

Quorum sensing em *Pseudomonas aeruginosa*: mecanismos de comunicação e sistemas regulatórios

Gabriella de Oliveira de Borba, Biomedicina, Centro Universitário Integrado, Brasil.

Laís de Souza Braga, Biomedicina, Centro Universitário Integrado, Brasil,
lais.souza@grupointegrado.br

INTRODUÇÃO

Encontrada em diversos nichos ecológicos, desde reservatórios naturais de água e solo até o ambiente clínico, a *Pseudomonas aeruginosa* (bactéria Gram-negativa) destaca-se pela alta capacidade de adaptação e pela atuação como patógeno oportunista, associada a infecções graves. Sua relevância clínica é ampliada pela multirresistência a antimicrobianos, o que levou a Organização Mundial da Saúde (OMS) a classificá-la especialmente em cepas resistentes a carbapenêmicos, como patógeno de prioridade crítica (WHO, 2024).

A patogenicidade de *P. aeruginosa* está relacionada à sua capacidade de transição do estilo de vida individual para o coletivo, principalmente por meio da formação de biofilmes. Esse processo é regulado por sistemas de quorum sensing (QS), que permitem a comunicação bacteriana dependente da densidade populacional, coordenando a expressão de fatores de virulência e contribuindo para a redução da eficácia de tratamentos com fármacos convencionais (Redefern et al., 2021; Xie et al., 2022).

O estudo sobre esses mecanismos apresenta grande relevância acadêmica e profissional, pois contribui para a compreensão das redes regulatórias envolvidas na virulência bacteriana. Além disso, possibilita também a identificação de novos alvos terapêuticos, como estratégias anti-virulência que atuam na modulação do quorum sensing (Chen et al., 2024).

Diante disso, torna-se necessária a síntese dos achados sobre a organização molecular da *P. aeruginosa*, com foco nos seus sistemas regulatórios. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o papel do quorum sensing e seus mecanismos de regulação, buscando compreender sua contribuição para a virulência e persistência desse microrganismo em diferentes contextos.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura conduzida nas bases de dados PubMed e SciELO, realizada em março de 2026. Para a busca de artigos foram utilizados os descritores "Quorum Sensing", "*Pseudomonas aeruginosa*" e "biofilme". Os descritores foram combinados com o operador booleano AND, como "Quorum sensing AND *Pseudomonas aeruginosa* AND biofilme". Como critérios de inclusão foram selecionados artigos originais e citáveis, período 2019 a 2026,

idiomas português e inglês e acesso aberto. Foram excluídos artigos com acesso restrito, trabalhos duplicados, estudos sem relação com o objetivo e revisões bibliográficas. O processo de seleção ocorreu em três etapas: primeiramente, realizou-se a busca sistemática dos artigos nas bases selecionadas utilizando os descritores definidos; em seguida, procedeu-se à seleção inicial por meio da leitura dos títulos e resumos; por fim, efetuou-se a leitura integral dos artigos potencialmente elegíveis para seleção final.

REVISÃO DE LITERATURA

Inicialmente, foram identificados 74 artigos nas bases de dados. A triagem por títulos e resumos resultou na exclusão de 56 estudos. Ao final da leitura completa, 10 artigos foram incluídos na revisão. Selecionados com base em critérios de relevância, atualidade e alinhamento com o tema proposto. Esses estudos foram analisados, permitindo a síntese e discussão dos principais achados relacionados ao objeto de investigação. Os estudos analisados demonstram que a comunicação intercelular da *Pseudomonas aeruginosa* ocorre por meio do sistema de quorum sensing (QS), um mecanismo que permite às bactérias organizarem seu comportamento coletivo com base na densidade populacional. Esse processo envolve a produção contínua de moléculas sinalizadoras, chamadas autoindutores, que são liberadas no meio extracelular. Conforme ocorre o aumento da densidade bacteriana, a concentração dessas moléculas aumenta até atingir um limiar crítico, momento em que são reconhecidas por receptores específicos, ativando a expressão coordenada de genes relacionados à virulência, adaptação e sobrevivência (Redfern et al., 2021; Xie et al., 2022).

Na *P. aeruginosa*, o QS é organizado em uma hierarquia de sistemas regulatórios. Entre os sistemas de quorum sensing, o LasI/LasR atua como o principal regulador, controlando a ativação de outros mecanismos relacionados à virulência e sendo responsável pela produção e detecção da molécula sinalizadora 3-oxo-C12-HSL, uma acil-homoserina lactona que atua como principal indutor da resposta gênica. A ativação desse sistema desencadeia a expressão de diversos genes de virulência primários, além de regular outros sistemas de QS. Em seguida, o sistema RhII/RhIR, dependente do sistema Las, controla a produção de ramnolipídios, moléculas importantes para a motilidade e disseminação bacteriana, além de outros fatores associados à colonização e manutenção da infecção (Al-Maddboly et al., 2025; Chen et al., 2024; Dodson et al., 2021).

Outro componente essencial é o sistema PQS (*Pseudomonas* Quinolone Signal), baseado em moléculas derivadas de quinolonas, atua como um elo de ligação entre os sistemas Las e Rhl. Esse sistema desempenha um papel essencial na adaptação da bactéria a condições de estresse, principalmente o estresse oxidativo, frequentemente encontrado no ambiente do hospedeiro durante a resposta imune. Já o sistema IQS (Integrated Quorum Sensing) está associado à resposta a condições de limitação nutricional, como a escassez de fosfato, permite que a bactéria mantenha sua virulência mesmo em situações ambientais não favoráveis a ela (Chen et al., 2024; Velasco et al., 2024; Dodson et al., 2021).

A regulação por quorum sensing está diretamente relacionada à produção de fatores de virulência, como exoenzimas e toxinas. Compostos esses que são produzidos de forma coordenada e em momentos específicos da infecção, evitando a detecção antecipada pelo sistema imunológico do hospedeiro. Essa estratégia aumenta a eficiência da infecção, permitindo que a bactéria se estabeleça antes de

desencadear uma resposta imune significativa no organismo (Rocha et al., 2019; Al-Maddyboly et al., 2025).

Além disso, o QS desempenha um papel crucial na formação de biofilmes, que são comunidades bacterianas organizadas envoltas por uma matriz extracelular composta por polissacarídeos, proteínas e DNA extracelular. Essa estrutura atua como uma barreira física que protege as bactérias contra antibióticos e células do sistema imune, o que contribui para a persistência das infecções e para o desenvolvimento da resistência antimicrobiana (Rocha et al., 2019; Xie et al., 2022). De acordo com Olszak et al (2024), outro nível significativo de regulação envolve moduladores globais, como o sistema Gac/Rsm e pequenos RNAs regulatórios. Esses componentes atuam no nível pós-transcricional, ou seja, após a síntese do RNA mensageiro, modulando sua tradução e estabilidade. Dessa forma, funcionam como um mecanismo de ajuste dos sinais de QS, permitindo que a bactéria adapte sua expressão gênica e metabolismo de maneira mais eficiente ao ambiente que está.

Por fim, os estudos também destacam a elevada diversidade genética da *P. aeruginosa*, que aliada à regulação por quorum sensing, contribui para sua alta capacidade de adaptação e virulência. Essa combinação favorece a disseminação de clones e está associada a piores clínicas, incluindo maior gravidade nas infecções e aumento de complicações sistêmicas, como sepse (Engin et al., 2025). Esses fatores reforçam a importância da compreensão dos mecanismos regulatórios dessa bactéria para o desenvolvimento de novas estratégias terapêuticas e de controle populacional e viral (WHO, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interação entre os sistemas de quorum sensing constitui uma rede regulatória integrada que permite a *Pseudomonas aeruginosa* ajustar sua expressão gênica de acordo com as condições ambientais. O sistema Las atua como principal iniciador, regulando os demais sistemas, enquanto PQS e IQS garantem a continuidade da resposta em situações de estresse. Essa organização favorece a adaptação e a sobrevivência da bactéria em ambientes adversos, além de contribuir para sua capacidade de causar infecção, persistir no hospedeiro e estabelecer infecções crônicas de difícil erradicação.

Os achados confirmam o objetivo do estudo, ressaltando que o quorum sensing funciona como um sistema central de regulação, responsável por coordenar processos, como a formação de biofilmes, a produção de toxinas e a adaptação ao hospedeiro. Além disso, a interdependência entre esses sistemas demonstra que a virulência bacteriana não resulta da ação isolada de genes ou fatores específicos, mas de uma rede complexa de regulação capaz de formar respostas fisiológicas e metabólicas conforme os estímulos do ambiente. Nesse contexto, a inibição do QS se mostra uma estratégia em potencial, pois atua reduzindo a virulência bacteriana sem exercer alta pressão seletiva, configurando uma alternativa relevante no enfrentamento da resistência antimicrobiana. Isso é especialmente importante porque esses sistemas regulam diretamente fatores determinantes para a patogenicidade, a persistência e a tolerância bacteriana, tornando o quorum sensing um alvo promissor para o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas, capazes de complementar ou até potencializar terapias antimicrobianas convencionais.

Apesar da consistência dos estudos analisados quanto ao papel central do sistema Las como regulador hierárquico, observa-se que alguns autores apontam variações na dependência entre os sistemas Las e Rhl, especialmente em diferentes condições ambientais. Além disso, a atuação do sistema PQS como mediador intermediário reforça a complexidade da rede regulatória, indicando que o QS não opera de forma linear, mas sim integrada e adaptativa. Outro ponto relevante refere-se à relação entre o QS e a resistência antimicrobiana. Embora a formação de biofilmes seja reconhecida como fator de proteção, ainda existem lacunas quanto à eficácia de estratégias terapêuticas baseadas na inibição do QS em ambientes clínicos reais, evidenciando a necessidade de estudos adicionais que validem sua aplicação na prática clínica.

PALAVRAS-CHAVE

Quorum sensing. *Pseudomonas aeruginosa*. Biofilme. Fatores de virulência.

REFERÊNCIAS

AL-MADDBOLY, Lamiaa A. et al. Anti-biofilm and anti-quorum sensing activities of galloylquinic acid against clinical isolates of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in open wound infection: in vitro and in vivo efficacy studies. BMC Microbiology, Londres, v. 25, n. 1, p. 206, 2025. Disponível em: 10.1186/s12866-024-03712-8

CHEN, Pei et al. Harmine acts as a quorum sensing inhibitor decreasing the virulence and antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa*. BMC Infectious Diseases, Londres, v. 24, n. 1, p. 760, 2024. Disponível em: 10.1186/s12879-024-09639-9

DODSON, Taylor A. et al. Characterization of distinct biofilm cell subpopulations and implications in quorum sensing and antibiotic resistance. mBio, v. 13, n. 3, 2022. Disponível em: 10.1128/mbio.00191-22

ENGIN, L. et al. *Pseudomonas aeruginosa* infection is linked to increases in cardiovascular events post exacerbation in bronchiectasis. ERJ Open Research, Sheffield, v. 11, n. 4, 2025. Disponível em: 10.1183/23120541.01126-2024

REDFERN, James et al. Biofilm associated genotypes of multiple antibiotic resistant *Pseudomonas aeruginosa*. BMC Genomics, Londres, v. 22, n. 1, p. 572, 2021. Disponível em: 10.1186/s12864-021-07818-5

ROCHA, Antônio José et al. *Pseudomonas aeruginosa*: virulence factors and antibiotic resistance genes. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v. 62, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019180503>

VELASCO, Wendy Johana et al. Inhibitory effect of five naturally occurring compounds on the expression of genes associated with the QS system and some virulence factors in *Pseudomonas aeruginosa*. Brazilian Archives of Biology and

Technology, Curitiba, v. 67, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2024230553>

OLSZAK, Tomasz et al. Phage treatment of *Pseudomonas aeruginosa* yields a prototypic model of enhanced innate immune stimulation. Microbiome, Londres, v. 12, n. 1, 45, 2024. Disponível em: [10.1016/j.micres.2024.127609](https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127609)

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO bacterial priority pathogens list, 2024: bacterial pathogens of public health importance, to guide research, development and strategies to prevent and control antimicrobial resistance. Geneva: World Health Organization, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240093461>

XIE, Yanxuan et al. Inhibition of quorum-sensing regulator from *Pseudomonas aeruginosa* using a flavone derivative. Molecules, Basel, v. 27, n. 8, 2022. Disponível em: [10.3390/molecules27082439](https://doi.org/10.3390/molecules27082439)