

Resistência Bacteriana E O Papel Dos Biomédicos Na Vigilância Epidemiológica

Rafaela Santos Pereira Gomes, Thaylini Querino, Bruno Nogueira de Barros,
Luis Eduardo Gomes Braga e Danielle Pacheco Alves.

Universidade De Vassouras – Campus Saquarema

Resumo

A resistência bacteriana representa uma das maiores ameaças à saúde pública global, agravada pelo uso indiscriminado de antimicrobianos e pela limitação de novos tratamentos. Este artigo de revisão analisa os principais mecanismos de resistência bacteriana, seus impactos na morbimortalidade e nos custos em saúde, e discute o papel estratégico do biomédico na vigilância epidemiológica e no controle de infecções. A atuação biomédica nos laboratórios clínicos, comissões hospitalares e redes de saúde pública, aliada à implementação de programas de stewardship e à integração com tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e os sistemas de big data, é essencial para conter a disseminação de microrganismos multirresistentes. O texto também destaca a importância do fortalecimento da formação acadêmica em microbiologia clínica e o compromisso ético com o uso racional de antimicrobianos.

Palavras-chave: Resistência bacteriana, Vigilância epidemiológica, Biomedicina, Antimicrobianos, Inteligência artificial.

Date of Submission: 23-05-2025

Date of Acceptance: 03-06-2025

I. Introdução

A resistência bacteriana representa um dos maiores desafios contemporâneos para a saúde pública global. A capacidade dos microrganismos em desenvolver mecanismos de resistência frente aos antimicrobianos compromete significativamente a eficácia de tratamentos convencionais, agravando infecções e elevando a mortalidade. A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica a resistência antimicrobiana como uma das dez principais ameaças à saúde global, destacando a necessidade urgente de ações coordenadas para contê-la (WHO, 2020). Essa crise se agrava com o uso inadequado de antibióticos, tanto em ambientes clínicos quanto na agropecuária, fomentando a seleção natural de cepas resistentes.

No Brasil, o cenário é igualmente preocupante. Segundo dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), infecções hospitalares causadas por bactérias multirresistentes, como *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter baumannii*, apresentam taxas crescentes nos últimos anos, particularmente em unidades de terapia intensiva (ANVISA, 2023). No contexto internacional, o relatório Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS) indica que cerca de 4,95 milhões de mortes em 2019 foram associadas a infecções resistentes, sendo 1,27 milhão diretamente atribuídas à resistência antimicrobiana (Murray et al., 2022). Esses números refletem um panorama alarmante e reforçam a necessidade de vigilância epidemiológica robusta e intervenções estratégicas.

O impacto da resistência bacteriana ultrapassa os limites clínicos, gerando implicações econômicas, sociais e ambientais. Para a Biomedicina, esse tema adquire relevância central, pois a atuação do biomédico se estende desde a realização de exames laboratoriais até a pesquisa aplicada em microbiologia, farmacologia e saúde pública. A formação desse profissional o capacita a identificar, monitorar e propor estratégias de contenção para agentes resistentes, atuando em articulação com políticas de saúde pública e práticas hospitalares (CNS, 2019). Dessa forma, compreender a dinâmica da resistência bacteriana é essencial para fortalecer o papel do biomédico como agente estratégico no enfrentamento dessa crise.

Além disso, a Biomedicina encontra-se em posição privilegiada para integrar ações de vigilância epidemiológica, contribuindo na detecção precoce de surtos, na validação de testes moleculares e na implementação de sistemas de informação em saúde. A atuação biomédica tem ganhado destaque nos Núcleos Hospitalares de Epidemiologia e em Centros de Informações Estratégicas em Vigilância em Saúde (CIEVS), ampliando sua interface com equipes multiprofissionais e com o controle de infecções relacionadas à assistência à saúde (BRASIL, 2021). A resistência bacteriana, nesse contexto, torna-se também um tema estratégico para a formação acadêmica e a capacitação continuada.

Diante dessa conjuntura, este artigo tem como objetivo revisar os principais mecanismos de resistência bacteriana aos antimicrobianos e discutir a atuação do biomédico na vigilância epidemiológica. A abordagem visa consolidar fundamentos teóricos e práticos sobre a resistência, explorar inovações tecnológicas utilizadas na detecção de genes de resistência, e evidenciar a importância da formação crítica e ética do biomédico diante de um cenário pandêmico silencioso, mas de amplas repercussões.

Assim, ao integrar evidências científicas atualizadas com a prática biomédica, busca-se não apenas informar, mas também fomentar reflexões e ações concretas na contenção da resistência bacteriana. Considerando os desafios futuros em saúde pública, é imperativo que a formação em Biomedicina reforce o desenvolvimento de competências analíticas e estratégicas, estimulando a produção científica e a participação ativa em políticas de vigilância e controle microbiológico.

II. Mecanismos De Resistência Bacteriana

A resistência bacteriana pode ser classificada em dois tipos principais: natural (ou intrínseca) e adquirida. A resistência natural ocorre quando a bactéria possui características estruturais ou metabólicas que tornam um antibiótico ineficaz, como a ausência do alvo molecular ou impermeabilidade da membrana celular. Por outro lado, a resistência adquirida resulta da adaptação evolutiva frente à pressão seletiva causada pelo uso indiscriminado de antimicrobianos, muitas vezes por mutações ou aquisição de genes de resistência. Esse fenômeno se tornou mais prevalente nos últimos anos, sendo impulsionado pela automedicação, uso na agropecuária e falhas na adesão a protocolos terapêuticos (Prestinaci, Pezzotti & Pantosti, 2015).

Um dos mecanismos mais preocupantes de resistência adquirida é a inativação enzimática dos antibióticos, especialmente por β -lactamases e carbapenemases. Essas enzimas são capazes de hidrolisar o anel β -lactâmico presente em diversos antibióticos, como penicilinas, cefalosporinas e carbapenêmicos, tornando-os ineficazes. As cepas produtoras de carbapenemases, como a KPC (*Klebsiella pneumoniae carbapenemase*), têm sido associadas a surtos hospitalares de alta letalidade, especialmente em pacientes imunocomprometidos ou internados em unidades de terapia intensiva (van Duin & Doi, 2017). O monitoramento laboratorial e o uso de testes rápidos são estratégias fundamentais para a contenção dessas cepas multirresistentes.

Outro mecanismo amplamente descrito é a alteração nos alvos moleculares dos antibióticos, que ocorre por mutações pontuais em estruturas críticas da célula bacteriana. Um exemplo é a modificação da DNA girase e da topoisomerase IV em cepas resistentes às fluoroquinolonas, impedindo sua ligação ao DNA bacteriano e, consequentemente, a ação do antibiótico. Da mesma forma, mutações em ribossomos dificultam a ligação de aminoglicosídeos e macrolídeos, tornando o tratamento ineficaz. Essas alterações conferem resistência cruzada a múltiplas classes terapêuticas e desafiam os esquemas empíricos de tratamento (Blair et al., 2015).

Além das alterações enzimáticas e estruturais, destaca-se o papel da redução da permeabilidade da membrana bacteriana e da ativação de bombas de efluxo. Estas últimas são proteínas de membrana que expulsam ativamente os antimicrobianos para fora da célula, reduzindo sua concentração intracelular a níveis subinibitórios. Em patógenos como *Pseudomonas aeruginosa* e *Acinetobacter baumannii*, a presença de bombas de efluxo está associada à resistência a múltiplos fármacos, inclusive os de última linha, como colistina (Li, Plésiat & Nikaido, 2015). Essas adaptações reforçam a importância da escolha racional de antimicrobianos e da vigilância genotípica nas instituições de saúde.

A transferência genética horizontal é outro fator crítico na disseminação da resistência bacteriana. Diferente da transmissão vertical (de mãe para filha), a horizontal ocorre entre bactérias, inclusive de espécies distintas, por meio de plasmídeos, transposons e integrons. Esses elementos móveis carregam genes de resistência e permitem a rápida disseminação de perfis multirresistentes em comunidades e ambientes hospitalares (Partridge, Kwong & Firth, 2018). Essa capacidade adaptativa das bactérias desafia os modelos convencionais de controle e demanda abordagens interdisciplinares e integradas de vigilância epidemiológica.

O papel da transferência gênica em surtos hospitalares tem sido amplamente documentado, revelando sua importância estratégica para a saúde pública. Casos de disseminação clonal de cepas produtoras de metalo- β -lactamases em unidades de terapia intensiva têm sido associados à presença de integrons do tipo 1, que facilitam a incorporação de múltiplos genes de resistência em um único evento de recombinação. A vigilância genômica e a implementação de medidas de controle de infecção são fundamentais para interromper essa cadeia de transmissão e mitigar o impacto clínico e econômico da resistência bacteriana (Berendonk et al., 2015).

III. Impactos Da Resistência Antimicrobiana Na Saúde Pública

A resistência antimicrobiana tem elevado consideravelmente as taxas de morbimortalidade associadas às infecções hospitalares, especialmente em ambientes críticos como unidades de terapia intensiva. Patógenos multirresistentes, como *Klebsiella pneumoniae* KPC e *Acinetobacter baumannii*, têm sido responsáveis por infecções de difícil manejo, levando a complicações graves e aumento da letalidade entre pacientes imunossuprimidos ou com comorbidades (Cassini et al., 2019). A incapacidade de resposta eficaz aos

antimicrobianos convencionais compromete não apenas a recuperação clínica, mas também a segurança do ambiente hospitalar como um todo.

O prolongamento do tempo de internação é outro impacto direto da resistência bacteriana, uma vez que infecções causadas por cepas multirresistentes exigem tratamentos mais longos e complexos. Além do agravamento do quadro clínico, os custos hospitalares aumentam consideravelmente, tanto por conta da necessidade de isolamento de pacientes quanto pelo uso de antimicrobianos de alto custo e exames laboratoriais mais frequentes (Naylor et al., 2018). Esse cenário sobrecarrega sistemas públicos e privados de saúde, reduz a disponibilidade de leitos e compromete a sustentabilidade financeira das instituições.

A limitação de opções terapêuticas imposta pela resistência antimicrobiana obriga os profissionais de saúde a recorrerem a antibióticos de última linha, como colistina e tigeciclina, muitas vezes associados a efeitos colaterais severos e eficácia limitada. A escassez de novos antibióticos em desenvolvimento agrava o quadro, colocando em risco a capacidade de resposta frente a patógenos emergentes (Tacconelli et al., 2018). Essa situação evidencia a urgência de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e uso racional de antimicrobianos, bem como da incorporação de testes rápidos que guiem a terapêutica adequada.

A resistência antimicrobiana compromete ainda a segurança de procedimentos médicos modernos, como cirurgias complexas, transplantes de órgãos e quimioterapia. Esses procedimentos dependem da profilaxia antimicrobiana eficaz para prevenir infecções oportunistas, e a falência desse recurso pode levar à contraindicação ou ao insucesso terapêutico (World Health Organization, 2020). O risco associado a intervenções anteriormente rotineiras impõe um retrocesso às práticas clínicas e reforça a necessidade de protocolos rigorosos de controle de infecção.

O uso indiscriminado de antibióticos, tanto na prática médica quanto na agropecuária, é apontado como um dos principais fatores que aceleram a emergência da resistência bacteriana. A automedicação, a prescrição inadequada e o uso de antibióticos como promotores de crescimento em animais de produção geram uma pressão seletiva constante sobre as populações bacterianas, favorecendo a disseminação de genes de resistência em humanos, animais e no meio ambiente (Robinson et al., 2016). Esse contexto exige uma abordagem integrada, o “One Health”, que reconhece a interdependência entre saúde humana, animal e ambiental na contenção da resistência antimicrobiana.

IV. Papel Do Biomédico Na Vigilância Epidemiológica Da Resistência

A atuação do biomédico nos laboratórios clínicos é fundamental para a vigilância microbiológica e o enfrentamento da resistência bacteriana. Esse profissional é responsável por realizar culturas, identificar agentes etiológicos e aplicar métodos de sensibilidade a antimicrobianos, como o teste de disco-difusão, E-test e determinação da concentração inibitória mínima (MIC). Esses dados são essenciais para guiar o tratamento individualizado e para alimentar os sistemas de vigilância hospitalares e nacionais. A padronização dessas metodologias, conforme as diretrizes do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), assegura a qualidade dos resultados e permite a detecção precoce de cepas multirresistentes (CLSI, 2023).

A notificação de perfis multirresistentes pelos biomédicos representa um eixo estratégico de ação. Profissionais capacitados reconhecem padrões atípicos de resistência, como a presença de carbapenemases ou resistência à colistina, e realizam a comunicação obrigatória aos órgãos competentes. Essa ação alimenta bancos de dados epidemiológicos e subsidia decisões clínicas e políticas. No Brasil, o Sistema Nacional de Vigilância da Resistência Microbiana em Serviços de Saúde (BR-GLASS), coordenado pela ANVISA, depende diretamente da notificação laboratorial eficiente para mapear e conter surtos (ANVISA, 2023).

Nos Comitês de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH), o biomédico tem papel ativo na análise e interpretação de dados microbiológicos, contribuindo para a definição de condutas assistenciais e protocolos de isolamento. A discussão em equipe multidisciplinar permite alinhar resultados laboratoriais à prática clínica e ao controle ambiental, promovendo uma abordagem integrada ao paciente. A participação biomédica também é fundamental na elaboração de alertas epidemiológicos internos e na revisão periódica dos indicadores de infecção hospitalar (Medeiros et al., 2021).

A interface do biomédico com os serviços de saúde pública amplia seu impacto social na contenção da resistência antimicrobiana. Ao atuar em vigilância laboratorial sentinela, o biomédico contribui na identificação e notificação de surtos comunitários ou nosocomiais, além de colaborar com as secretarias de saúde e com a Rede Nacional para Alerta de Resistência (ReNaR) no intercâmbio de dados críticos (Brasil, 2021). A integração entre laboratórios clínicos e vigilância em saúde é um pilar do modelo “One Health”, reconhecido internacionalmente como essencial para a contenção da resistência bacteriana (Robinson et al., 2016).

Além das funções técnicas, o biomédico é agente multiplicador de conhecimento, sendo essencial na educação continuada de equipes de saúde sobre o uso racional de antimicrobianos. A orientação de profissionais e pacientes quanto ao uso correto de antibióticos reduz a automedicação e o uso indiscriminado, principais causas da pressão seletiva que impulsiona a resistência. Campanhas educativas lideradas por biomédicos em

hospitais e unidades de saúde fortalecem o compromisso coletivo com as boas práticas clínicas e laboratoriais (Ventola, 2015).

Por fim, a atuação do biomédico na vigilância da resistência antimicrobiana exige atualização constante, domínio de ferramentas de análise epidemiológica e sensibilidade ética diante do impacto coletivo de sua prática. A formação acadêmica precisa incorporar temas como farmacovigilância, biossegurança, bioinformática e análise genômica para capacitar profissionais aptos a enfrentar o cenário dinâmico e desafiador das infecções resistentes. Em um contexto de escassez de novas moléculas antimicrobianas, o biomédico assume um papel central na linha de frente da contenção da resistência, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de saúde (Laxminarayan et al., 2020).

V. Estratégias De Contenção E Monitoramento

As boas práticas laboratoriais e o controle de qualidade são fundamentais para garantir resultados microbiológicos confiáveis e comparáveis, sobretudo na identificação de perfis de resistência antimicrobiana. A padronização de técnicas de cultura, identificação bacteriana e testes de sensibilidade, conforme diretrizes do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), permite detectar precocemente microrganismos multirresistentes e notificar surtos com precisão. Além disso, a participação em programas externos de controle de qualidade assegura a reprodutibilidade dos dados, fortalecendo a base para decisões clínicas e epidemiológicas (CLSI, 2023).

A implantação de programas de stewardship antimicrobiano tem se consolidado como uma das estratégias mais eficazes na contenção da resistência bacteriana. Esses programas visam promover o uso racional de antibióticos por meio de protocolos baseados em evidências, revisão de prescrições e capacitação de profissionais de saúde. Estudos mostram que a adoção do stewardship reduz o consumo inadequado de antimicrobianos, diminui custos hospitalares e melhora os desfechos clínicos (Barlam et al., 2016). Em tempos de escassez de novos antibióticos, o uso criterioso dos disponíveis é uma medida imprescindível à sustentabilidade do sistema de saúde.

O monitoramento contínuo de indicadores microbiológicos nos serviços de saúde, como taxas de resistência e prevalência de patógenos prioritários, é indispensável para a vigilância epidemiológica e controle de infecções. Esses indicadores permitem identificar padrões sazonais, surtos emergentes e avaliar a eficácia de medidas de contenção. Ferramentas como o BR-GLASS (Global Antimicrobial Resistance Surveillance System no Brasil), coordenado pela ANVISA, fornecem dados agregados que orientam políticas públicas e alertas sanitários (ANVISA, 2023). A análise regular desses dados deve ser parte integrante das rotinas de serviços laboratoriais e comissões de controle de infecção.

A integração entre laboratórios clínicos, hospitais e vigilância sanitária constitui um eixo estruturante no enfrentamento da resistência bacteriana. A comunicação ágil e eficaz entre essas instâncias permite uma resposta coordenada a surtos, articulação de medidas de isolamento e disseminação de protocolos técnicos. Além disso, a interoperabilidade entre sistemas de informação fortalece o rastreamento de casos e a implementação de ações intersetoriais. O modelo “One Health” reforça essa abordagem integrada, reconhecendo a interdependência entre os ambientes humano, animal e ambiental na contenção da resistência (Robinson et al., 2016).

VI. Discussão E Perspectivas Futuras

O avanço de tecnologias diagnósticas, como a biologia molecular, tem revolucionado a identificação de patógenos e a detecção de genes de resistência em tempo reduzido. Métodos como a reação em cadeia da polimerase (PCR) em tempo real permitem a amplificação específica de sequências genéticas associadas à resistência, com alta sensibilidade e especificidade. Essa abordagem tem se mostrado especialmente útil em ambientes hospitalares, onde o tempo de resposta influencia diretamente na escolha terapêutica e nos desfechos clínicos (Buchan & Ledebor, 2014). A utilização desses métodos moleculares também favorece o rastreamento genômico de surtos e a construção de bancos de dados epidemiológicos em tempo real.

Além da PCR, tecnologias como a espectrometria de massa por ionização de dessorção a laser assistida por matriz – MALDI-TOF (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight) – vêm sendo incorporadas em laboratórios clínicos para a identificação rápida e precisa de microrganismos. Esse método fornece resultados em minutos, reduzindo a dependência de culturas lentas e permitindo intervenções precoces. Sua associação com algoritmos de detecção de resistência aumenta o potencial de uso na vigilância microbiológica, especialmente quando integrado a bancos de dados regionais e nacionais (Singhal et al., 2015). Essas tecnologias representam um novo paradigma no diagnóstico microbiológico de precisão.

Com o aumento da resistência antimicrobiana e a escassez de novos antibióticos no mercado, a busca por terapias alternativas ganha destaque nas estratégias de enfrentamento. O uso de bacteriófagos – vírus que infectam bactérias – ressurge como uma abordagem promissora, especialmente em infecções causadas por cepas multirresistentes. Estudos recentes demonstram sua eficácia na erradicação de biofilmes e na modulação da

microbiota patogênica, o que pode complementar ou substituir o tratamento convencional em casos refratários (Lin et al., 2017). Além disso, os bacteriófagos apresentam alta especificidade, reduzindo os efeitos colaterais e a disbiose.

Outra estratégia inovadora é a utilização de peptídeos antimicrobianos (AMPs), moléculas naturais ou sintéticas com propriedades bactericidas, fungicidas e virucidas. AMPs atuam por mecanismos distintos dos antibióticos tradicionais, como a ruptura de membranas, o que dificulta o desenvolvimento de resistência cruzada. Ensaios clínicos com AMPs mostram resultados promissores, inclusive contra cepas resistentes a carbapenêmicos e colistina (Mahlapuu et al., 2016). Essas terapias alternativas representam uma fronteira científica em expansão, exigindo investimentos em pesquisa translacional e regulamentação sanitária.

A inteligência artificial (IA) e o uso de big data têm potencial transformador na vigilância microbiológica, especialmente ao integrar dados laboratoriais, clínicos e epidemiológicos em tempo real. Modelos de aprendizado de máquina podem identificar padrões de resistência, prever surtos e apoiar decisões clínicas baseadas em dados massivos (Yelin et al., 2019). Essa capacidade analítica ultrapassa as limitações humanas e permite respostas mais ágeis e precisas diante de eventos emergentes. O uso de dashboards interativos e algoritmos preditivos contribui para uma vigilância mais robusta e proativa.

Além disso, a IA pode ser empregada para automatizar a leitura de testes microbiológicos, como antibiogramas e imagens de cultura, aumentando a acurácia diagnóstica e reduzindo a variabilidade entre operadores. A associação entre inteligência artificial e sistemas de informação em saúde também favorece a rastreabilidade de casos, o gerenciamento de estoques de antimicrobianos e a elaboração de alertas epidemiológicos em tempo real (Topol, 2019). Contudo, para que essa transformação ocorra de forma eficaz, é necessário investimento em infraestrutura digital, capacitação profissional e políticas públicas que regulem o uso ético e seguro dessas tecnologias.

O fortalecimento do ensino de microbiologia clínica nos cursos de Biomedicina é essencial para preparar profissionais capazes de lidar com esse cenário complexo e dinâmico. A formação deve ir além da técnica laboratorial, incluindo conhecimentos sobre farmacologia, genômica, vigilância epidemiológica e ética no uso de dados. A inserção de metodologias ativas de ensino, como estudos de caso e simulações clínicas, contribui para o desenvolvimento de habilidades analíticas e pensamento crítico (Araújo et al., 2020). Esse novo perfil de biomédico é indispensável para atuar em ambientes interdisciplinares e tecnologicamente avançados.

Além disso, o estímulo à iniciação científica e à participação dos estudantes em projetos de extensão e pesquisa em microbiologia clínica pode antecipar o contato com temas como resistência bacteriana, novas tecnologias diagnósticas e inteligência artificial aplicada à saúde. Tal abordagem fortalece a integração entre teoria e prática, preparando o egresso para atuar em hospitais, laboratórios de referência e instituições de saúde pública com competência e responsabilidade (Barrella & Pereira, 2018). Em tempos de mudanças rápidas, a educação biomédica precisa se alinhar às demandas da saúde do século XXI.

VII. Considerações Finais

O protagonismo do biomédico no enfrentamento da resistência bacteriana tem se consolidado frente aos desafios impostos pela era pós-antibiótica. Sua atuação em laboratórios clínicos, comissões de controle de infecção e sistemas de vigilância microbiológica posiciona esse profissional como elo essencial entre o diagnóstico preciso e as decisões clínicas e sanitárias. A capacidade técnica e o conhecimento aprofundado em microbiologia, farmacologia e epidemiologia são diferenciais que o tornam apto a identificar perfis de resistência, contribuir para políticas públicas e implementar práticas de biossegurança em diversos níveis da atenção à saúde (CNS, 1998; Medeiros et al., 2021).

A inserção de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, amplia ainda mais o campo de atuação do biomédico. Ao aliar conhecimento científico à capacidade analítica de sistemas inteligentes, o biomédico poderá interpretar grandes volumes de dados microbiológicos em tempo real, detectar padrões complexos de resistência e antecipar surtos. Isso fortalece sua função estratégica em um modelo de saúde baseado em evidências, interoperabilidade e resposta rápida (Yelin et al., 2019). A valorização desse protagonismo deve ser acompanhada por políticas institucionais que reconheçam sua relevância nos sistemas de saúde.

A vigilância epidemiológica integrada é um dos pilares fundamentais para a contenção eficaz da resistência antimicrobiana. A construção de redes colaborativas entre laboratórios clínicos, hospitais, unidades básicas de saúde e órgãos reguladores permite a geração de dados confiáveis, o rastreamento de surtos e a formulação de respostas rápidas e coordenadas. O fortalecimento de programas como o BR-GLASS e a promoção da abordagem "One Health" são exemplos da necessidade de articulação entre setores para um enfrentamento mais amplo e sistêmico do problema (ANVISA, 2023; Robinson et al., 2016).

A inteligência artificial, nesse contexto, representa um recurso poderoso para integrar dados laboratoriais e clínicos, automatizar notificações e otimizar fluxos de informação entre diferentes níveis da vigilância. Sistemas de aprendizado de máquina são capazes de refinar modelos preditivos de resistência,

priorizar casos críticos e apoiar decisões sanitárias baseadas em risco (Topol, 2019). No entanto, para que isso se traduza em melhorias concretas, é necessário investimento em infraestrutura digital, interoperabilidade de sistemas e capacitação dos profissionais que irão operar e interpretar essas ferramentas.

A formação contínua dos biomédicos é indispensável para assegurar uma prática profissional ética, atualizada e alinhada às necessidades da saúde pública contemporânea. Em um cenário de rápida evolução tecnológica e complexidade crescente dos perfis microbiológicos, a educação permanente torna-se elemento-chave na qualificação de profissionais capazes de responder a emergências em saúde e contribuir para a racionalização do uso de antimicrobianos. A oferta de cursos de atualização, especializações e programas de residência multiprofissional são iniciativas que devem ser incentivadas (Araújo et al., 2020).

Por fim, o uso racional de antimicrobianos deve ser encarado não apenas como uma prática técnica, mas como um compromisso ético e coletivo com a sustentabilidade dos sistemas de saúde. O biomédico, ao atuar na interface entre o diagnóstico e a orientação terapêutica, tem a responsabilidade de promover o uso criterioso dos antimicrobianos, evitando prescrições desnecessárias e contribuindo com programas de stewardship. A formação ética, aliada à competência técnica e ao domínio das ferramentas digitais, é o que permitirá ao biomédico assumir com excelência o seu papel no combate à resistência antimicrobiana (Ventola, 2015).

Referências

- [1] Anvisa. Boletim De Segurança Do Paciente E Qualidade Em Serviços De Saúde – Incidentes Relacionados À Assistência À Saúde. Brasília: Anvisa, 2023.
- [2] Anvisa. Boletim De Segurança Do Paciente E Qualidade Em Serviços De Saúde – Resistência Microbiana Em Serviços De Saúde. Brasília: Agência Nacional De Vigilância Sanitária, 2023.
- [3] Araújo, J. C. A. Et Al. Metodologias Ativas Na Formação Em Saúde: Contribuições Para O Ensino Da Microbiologia. Revista Brasileira De Educação Médica, V. 44, Supl. 1, P. E035, 2020.
- [4] Barlam, T. F. Et Al. Implementing An Antibiotic Stewardship Program: Guidelines By The Infectious Diseases Society Of America And The Society For Healthcare Epidemiology Of America. Clinical Infectious Diseases, V. 62, N. 10, P. E51–E77, 2016.
- [5] Barrella, D. E.; Pereira, M. C. Inserção Do Graduando Em Biomedicina Na Pesquisa Científica: Experiência Na Área De Microbiologia Clínica. Cadernos Da Escola De Saúde, V. 11, N. 1, P. 43–50, 2018.
- [6] Berendonk, T. U. Et Al. Tackling Antibiotic Resistance: The Environmental Framework. Nature Reviews Microbiology, V. 13, P. 310–317, 2015.
- [7] Blair, J. M. A. Et Al. Molecular Mechanisms Of Antibiotic Resistance. Nature Reviews Microbiology, V. 13, P. 42–51, 2015.
- [8] Brasil. Ministério Da Saúde. Política Nacional De Vigilância Em Saúde. Brasília: Ministério Da Saúde, 2021.
- [9] Brasil. Ministério Da Saúde. Rede Nacional Para Alerta E Resposta Às Emergências Em Saúde Pública (Renar). Brasília: Ministério Da Saúde, 2021.
- [10] Buchan, B. W.; Ledeboer, N. A. Advances In Identification Of Clinical Yeast Isolates By Use Of Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization–Time Of Flight Mass Spectrometry. Journal Of Clinical Microbiology, V. 52, N. 4, P. 1056–1064, 2014.
- [11] Cassini, A. Et Al. Attributable Deaths And Disability-Adjusted Life-Years Caused By Infections With Antibiotic-Resistant Bacteria In The Eu And The European Economic Area In 2015: A Population-Level Modelling Analysis. The Lancet Infectious Diseases, V. 19, N. 1, P. 56–66, 2019.
- [12] Clsi – Clinical And Laboratory Standards Institute. Performance Standards For Antimicrobial Susceptibility Testing. 33rd Ed. Clsi Supplement M100. Wayne, Pa: Clsi, 2023.
- [13] Cns – Conselho Nacional De Saúde. Resolução Nº 287, De 8 De Outubro De 1998. Aprova As Diretrizes Para A Reformulação Da Formação Profissional Na Área Da Saúde. Diário Oficial Da União, 1998.
- [14] Laxminarayan, R. Et Al. Access To Effective Antimicrobials: A Worldwide Challenge. The Lancet, V. 397, N. 10292, P. 346–357, 2020.
- [15] Li, X. Z.; Plésiat, P.; Nikaido, H. The Challenge Of Efflux-Mediated Antibiotic Resistance In Gram-Negative Bacteria. Clinical Microbiology Reviews, V. 28, N. 2, P. 337–418, 2015.
- [16] Lin, D. M. Et Al. Phage Therapy: An Alternative To Antibiotics In The Age Of Multi-Drug Resistance. World Journal Of Gastrointestinal Pharmacology And Therapeutics, V. 8, N. 3, P. 162–173, 2017.
- [17] Mahlapuu, M. Et Al. Antimicrobial Peptides: An Emerging Category Of Therapeutic Agents. Frontiers In Cellular And Infection Microbiology, V. 6, P. 194, 2016.
- [18] Medeiros, E. A. S. Et Al. Prevenção E Controle De Infecções Relacionadas À Assistência À Saúde: Fundamentos E Práticas. Revista Brasileira De Enfermagem, V. 74, Supl. 1, P. E7404sup1, 2021.
- [19] Murray, C. J. Et Al. Global Burden Of Bacterial Antimicrobial Resistance In 2019: A Systematic Analysis. The Lancet, V. 399, P. 629–655, 2022.
- [20] Naylor, N. R. Et Al. Estimating The Burden Of Antimicrobial Resistance: A Systematic Literature Review. Antimicrobial Resistance & Infection Control, V. 7, N. 1, P. 1–17, 2018.
- [21] Partridge, S. R.; Kwong, S. M.; Firth, N. Mobile Genetic Elements Associated With Antimicrobial Resistance. Clinical Microbiology Reviews, V. 31, N. 4, 2018.
- [22] Prestinaci, F.; Pezzotti, P.; Pantosti, A. Antimicrobial Resistance: A Global Multifaceted Phenomenon. Pathogens And Global Health, V. 109, N. 7, P. 309–318, 2015.
- [23] Robinson, T. P. Et Al. Antibiotic Resistance Is The Quintessential One Health Issue. Transactions Of The Royal Society Of Tropical Medicine And Hygiene, V. 110, N. 7, P. 377–380, 2016.
- [24] Singhal, N. Et Al. Maldi-Tof Mass Spectrometry: An Emerging Technology For Microbial Identification And Diagnosis. Frontiers In Microbiology, V. 6, P. 791, 2015.
- [25] Tacconelli, E. Et Al. Discovery, Research, And Development Of New Antibiotics: The Who Priority List Of Antibiotic-Resistant Bacteria And Tuberculosis. The Lancet Infectious Diseases, V. 18, N. 3, P. 318–327, 2018.
- [26] Topol, E. J. High-Performance Medicine: The Convergence Of Human And Artificial Intelligence. Nature Medicine, V. 25, P. 44–56, 2019.

- [27] Ventola, C. L. The Antibiotic Resistance Crisis: Part 1: Causes And Threats. *Pharmacy And Therapeutics*, V. 40, N. 4, P. 277–283, 2015.
- [28] Van Duin, D.; Doi, Y. The Global Epidemiology Of Carbapenemase-Producing Enterobacteriaceae. *Virulence*, V. 8, N. 4, P. 460–469, 2017.
- [29] Who – World Health Organization. Ten Threats To Global Health In 2019. Geneva: Who, 2020.
- [30] World Health Organization. Antimicrobial Resistance: Global Report On Surveillance. Geneva: Who, 2020.
- [31] Yelin, I. Et Al. Personal Clinical History Predicts Antibiotic Resistance Of Urinary Tract Infections. *Nature Medicine*, V. 25, P. 1143–1152, 2019.