annua</i> NPsAg	87,85
2% <i>Sida acuta</i> NPsAg	59,31
6% <i>Sida acuta</i> NPsAg	78,31

Fonte: JONHSON et al., 2014.

Num outro estudo, observam-se também tais propriedades inibidoras de corrosão em aço carbono quando em uma solução de HCl 1,0M. As nanopartículas de prata reduziram a taxa de corrosão atuando como uma barreira contra o ataque da solução ácida. (ATTA et al., 2013)

As soluções ácidas são amplamente utilizadas nas indústrias. Nessas soluções são necessários inibidores de corrosão para conter a erosão ácida de materiais metálicos, como o aço carbono (importante devido às suas aplicações em automóveis, eletrodomésticos, petróleo, construção, indústrias marinhas e químicas). Para reduzir a corrosão dos metais, uma das técnicas utilizadas é o uso das nanopartículas de prata. (ATTA et al., 2013)

Sabe-se que a Ag metálica (em escala não nanométrica), não pode reagir com ácido clorídrico (HCl), pois o potencial de redução da prata é maior do que a do hidrogênio. Já a reação entre nanopartículas de Ag e HCl em escala nanométrica pode ocorrer, o produto será cloreto de prata (AgCl), que é um precipitado insolúvel e que pode ser facilmente coletado para caracterização. (ATTA et al., 2013).

O resultado experimental de tal estudo é observado na tabela abaixo (Tabela 2), na qual se pode verificar que o aumento das concentrações de inibidores é acompanhado por uma inibição efetiva do processo de corrosão devido à formação da película protetora na superfície do eletrodo, e a eficiência de inibição máxima foi observada a uma concentração de 400 ppm (ATTA et al., 2013).

Tabela 2 Valores de eficiência de inibição para o aço carbono em HCl 1M com diferentes concentrações de nanopartículas de prata.

Concentração de NPsAg (ppm)	EI (%)
100	70.259
250	73.690
400	76.683

Fonte: ATTA et al., 2013.

Ambos os artigos não explicam com detalhes o mecanismo de ação da nanopartícula de prata como anticorrosivo, somente citam uma possível formação de um filme protetor. Portanto, tal mecanismo é menos elucidado do que o anterior (sobre a ação antibacteriana), deve-se continuar e aprofundar os estudos sobre tal recente tema.

2.4 Toxicidade – impactos na saúde e no meio ambiente

Alguns estudos mostram que as nanopartículas de prata podem matar células do fígado e do cérebro de ratos, pois, por serem finíssimas partículas, podem romper a membrana das células e provocar danos. Logo, é necessário o conhecimento sobre a toxicidade, disponibilidade e degradação destes nanomateriais (TRIPATHI et al., 2017).

Mesmo apresentando aplicações benéficas, muitos efeitos nocivos de NPsAg foram relatados em plantas e animais (NAVARRO et al., 2008; TRIPATHI et al., 2017a,b). As NPsAg são capazes de contaminar corpos de água, solos e a atmosfera. Consequentemente, acabam prejudicando a germinação das sementes, o crescimento de plantas, podem penetrar nos cultivos agrícolas, ficando bioacumuladas na cadeia alimentar. (FARKAS et al., 2011; NAIR and CHUNG, 2014)

A toxicidade das NPsAg em relação às algas, às plantas e aos micróbios é estimada através de experiências laboratoriais, sendo que cada estudo é muito específico para cada tipo de ser vivo e depende da concentração da nanopartícula. As tabelas 3, 4 e 5 a seguir mostram alguns exemplos dos efeitos das nanopartículas em algas, plantas e micróbios, respectivamente.

Tabela 3 Efeitos das nanopartículas de prata em algas

Algas	Tamanho das NPsAg	Concentrações	Efeitos prejudiciais das NPs
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	10 nm	10, 50, 100, e 500 μ M	Redução do rendimento fotossintético de algas.
<i>Ceramium tenuicorne</i>	<5, 5–10 nm	26.6 μ g L ⁻¹	NPsAg induzem efeitos tóxicos no organismo.

Algas	Tamanho das NPsAg	Concentrações	Efeitos prejudiciais das NPs
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	20–30 nm	0.19 mg L ⁻¹	Menor toxicidade com NPsAg observada do que com íons de prata.

Fonte: TRIPATHI et al., 2017. - Adaptado

Tabela 4 Efeitos das NPsAg em plantas

Plantas	Tamanho das NPsAg	Concentrações	Efeitos prejudiciais das NPsAg
<i>Cucurbita pepo</i>	>100 nm	500 mg L ⁻¹	Taxa de transcrição declinou cerca de 66–84%.
<i>Triticum aestivum</i>	10 nm	0–5 mg kg ⁻¹	Redução do comprimento da raiz e do caule dependendo da dose.
<i>Linum usitatissimum</i>	20 nm	20, 40, 60, 80, e 100 mg L ⁻¹	Nenhum efeito observado na germinação.

Fonte: TRIPATHI et al., 2017. – Adaptado

Tabela 5 Efeitos das NPsAg em micróbios

Micróbios	Tamanho das NPsAg	Concentrações	Efeitos prejudiciais das NPsAg
<i>Escherichia coli</i>	12 nm	50–60 $\mu\text{g. cm}^{-3}$	Inibição do crescimento bacteriano.
<i>Aspergillus sp.</i>	30–45 nm	50 $\mu\text{g. mL}^{-1}$	Supressão do crescimento de células fúngicas.
Fermento	13.5 nm	13.2 nM	Perda na permeabilidade da membrana.

Fonte: TRIPATHI et al., 2017. - Adaptado

A prata é relativamente não tóxica para células de mamíferos. O envenenamento por acidentes ocorre apenas entre os trabalhadores que têm crônica exposição à prata. (CHEN et al., 2007). Sabe-se que as nanopartículas de prata são consideravelmente mais tóxicas que os íons de prata (SAMBALE et al., 2015).

As nanopartículas também têm a possibilidade de serem absorvidas pela pele através do uso de cosméticos e roupas embutidas com nanopartículas de prata. Pele com cortes e feridas facilitam sua absorção até a corrente sanguínea (SAMBALE et al., 2015).

Através de alimentos e embalagens alimentares, a ingestão da nanop prata pode ocorrer. Observações feitas em estudos empíricos documentaram que a absorção de partículas do trato digestivo para os sistemas linfático e circulatório pode ocorrer. Mesmo os impactos na saúde não sendo muito esclarecidos, pode-se pensar que as NPsAg devem prejudicar o processo da digestão, já que ele se vale de bactérias benéficas para ocorrer e tais micro-organismos podem ser afetados negativamente pela presença das nanopartículas (SAMBALE et al., 2015).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado permitiu uma melhor compreensão do uso das nanopartículas de prata. Seu tamanho diminuto melhora suas propriedades e amplia sua gama de utilização. Também foi possível discutir alguns dos vários meios de síntese,

abordando o principal e mais utilizado – via boroidreto de sódio e nitrato de prata – e o secundário – via síntese verde. Este último ganha em custo e é sustentável.

Como antibacterianas, as nanopartículas de prata têm o mecanismo em parte esclarecido. Sabe-se que elas afetam a permeabilidade seletiva das células, interagem com o DNA e RNA, resultando em morte celular. Esta propriedade é bastante interessante, pois abre campos de aplicação e alternativa para produtos com o mesmo efeito, porém mais caros.

Como anticorrosivas, o mecanismo de ação não é totalmente esclarecido. A partir da leitura de duas pesquisas, pode-se concluir que o aumento da concentração de NPsAg aumenta a inibição da corrosão. Provavelmente atuam como inibidoras anódicas, já que criam um filme protetor na superfície do eletrodo. Se a reação entre a prata em escala nanométrica e HCl ocorrer, forma AgCl, que é um precipitado branco, insolúvel e de fácil caracterização. Esta é uma razão plausível para a inibição da corrosão.

O crescente aumento da utilização de nanopartículas de prata expõe os seres vivos e o meio ambiente a riscos que ainda não são completamente conhecidos. Em baixas concentrações, as NPsAg não são tóxicas aos seres humanos, porém, pessoas que se expõem excessivamente podem ser afetadas, e provavelmente, as nanopartículas se bioacumulam no organismo.

É notável que a nanotecnologia tenha sua importância em várias aplicações, entretanto, sua liberação em excesso na natureza pode levar a um desequilíbrio no ecossistema ao provocar impactos tóxicos em plantas, algas e micro-organismos. Mais estudos sobre a nanotoxicidade e a nanopoluição são necessários.

Agradecimento

Agradecemos à professora Ísis, pela dedicação, suporte, aulas, incentivo e orientação desse trabalho; à professora Alessandra, pelas aulas, dicas e suporte para realizarmos o trabalho; aos nossos familiares, pelo apoio, carinho e ajuda durante a elaboração do trabalho e durante o tempo graduação; às nossas amigas e parceiras de curso, Nathália, Heloíse e Daniela, pela companhia e carinho durante esse tempo; e finalmente a todo o corpo docente das Faculdades Oswaldo Cruz, por toda a dedicação e ensinamentos.

REFERÊNCIAS

ATTA A. M., EL-MAHDY G. A., e AL-LOHEDAN H. A.; *Corrosion Inhibition Efficiency of Modified Silver Nanoparticles For Carbon Steel in 1 M HCl*.

Chemistry department, College of Science, King Saud University. Arábia Saudita, 2013. Disponível em: <<http://www.electrochemsci.org/papers/vol8/80404873.pdf>>. Acesso em 22 ago. 2017.

BOSELT, I.; WILKE, T. e WAITZ, T.; *School Experiments on the Biototoxicity of Metal and Metal Oxide Nanoparticles*, Disponível em: <<http://conference.pixel-online.net/NPSE/files/npse/ed0004/FP/1436-NTST879-FP-NPSE4.pdf>>.

Acesso em: 19 mai. 2017.

DE MELO, G. B., *Síntese verde de nanopartículas de prata usando extrato aquoso de erva mate (Ilex paraguariensis)*, Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4882/1/CM_COEAL_2015_2_07.pdf> Acesso em 19 ago. 2017.

DURAN, N.; MARCATO, P. D.; *Potential Use of Silver Nanoparticles on Pathogenic Bacteria, their Toxicity and Possible Mechanisms of Action*. Universidade Estadual de Campinas. v. 21, n 6, 2010. P 949-959. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v21n6/v21n6a02.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2017.

FARKAS J., PETER H., CHRISTIAN P., URREA J. A. G., HASSELLOV M., TUORINIEMI J. *Characterization of the effluent from a nanosilver producing washing machine*. Environ. Int. 2011. P 1057–1062. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21470683>>. Acesso em 2 mai. 2017.

HYNING, D. L.; KLEMPERER, W. G.; e ZUKOSKI, C. F.; *Silver Nanoparticle Formation: Predictions and Verification of the Aggregative Growth Model*, Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la000856h>>. Acesso em 30 mar. 2017.

JOHNSON, A.; OBOT, I. B.; e UKPONG, U. S.; *Green synthesis os silver nanoparticles using Artemisia annua and Sida acuta leaves extract and their antimicrobial, antioxidant and corrosion inhibition potentials*, Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/261725112_Green_synthesis_of_silver_nanoparticles_using_Artemisia_annua_and_Sida_acuta_leaves_extract_and_their_antimicrobial_antioxidant_and_corrosion_inhibition_potentials?enrichId=rgreq-24118dc8fc0ccd63c979c222cb940308-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTcyNTEzMjBUzoxMDE4NTA2NzQxMDYzNjIAMSQwMTI5NDUwMTI3Mg%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf> Acesso em: 28 jun. 2017.

KLABUNDE, K. J.; *Nanoscale Materials in Chemistry*, Nova York: Wiley Interscience, 2001, p. 287.

LARA, H. H.; GARZA-TREVIÑO E. N.; IXTEPAN-TURRENT L.; e SINGH D. K.; *Silver nanoparticles are broad-spectrum bactericidal and virucidal compounds*. v. 9, agosto, 2011. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3199605/>>. Acesso em 22 mar. 2017.

LEM, K. W., CHOUDHURY, A., LAKHANI, A. A., KUYATE, P., HAW, J. R., LEE, D. S., Iqbal Z., e BRUMLIK, C. J.; *Use of Nanosilver in Consumer Products*, Disponível em < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22023078>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

LUOMA, S. N.; *Silver nanotechnologies and the environment: Old problems or new challenges?*, Disponível em: < http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf> Acesso em 27 mar. 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTI), *Pesquisa do CETENE usa nanopartículas de prata para o tratamento de cáries*, Disponível em: <http://www.mcti.gov.br/noticia/-/asset_publisher/epbV0pr6eIS0/content;jsessionid=DA2030047B2B35EE6C94BD7E589D05D>. Acesso em 27 mar. 2017.

MITTAL, A. K.; CHRISTI, Y.; BANERJEE, U. C. *Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts*, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975013000050>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

MORONES, J. R., ELECHIGUERRA, J. L., CAMACHO, A., HOLT, K., KOURI, J. B., RAMIREZ, J. T., e YACAMAN, M. J.; *The Bacterial effect of silver nanoparticles*. v. 16, agosto, 2005. P. 2346 – 2353. Disponível em: <http://rubenmorones.com/img/publicaciones/The_Bactericidal_Effect_of_Silver_Nano_particles.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2017.

NAIR P. M. G., CHUNG I. M. *Assessment of silver nanoparticle-induced physiological and molecular changes in Arabidopsis thaliana*. Environ. Sci. Pollut. Res. 2014. P 8858–8869. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24723349>>. Acesso em: 2 mai. 2017.

NAVARRO E., BAUN A., BEHRA R., HARTMANN N. B., FILSER J., MIAO A. J. *Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi*. Ecotoxicology. 2008. P 372–386. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18461442>>. Acesso em 18 mai. 2017.

PASCHOALINO, M. P., MARCONE, G. P. S., e JARDIM, W. F.; *Os nanomateriais e a questão ambiental*, Disponível em: <http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol33No2_421_32-RV09047.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2017.

PHILIP, D.; *Green synthesis of gold and silver nanoparticles using Hibiscus rosa sinensis*, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386947709005177>> Acesso em 19 ago. 2017.

SAMBALE, F., WAGNER, S., STAHL, F., KHAYDAROV, R. R., SCHEPER, T., e BAHNEMANN, D. *Investigations of the Toxic Effect of Silver Nanoparticles on Mammalian Cell Lines*, Journal of Nanomaterials, vol. 2015, Article ID 136765, 9 pages, 2015. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/jnm/2015/136765/>>. Acesso em 5 jun. 2017.

SHARMA, V. K.; YNGARD, R. A.; e LIN, Y. *Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities*. Chemistry Department, Florida Institute of Technology, 150 West University Boulevard, Melbourne, Florida 32901, USA, v. 154, setembro, 2008. P 83 – 96. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316621049_Silver_nanoparticles_green_synthesis_approaches>. Acesso em 25 mai. 2017.

TRIPATHI, D. K., TRIPATHI, A., SHWETA, *Uptake, Accumulation and Toxicity of Silver Nanoparticle in Autotrophic Plants, and Heterotrophic Microbes: A Concentric Review*. v. 8, janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5266687/>>. Acesso em 17 mai 2017.

VILCHIS-NESTOR, A. R., MENDIETA, V. S., LÓPEZ, M. A. C., e ALATORRE, J. A. A., *Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using Camellia sinensis extract*, Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/248269281_Solvent_less_synthesis_and_optical_properties_of_Au_and_Ag_nanoparticles_using_Camellia_sinensis_extract> Acesso em 19 ago. 2017.