

O papel das plataformas tecnológicas no Brasil como estratégia para preparação e resposta a pandemias

The role of technology platforms in Brazil as a strategy for pandemic preparedness and response

Cássia Dias Pereira¹, Janine Boniatti¹, Manoel Sebastião da Costa Lima Júnior², Wim Maurits Sylvain Degrave³

DOI: 10.1590/2358-2898202514710315P

RESUMO A pandemia de covid-19 evidenciou a necessidade de infraestruturas laboratoriais e tecnologias robustas e integradas para oferecer respostas rápidas a emergências sanitárias. As plataformas tecnológicas, ou core facilities, centralizam equipamentos caros e sofisticados e contam com equipes altamente qualificadas. Durante a pandemia, desempenharam papel essencial no desenvolvimento e no aprimoramento de diagnóstico molecular, análise genômica e suporte à vigilância epidemiológica e à pesquisa sobre a história natural da doença. Este trabalho discute a importância das instalações da Rede de Plataformas Tecnológicas da Fiocruz durante a crise sanitária. Semelhante ao ocorrido em outros países, as atividades das core facilities foram rapidamente reorganizadas em suporte à emergência sanitária, substituindo temporariamente as demandas normais de suporte à pesquisa, fortemente reduzidas devido às estratégias de isolamento. Na Fiocruz, as plataformas de genômica, de bioinformática e de PCR se juntaram rapidamente às iniciativas da Rede e Laboratórios de Vigilância, permitindo um monitoramento eficiente da evolução viral e da identificação de variantes, e otimizando protocolos de diagnóstico e análises genômicas rápidos e precisos. As plataformas demonstraram ter um papel estratégico para o enfrentamento a emergências em saúde pública por meio da expertise, conjunto de infraestruturas permanentes e operacionais, e agilidade frente à demanda voluminosa de análises.

PALAVRAS-CHAVE Tecnologias. Diagnóstico molecular. Saúde pública. Bioinformática. Genômica.

ABSTRACT *The COVID-19 pandemic highlighted the need for robust and integrated laboratory infrastructures and technologies to offer rapid responses to health emergencies. Technology platforms, or core facilities, centralize expensive and sophisticated equipment and rely on teams with high technical expertise. They played, during the pandemic, an essential role in the development and improvement of molecular diagnosis, genomic analysis, support for epidemiological surveillance and research into the natural history of the disease. This work discusses the importance of the Fiocruz Technology Platforms Network during the health crisis. Similar to what happened in other countries, core facility activities were quickly reorganized in support of the health emergency, temporarily replacing normal research support demands, which were heavily reduced due to isolation strategies. At Fiocruz, the genomics, bioinformatics and PCR platforms quickly joined the Surveillance Network and Reference Laboratories initiatives, allowing efficient monitoring of viral evolution and the identification of variants, optimizing fast and accurate diagnostic protocols and genomic analyses. They demonstrated a strategic role in dealing with public health emergencies, due to their expertise, set of permanent and operational infrastructures, and rapid mobilization to meet the voluminous demands for analysis.*

KEYWORDS *Technologies. Molecular diagnosis. Public health. Bioinformatics. Genomics.*

¹Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Vice-Presidência de Pesquisa e Coleções Biológicas (VPPCB) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. cassia.pereira@fiocruz.br

²Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto Aggeu Magalhães (IAM) – Recife (PE), Brasil.

³Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto Oswaldo Cruz (IOC) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.



Introdução

A pandemia do Sars-CoV-2 colocou à prova a capacidade de vigilância e de mobilização dos sistemas de saúde por meio de atendimento, diagnóstico e vacinação em grande escala, para todas as regiões do mundo. Existe consenso que novas pandemias ocorrerão, com uma frequência provavelmente aumentada, devido às mudanças climáticas, à expansão contínua de grandes monoculturas pecuárias próximas a populações de espécies animais sensíveis a diversas infecções virais, e à invasão de biomas, resultando em desequilíbrios ecológicos que favorecem a emergência e a disseminação de patógenos e reforçam a importância crítica de políticas de uma só saúde¹ (*One Health*).

No Brasil, a Rede Nacional de Laboratórios de Vigilância Epidemiológica e a Rede Nacional de Laboratórios de Vigilância em Saúde Ambiental compõem o Sistema Nacional de Laboratórios de Saúde Pública (Sislab), que, por sua vez, é parte integrante do Sistema Único de Saúde (SUS) brasileiro². O Ministério da Saúde (MS), por meio da Coordenação Geral de Laboratórios de Saúde Pública (CGLAB), desempenha papel crucial na coordenação e na assessoria técnica ofertada para os estados e o Distrito Federal na implantação e na manutenção da Rede Nacional de Laboratórios de Saúde Pública². Essa rede é essencial para o diagnóstico, o monitoramento e o controle de doenças, além de colaborar com a vigilância em saúde pública.

Além disso, o MS e a CGLAB se encarregam da promoção da saúde, dentre outras atribuições, realizando ações de educação permanente e de formação dos profissionais de saúde, especialmente aqueles ligados à vigilância epidemiológica. Essa promoção inclui o fortalecimento de competências para garantir uma resposta mais rápida e eficaz a surtos, epidemias e outros problemas de saúde pública. Resumidamente, a vigilância epidemiológica é organizada

em torno de Laboratórios Centrais de Referência (Lacen), especializados em diagnósticos de um conjunto de agentes patogênicos².

O sistema deve ser capaz de identificar novos agentes infecciosos, qualificar e quantificar o agente e alimentar gestores de saúde pública com informações precisas e atuais para decisões adequadas. Adicionalmente, diversos laboratórios de pesquisa em Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) são credenciados como Centros de Referência Nacional ou Regional, auxiliando os órgãos de vigilância nacionais no monitoramento da circulação de agentes infecciosos da sua especialidade por meio de esclarecimento de casos inusitados, e dando suporte à coordenação de ações de saúde para controle de surtos e epidemias. O acompanhamento da circulação de variantes dos agentes infecciosos, como as variantes de interesse (VOI), as variantes de monitoramento (VUM) e os variantes de preocupação (VOC), é imprescindível porque pode apresentar variações antigênicas, de virulência, de especificidade ou tropismo celular, ou de resistência a fármacos com possível impacto direto para a saúde pública. Para a maioria dos agentes infecciosos conhecidos e com circulação mais ampla, há *kits* e sistemas de detecção disponíveis comercialmente no mercado internacional, padronizados e com certificado de qualidade.

Muitas ações foram conduzidas pelo MS durante a pandemia de Sars-CoV-2 com o intuito de acelerar a aquisição e a distribuição desses reagentes e *kits* e de promover as testagens e a divulgação dos dados do período por meio dos 'Boletins epidemiológicos' emitidos pela Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS)^{3,4}. Entretanto, durante pandemias, o sistema de vigilância se depara com a necessidade de comprar, distribuir e usar testes de diagnóstico em grande escala no mercado internacional, enfrentando escassez, preços altos, concorrência acirrada e logística difícil. Frequentemente, houve

necessidade de adaptar testes já existentes devido à evolução regional dos agentes por meio de modificações genéticas, demandando muita pesquisa e desenvolvimento acelerado. Também há necessidade de reunir especialistas das diferentes ICT do país para compartilhar, analisar e interpretar dados de forma a se tornar informação e conhecimento de relevância para a população, além de diretrizes e recomendações para o sistema de saúde.

Mais recentemente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) instituiu um programa denominado *Preparedness for Emergencie*, prevendo mecanismos de alerta precoce, abertura de dados e sistemáticas de detecção, notificação e resposta a emergências de saúde⁵. Entende-se que a preparação e a vigilância incluem, também, gerenciamento de riscos por meio da avaliação de cenários e possíveis respostas de prevenção e mitigação, em níveis nacionais e subnacionais, em comunidades, ambientes rurais e urbanos, em populações vulneráveis ou de risco especial⁵.

Muitos países incluem sistemas de notificação compulsória, alimentando a vigilância epidemiológica e os laboratórios de referência com informações e amostras clínicas necessárias à confirmação do diagnóstico e caracterização de patógenos. Por exemplo, no Brasil, a Portaria nº 356/GM/MS, de 11 de março de 2020, determinou como obrigatória a notificação ao Ministério da Saúde de todos os resultados de testes diagnósticos para detecção da covid-19 realizados por laboratórios da rede pública, da rede privada, universitários e quaisquer outros, em todo território nacional. Embora, na prática, não se tenham incluído os autotestes comprados em farmácias⁶, tais medidas passam a ser imprescindíveis para que se possa efetuar uma vigilância adequada, de articulação rápida e resposta priorizada, com o intuito de diminuir o impacto de agravamentos na população.

Somadas às redes locais de vigilância, muitas estruturas organizacionais, não apenas de ICT mas também em entidades privadas, estabeleceram-se e se alinharam em diversos

momentos da pandemia, contribuindo positivamente para o sistema de saúde. Em janeiro de 2020, o surto de covid-19 foi declarado como Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) e, três meses depois, foi classificado como pandemia pela OMS⁷. No Brasil, no início de fevereiro, foi considerada ‘Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional’ (Espin), tendo o primeiro caso de covid-19 sido confirmado no dia 26 de fevereiro de 2020 em São Paulo (SP) e, em menos de um mês, foi declarado que a transmissão do novo coronavírus era de caráter comunitário em todo o território nacional^{7,8}.

De acordo com o monitoramento on-line de covid-19 no Brasil⁹, mais de 715 mil mortes foram contabilizadas até fevereiro de 2025. Esse cenário coloca à luz a necessidade de fortalecimento nacional em ciência, tecnologia e produção de insumos voltados para saúde. Há muitos argumentos para isso, a começar pela dificuldade de se obterem insumos, reagentes, kits, fármacos e vacinas importadas quando há grande demanda mundial e, em uma pandemia, a situação epidemiológica regional e local e, com frequência, as variantes do agente etiológico são específicas. Adicionalmente, a história natural da doença pode ser bastante diferente devido a fatores tais como composição genética da população, sazonalidades, frequência de comorbidades, políticas específicas de cuidados com idosos e fatores ambientais, dentre outros. Assim, a busca de soluções para mitigar ou prevenir a disseminação precisa atentar para essas especificidades, e o desenvolvimento de insumos, kits e vacinas deve receber atenção e recursos para garantir equidade e soluções específicas¹⁰.

O Complexo Econômico-Industrial da Saúde e de Inovação (Ceis) para o SUS tem como missão envolver a integração de diversos setores da economia nacional voltados para a produção de bens e serviços relacionados à saúde e à inovação^{11,12}. A preparação para pandemias deve ser vista como uma política de Estado, na qual o fortalecimento da vigilância epidemiológica e a implantação de

respostas rápidas dependem da coordenação entre setores.

A Cúpula Global de Preparação para Pandemias (Global Pandemic Preparedness Summit – GPPS), que aconteceu no Rio de Janeiro, Brasil, em julho de 2024, foi um evento orientado pela ciência com o objetivo de impulsionar a preparação e a resposta a pandemias, de modo a combater futuros surtos de doenças infecciosas de forma mais ágil e equitativa. Os procedimentos, resultados e recomendações da Cúpula contribuem para tomadas de decisões pelos líderes mundiais em esforços de preparação para pandemias. Um dos principais destaques desse encontro foi a importância de investimentos sustentáveis na vigilância global de doenças e na Missão dos 100 Dias para vacinas, diagnósticos e terapias¹³. Um plano abrangente de vigilância sanitária é crucial, integrando também a mobilização das ICT.

Somados a esse cenário político-sanitário, a constante evolução e o avanço científico e tecnológico têm como decorrência a aplicação da análise genômica viral durante surtos, substituindo métodos tradicionais por uma abordagem mais ágil e em tempo quase que real. O avanço do sequenciamento genômico, facilitado pela diminuição de custos e pelo aumento da capacidade de geração de dados e da capacidade computacional, tornou-se essencial para que a microbiologia clínica possa detectar patógenos, apoiar o controle de infecções e auxiliar investigações epidemiológicas¹⁴. Ademais, a capacidade analítica prospectiva, por meio de sequenciamento metagenômico, permite localizar e identificar agentes infecciosos desconhecidos não apenas em amostras clínicas, mas também em amostras ambientais, como água, esgoto ou excretas de animais, enquanto a transcriptômica permite analisar a interação patógeno-célula do hospedeiro¹⁵.

O contraste entre as epidemias da Sars (2002-2003) e da covid-19 ilustra essa transformação. Enquanto a genômica viral foi limitada durante a epidemia de Sars, com

apenas 31 genomas virais disponíveis após três meses, na pandemia da covid-19, o sequenciamento metagenômico permitiu identificar rapidamente o patógeno e compartilhar informações de genomas virais, impulsionando o desenvolvimento de testes diagnósticos e estratégias de controle. Em apenas seis meses, mais de 60.000 genomas completos de Sars-CoV-2 foram analisados e depositados em banco de dados acessíveis, mostrando a capacidade expandida do sequenciamento para monitorar e entender a disseminação viral em tempo real. O portal da Rede Genômica¹⁶ demonstra a evolução de covid-19 no Brasil com clareza.

O crescente reconhecimento do potencial do sequenciamento genômico na saúde pública tem incentivado investimentos nessa tecnologia. No entanto, os altos custos de instalação, manutenção e atualização, a necessidade de equipe capacitada e de bioinformática associada e o trabalho operacional envolvido exigem uma compreensão clara dos benefícios esperados, do uso eficaz dos dados genômicos e das formas de impactar positivamente a saúde e as políticas públicas. Além disso, os equipamentos e as tecnologias envolvidas precisam receber manutenção constante, necessitam operar em tempo praticamente integral e demandam uma estratégia de atualização contínua.

Durante a pandemia de covid-19, as plataformas tecnológicas (*core facilities*) em ICT contribuíram de forma significativa para o enfrentamento do cenário pandêmico, trazendo conhecimento técnico-científico, análise de dados, capacitação e otimização de recursos. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo discutir a experiência da Rede de Plataformas Tecnológicas (RPT) da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), com foco específico nas áreas de genômica, bioinformática e PCR em tempo real, durante a pandemia de covid-19, evidenciando o impacto dessas estruturas, previamente organizadas em rede, para o enfrentamento à crise sanitária no Brasil.

Material e métodos

Rede de Plataformas Tecnológicas da Fiocruz

Este trabalho relata uma experiência e teve como suporte uma revisão bibliográfica não sistemática, realizada entre janeiro e fevereiro de 2025. A revisão, não exaustiva, foi realizada na plataforma Web of Science (WoS), que inclui diversas bases de dados, e priorizou artigos originais, revisões e documentos oficiais relevantes para o tema de 2015 a 2024, em português, inglês e espanhol. Excluíram-se os documentos duplicados, arquivos sem acesso a textos completos e os considerados sem relação direta com o assunto abordado. Os dados tais como ano, país, tipo de estudo, objetivos, resultados e conclusão foram organizados em planilha. A análise seguiu uma abordagem crítica e interpretativa, agrupando as referências em artigos, documentos oficiais tais como relatórios, *sites* eletrônicos (internet), portarias, manuais e guias. Por ser uma revisão não sistemática, não foram utilizadas ferramentas de metassíntese ou fluxogramas.

A RPT da Fiocruz foi criada em 2004 e conta com 16 áreas tecnológicas que se desdobram em 82 plataformas distribuídas em nove estados brasileiros, exemplificando a relevância dessas estruturas multiusuárias (*core facilities*) no Brasil. Atualmente, a RPT integra laboratórios de alta complexidade que disponibilizam e compartilham equipamentos e conhecimento técnico especializado, não só para o uso de pesquisadores internos à instituição, mas também para usuários externos, de instituições públicas e privadas e de empresas.

Tecnologias

Para a análise, foram consideradas, principalmente, atividades de mobilização de tecnologias tais como sequenciamento genômico, bioinformática e PCR em tempo real da RPT. Essas plataformas desempenharam papel

fundamental e direto na vigilância das diversas fases da pandemia devido a seu uso na realização de diagnósticos e na pesquisa, atuando principalmente na identificação das variantes circulantes durante o período pandêmico mais crítico. Ainda, tão importante quanto, outras tecnologias nos estudos da história natural da doença são fundamentais como microscopia, citometria, bioensaios, proteômica, nanotecnologia, dentre outras. Com este cenário fica clara a importância e relevância de estruturas robustas que possam disponibilizar o acesso com esta variedade de grupos tecnológicos para preparação no enfrentamento de situações de crise sanitária.

Resultados e discussão

A chegada da pandemia evidenciou os pontos fortes e as vulnerabilidades no sistema de saúde no mundo e no Brasil. Os desafios extraordinários para o sistema público de saúde exigiram respostas significativas em pouco tempo, que incluíram, dentre outras ações, a) avaliação dos riscos durante a pandemia envolvendo prognósticos epidemiológicos, identificação de grupos de risco especiais, construção de regimento para distanciamento social, comportamento em espaços públicos – áreas de circulação, escolas, hospitais e pontos de atendimento –, metodologias de descontaminação, formulação de políticas públicas; b) desenvolvimento e aprimoramento de diagnóstico molecular em grande escala, principalmente com PCR em tempo real, organização de postos de diagnósticos, até mesmo em formato *drive-thru*, e desenvolvimento de testes alternativos tais como testes rápidos de detecção de antígenos; c) organização de atendimento clínico e desenvolvimento de melhores metodologias e protocolos de tratamento ou mitigação; d) estudo de história natural da doença covid-19 com o objetivo de melhorar os tratamentos e outros meios de combate à infecção viral e seus agravantes e comorbidades; e) desenvolvimento e avaliação

de vacinas por meio de ensaios clínicos; f) comunicação e informação sobre a pandemia e todos os seus aspectos para a população, inclusive o combate a notícias e informações falsas, quer sejam erradas ou maliciosamente falsas; e g) organização de aspectos inovadoras da sociedade para lidar com a pandemia tais como trabalho remoto, ampliação dos sistemas de entrega de compras em casa etc.

A participação da Fiocruz nesses diversos campos de enfrentamento à pandemia foi notória. Como evidência, podem ser citados os macropontos a) imunização e equidade para a população brasileira, desde pesquisa e desenvolvimento até a produção de vacinas; b) vigilância em saúde relacionada à epidemia da covid-19; c) cuidado e atendimento médico, ou seja, assistência hospitalar à população; d) informação, comunicação e divulgação à sociedade; f) educação especialmente focada na covid-19; g) alianças globais para promoção da equidade em saúde; h) ações de inclusão voltadas a populações em estado de vulnerabilidade; e i) inovação em gestão institucional para superar os desafios impostos pela pandemia¹⁷.

Concentramo-nos neste ensaio em alguns aspectos onde a participação da RPT foi de importância crucial, seja no aporte de conhecimento, na disponibilização de equipamentos e equipes, na contribuição para a análise de dados ou na mobilização de tecnologias complexas e suporte à pesquisa e desenvolvimento. O objetivo é o de contribuir para a melhoria da vigilância genômica e da capacidade diagnóstica, para a busca de compreensão e mitigação de inúmeros aspectos da história natural da doença e para a formulação de políticas públicas mais adequadas ao longo das diferentes fases da pandemia. Observou-se que a vigilância genômica do vírus foi crucial para a rápida tomada de decisões pelos órgãos de saúde, suportadas pela altíssima qualidade dos sequenciamentos.

Embora todos os sistemas de saúde tenham enfrentado desafios comuns tais como a necessidade de expandir rapidamente leitos

hospitalares e implantar campanhas de vacinação em massa, os impactos específicos variaram de acordo com o grau de preparação e com as políticas de saúde de cada país. Nações europeias e o Canadá, por exemplo, mostraram a importância de sistemas de saúde universais bem estruturados para enfrentar crises globais, enquanto nos Estados Unidos e no Brasil destacaram-se os efeitos de desigualdades estruturais na saúde pública¹⁸. A pandemia evidenciou que sistemas resilientes, com capacidade de resposta rápida e coordenação centralizada, são fundamentais para mitigar os impactos de crises sanitárias¹⁹.

O modelo de organização de infraestruturas complexas compostas por equipes especializadas está presente, com variações, em muitas instituições no mundo²⁰ e tem como um dos principais objetivos oferecer suporte à pesquisa²¹, ao desenvolvimento de projetos e tecnologias ou, simplesmente, o de servir como espaço de pesquisa compartilhada entre diversos grupos ou, ainda, como unidade de prestação de serviços tecnológicos.

Além desses objetivos, estratégias para uma organização, uma Rede de Plataformas – *Core Facilities* – contribuem para seleção, capacitação e retenção de talentos, interação com outros ICT, conquista de recursos externos para projetos especializados ou para aquisição ou renovação de infraestruturas e para nuclear novas tecnologias e áreas de conhecimento, multiplicando, assim, os investimentos originais²¹. Soma-se a isso a benéfica participação da Rede em iniciativas nacionais e internacionais com troca de experiências técnicas e de gestão, a exemplo das redes *Core for Life* e a Association of Biomolecular Resource Facilities (ABRF), entre outras^{21,22}.

No Brasil, no início da pandemia em 2020, houve em todas as ICT uma reorganização da pesquisa. Essa reorganização se deu especialmente pelas necessidades imediatas de isolamento, seguidas de longos períodos de ‘confinamento’ e, conseqüentemente, ensejando uma diminuição drástica de demandas por análises em todas as plataformas, incluindo a

RPT da Fiocruz. Esse cenário foi evidenciado ao redor do mundo conforme a pandemia avançava em diferentes países²³, o que levou a uma redução rápida das atividades rotineiras de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)²⁴. Por outro lado, muitas instituições passaram a ter um papel crucial no enfrentamento à pandemia e no suporte sanitário ao sistema de saúde do país. Para isso, toda a comunidade científica institucional precisou se reinventar para atender a demandas que surgiam diariamente e impactavam diferentes áreas.

De forma similar, rapidamente ficou evidenciado que a organização da RPT da Fiocruz poderia contribuir para o enfrentamento a esse cenário de forma ágil e ordenada, por já possuir estrutura inicial estabelecida e robusta, bem como equipes capacitadas. As plataformas de PCR em tempo real foram acionadas com a incumbência de dar suporte à Rede de Vigilância institucional via execução em grande escala de análises de amostras clínicas para o diagnóstico molecular do vírus. Nesse contexto, a dificuldade detectada imediatamente disse respeito à biossegurança, tanto para operação intensiva e presencial de laboratórios e equipamentos como também para o recebimento de amostras e seu processamento com extração de RNA e PCR em tempo real propriamente dito.

Para superar esse desafio, a Comissão Técnica de Biossegurança Institucional (CTBio-Fiocruz) atuou para o estabelecimento de protocolos e guias que atendessem a todos os requisitos de segurança para operacionalização das plataformas. De forma similar, inúmeras consultas às comissões de biossegurança de diferentes institutos nacionais e internacionais foram lançadas para contribuir com a segurança de todos os procedimentos adotados, bem como para o uso correto de dispositivos, vestimentas e protocolos de descontaminação para salas de aula, espaços laboratoriais e hospitalares e equipamentos compartilhados²⁵⁻²⁷. Na Fiocruz, técnicos do setor de manutenção colaboraram também para avaliar procedimentos de descontaminação e desenvolveram, inclusive, dispositivos

com UV-C para descontaminação de espaços físicos, quartos hospitalares e equipamentos.

Com o avanço da pandemia de covid-19 e o surgimento de variantes virais em circulação, a necessidade de reforçar o sistema de vigilância era iminente. Naquele momento, as plataformas de genômica da RPT da Fiocruz se organizaram sob a liderança da Rede de Vigilância Institucional. Estabeleceu-se, então, a Rede de Vigilância Genômica da Fiocruz¹⁶, que contribuiu, de forma contundente, com o esforço nacional de pesquisa para a caracterização do genoma do Sars-CoV-2, causador da covid-19, no País. Além disso, realizava-se o importante trabalho de acompanhar a evolução das linhagens virais e o mapeamento e avaliação do impacto funcional das mutações genéticas. Novamente, conhecimento técnico e estrutura laboratorial de ponta foram requeridos para estabelecer as rotinas de sequenciamento viral. Também foram necessários frequentes ajustes do conjunto de *primers* para atingir cobertura completa do genoma de variantes. Além disso, houve o desenvolvimento de *pipelines* de bioinformática para analisar e anotar as sequências obtidas. Dessa forma a qualidade dos dados permite interpretar os resultados com precisão e depositar as informações em banco de dados internacional²⁸.

Tais dados estão disponíveis on-line¹⁶ na forma de infográfico, onde é possível acompanhar a constante evolução das linhagens do Sars-CoV-2 no Brasil. Esse vírus possui uma simplicidade genética quando comparado a outros micro-organismos tais como bactérias e fungos, sendo, assim, classificado em linhagens por pequenas diferenças em seu material genético. A disponibilização e a divulgação desses dados em tempo real se dão graças à colaboração de pesquisadores brasileiros de Redes de Vigilância Genômica em diversos ICT e Lacen, e, também, à Iniciativa Global de Compartilhamento de Dados Genômicos (GISAID)²⁹.

Na Fiocruz, havia cinco plataformas de genômica denominadas NGS (do inglês, *Next Generation Sequencing*) em operação no início

da pandemia e um Laboratório de Referência com capacidade para NGS. Ao longo do primeiro ano, cinco plataformas regionais adicionais foram criadas, instaladas e capacitadas. Após a pandemia, o conjunto de infraestruturas continua atuando em vigilância viral (Mpox, Sars, Influenza e Arbovírus) e algumas plataformas estão no processo de ampliação de vigilância para estudo de bactérias, como, por exemplo, *M. tuberculosis* e resistência a fármacos. Três plataformas estão em formação ou ampliação para estudos de genoma humano em câncer e em doenças genéticas ou raras. Atualmente, dez plataformas dão suporte mais genérico a projetos de pesquisa e desenvolvimento em saúde, biodiversidade e biotecnologia³⁰.

Naturalmente, com a evolução da pandemia, os esforços de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D&I) nos laboratórios de pesquisa foram sendo retomados. Com a retomada, também as rotinas de operações das plataformas, em parte importantes, inclusive, para desenvolver pesquisas clínicas e biológicas sobre a covid-19. Essas atividades incluíram a busca de novos fármacos e estudos epidemiológicos. Houve também a retomada do espectro completo de serviços analíticos da Rede de Plataformas com proteômica, citometria, microscopia e bioensaios, dentre outros^{31,32}.

Com o avanço dos protocolos e os resultados oriundos do sequenciamento genético, veio a necessidade do suporte para obtenção, armazenamento e tratamento dos dados com segurança e qualidade. De forma geral, assim que uma amostra é sequenciada e os metadados apropriados são coletados, a análise bioinformática criteriosa é essencial, aliando poder computacional com a expertise de análise, interpretação e programação de algoritmos e interfaces. Adicionalmente, a guarda das amostras clínicas e de pesquisa impõe um desafio importante. Muitas instituições, assim como a Fiocruz, instituíram biobancos específicos para esse fim³³.

Fica evidente que a pandemia trouxe às instituições a necessidade de se reinventarem para adequar suas atividades e, conseqüentemente,

suas entregas. Para a pesquisa da Fiocruz, o impacto foi proporcional a todo o avanço alcançado durante esse período. Durante a pandemia, a organização das plataformas tecnológicas no âmbito da RPT demonstrou a importância dessa estrutura e os benefícios que o investimento público ordenado em estruturas de *core facilities* pode agregar para a ciência, para o desenvolvimento e para a independência do país, especialmente em momentos de crise.

A experiência da Fiocruz por meio da RPT alinha-se a iniciativas internacionais que também mobilizaram infraestrutura científica durante a pandemia de covid-19. No Reino Unido, por exemplo, o consórcio COG-UK (COVID-19 Genomics UK)³⁴ destacou-se pela rápida geração e compartilhamento de dados genômicos, contribuindo significativamente para a detecção de variantes do vírus. De modo semelhante, os Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos Estados Unidos reforçaram parcerias com laboratórios públicos e privados por meio do projeto SPHERES³⁵ para acelerar o monitoramento genômico. Na África do Sul, a KwaZulu-Natal Research Innovation and Sequencing Platform (KRISP) desempenhou papel central na detecção precoce da variante Beta, evidenciando a importância de capacidades locais robustas em bioinformática e genômica³⁶. Já na Índia, o consórcio INSACOG (Indian SARS-CoV-2 Genomics Consortium) também foi criado para integrar laboratórios de pesquisa e vigilância sanitária, com foco na detecção e rastreamento de variantes³⁷.

Em nível internacional, a OMS atuou como articuladora do compartilhamento de dados por meio de plataformas como o GISAIID, fomentando a colaboração científica global. Essas experiências, assim como a da Fiocruz, demonstram como o fortalecimento de redes de *core facilities*, associado a estratégias de vigilância genômica, foi fundamental para orientar decisões de saúde pública em tempo real durante a pandemia.

Entretanto, nem todo o investimento deve ser realizado apenas em equipamentos e

tecnologias, mas também na capacitação e ampliação do conhecimento. É imprescindível que haja incentivo à formação de pessoas³⁸, à divulgação científica e à interação com os setores de gestão da saúde pública nas esferas municipal, estadual e nacional.

Igualmente, há necessidade de interação com os setores de gestão da pesquisa nos ICTs. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) pode desempenhar papel estratégico no fortalecimento de estruturas tais como a RPT da Fiocruz, especialmente em contextos de resposta a emergências sanitárias. Ferramentas baseadas em IA podem automatizar e acelerar a análise de grandes volumes de dados tais como sequências genômicas, contribuindo para o monitoramento em tempo real de variantes virais. Além disso, algoritmos de aprendizado de máquina podem ser utilizados para prever surtos, identificar padrões epidemiológicos e otimizar a alocação de recursos laboratoriais. Essas aplicações já são amplamente utilizadas para diferentes iniciativas na instituição, à exemplo do ‘InfoGripe’⁹. A integração de IA também pode apoiar a operacionalização de atendimento de usuários da RPT, bem como processos de gestão tais como as aquisições. Todo este cenário de IA pode ser canalizado para que se amplie a capacidade de resposta da infraestrutura científica nacional frente a pandemias e momentos de crises sanitárias.

Em retrospectiva, todas as plataformas de genômica da Fiocruz, durante o período de pandemia, passaram a integrar a Rede de Vigilância Genômica da Fiocruz, quando cinco centros adicionais foram instituídos. Todos continuam atuando nessa Rede de Vigilância, demonstrando que a iniciativa de integração se tornou robusta e definitiva.

Considerações finais

A pandemia de covid-19 reforçou a importância das *core facilities* na resposta a emergências sanitárias. A integração de sequenciamento genômico, bioinformática e PCR em tempo real

permitiu o monitoramento eficaz da evolução viral e a implantação de estratégias de contenção. O fortalecimento das *core facilities* requer investimentos sustentáveis, colaboração entre instituições e políticas públicas que garantam infraestrutura adequada. A organização dessas plataformas dentro de redes compartilhadas, como a RPT da Fiocruz, é um modelo eficiente para garantir sua utilização plena na segurança sanitária do país.

Uma rede de Plataformas – *Core Facilities* – traz, não apenas, grandes benefícios para uma instituição como também demonstra ser uma estrutura de grande relevância estadual, regional e nacional por concentrar capacidade analítica e tecnológica de suporte a projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Além disso, essas estruturas possuem *know-how* e relevância para atuarem como pulmão de expansão e velocidade de respostas coordenadas em tempos de emergências, mostrando, assim, serem essenciais como elementos de preparação, razão pela qual devem ser incluídas como infraestruturas críticas de enfrentamento, de resiliência e de reposta.

Após um período que acometeu mais de 700 mil vidas no Brasil, evidencia-se que o fortalecimento das *core facilities* é crucial para garantir uma resposta ágil e eficaz a futuras emergências em saúde pública, sendo necessário investimento contínuo em infraestrutura e capacitação de pessoal. Adicionalmente, destaca-se a necessidade de estratégias nacionais de enfrentamento, criando políticas de Estado que fortaleçam a resposta científica e tecnológica do país, além da integração dessas infraestruturas nos planos de preparação para pandemias.

Agradecimentos

Aos integrantes das Plataformas de PCR, Genômica e Bioinformática, da RPT Fiocruz, da Rede de Vigilância Genômica e à Fundação Oswaldo Cruz.

Colaboradores

Pereira CD (0009-0003-6000-5903)* contribuiu para concepção, bucas de dados, edição e revisão do manuscrito. Boniatti J (0000-0003-0510-9323)* contribuiu para busca de dados,

edição e revisão do manuscrito. Lima Júnior MSC (0000-0003-0146-7123)* contribuiu para revisão final do manuscrito. Degrave WMS (0000-0003-3533-4580)* contribuiu para concepção, busca de dados, escrita e revisão final do manuscrito. ■

Referências

- World Health Organization. CEPI and WHO urge broader research strategy for countries to prepare for the next pandemic. WHO [Internet]. 2024 ago 1 [acesso em 2025 abr 26]; News. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/01-08-2024-cepi-and-who-urge-broader-research-strategy-for-countries-to-prepare-for-the-next-pandemic>
- Ministério da Saúde (BR), Gabinete do Ministro. Portaria nº 2.031, de 23 de setembro de 2004. Dispõe sobre a organização do Sistema Nacional de Laboratórios de Saúde Pública [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2004 set 23 [acesso em 2025 abr 26]; Edição 185; Seção I:79-80. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2004/prt2031_23_09_2004.html
- Ministério da Saúde (BR); Fundação Oswaldo Cruz. InfoGripe. COVID-19 – Balanço de dois anos da emergência em saúde pública de importância internacional e nacional. NLM (Medline); 2022.
- Ministério da Saúde (BR), Secretaria de Vigilância em Saúde. Boletim Epidemiológico Especial. Vigilância laboratorial. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2020.
- World Health Organization. Preparedness for emergencies. WHO [Internet]. 2025 [acesso em 2025 abr 26]; Our work in emergencies. Disponível em: <https://www.who.int/europe/emergencies/our-work-in-emergencies/preparedness>
- Ministério da Saúde (BR), Gabinete do Ministro. Portaria nº 356, de 11 de março de 2020. Dispõe sobre a regulamentação e operacionalização do disposto na Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020, que estabelece as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus (COVID-19). Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2020 mar 12; Edição 49; Seção I:185-7.
- Moura-Corrêa MJ, Campos AS, Amaral ICC, et al. Exposição ocupacional ao Sars-CoV-2: investigação das condições de saúde/segurança dos trabalhadores essenciais para subsidiar ações de mitigação de risco da Covid-19. Saúde debate. 2023;47(139):758-75. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-1104202313903>
- Ministério da Saúde (BR), Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Guia de vigilância integrada da covid-19, influenza e outros vírus respiratórios de importância em saúde pública [Internet]. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2024 [acesso em 25 abr 26]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/2024/guia-vigilancia-integrada-da-covid-19-influenza-e-outros-virus-respiratorios-de-importancia-em-saude-publica/view>
- Ministério da Saúde (BR), Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Coronavírus Brasil [Internet]. 2025 [acesso em 2025 abr 26]. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>

*Orcid (Open Researcher and Contributor ID).

10. Bio-Manguinhos, Fundação Oswaldo Cruz. Bio-Manguinhos/Fiocruz é selecionado como hub da OMS para vacina de mRNA contra Covid-19. Fiocruz [Internet]. 2021 [acesso em 2025 abr 26]. Disponível em: www.bio.fiocruz.br
11. Ministério da Saúde (BR), Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento do Complexo Industrial e Inovação em Saúde. Avanços e desafios no complexo industrial em produtos para a saúde [Internet]. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2017 [acesso em 2025 abr 26]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/avancos_desafios_complexo_industrial_produtos_saude.pdf
12. Bastos DSA, Gadelha CAG. A contribuição da logística para o fortalecimento da produção nacional e para o acesso universal no âmbito do SUS. *Saúde debate*. 2022;46(Esp 8):171-86. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E813>
13. Ministério da Saúde (BR). Cúpula Global de Preparação para Pandemias 2024 – Relatório de resultados. Ministério da Saúde [Internet]. 2024 ago 6 [acesso em 2025 abr 26]; Notícias. Disponível em: <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/assuntos/noticias/2024/agosto/cupula-global-de-preparacao-para-pandemias-2024>
14. Organização Pan-Americana da Saúde. Sequenciamento genômico do SARS-CoV-2. Guia de implementação para máximo impacto na saúde pública. 8 de janeiro de 2021. Brasília, DF: OPAS; 2021.
15. Castrignano SB, Nagasse-Sugahara TK. The metagenomic approach and causality in virology. *Rev Saúde Pública*. 2015;49. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2015049005475>
16. Rede Genômica. Fiocruz. Genomahcov – Fiocruz [Internet]. 2025 [acesso em 2025 mar 11]. Disponível em: <https://www.genomahcov.fiocruz.br/>
17. Fundação Oswaldo Cruz. Balanço de Gestão: Atuação da Fiocruz na Pandemia da Covid-19 – 2020-2022. [Rio de Janeiro]: Fiocruz; 2022.
18. Organisation for Economic Co-operation and Development. Estudos da OCDE sobre os Sistemas de Saúde: Brasil 2021. Paris: OECD; 2021.
19. Organisation for Economic Co-operation and Development. Saúde ambiental e fortalecendo a resiliência a pandemias. Paris: OECD; 2020.
20. Meder D, Morales M, Pepperkok R, et al. Institutional core facilities: prerequisite for breakthroughs in the life sciences: Core facilities play an increasingly important role in biomedical research by providing scientists access to sophisticated technology and expertise. *EMBO Rep*. 2016;17(8):1088-93. DOI: <https://doi.org/10.15252/embr.201642857>
21. Zwick ME. Organizing core facilities as force multipliers: strategies for research universities. *J Biomol Tech*. 2021;32(1):36-41. DOI: <https://doi.org/10.7171/jbt.21-3202-002>
22. Core For Life [Internet]. [local desconhecido]: VIB; ©2025 [acesso em 2025 fev 25]. Disponível em: <https://coreforlife.sites.vib.be/en>
23. Rappoport JZ, Larsen DD, Abrams B, et al. Reopening during the unprecedented: The Association of Biomolecular Resource Facilities Community Coronavirus Disease 2019 Pandemic Response. Part 2: Efforts to Effectively Ramp Up Core Facility Activities. *J Biomol Tech*. 2021;32(4):3fc1f5fe.87a00931. DOI: <https://doi.org/10.7171/3fc1f5fe.87a00931>
24. Kigenyi J, Mische SM, Porter DM, et al. Preparing for the unprecedented: The Association of Biomolecular Resource Facilities (ABRF) Community Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic Response Part I: Efforts to Sustainably Ramp Down Core Facility Activities. *J Biomol Tech*. 2020;31(4):119-124. DOI: <https://doi.org/10.7171/jbt.20-3104-002>
25. Aspland AM, Douagi I, Filby A, et al. Biosafety during a pandemic: shared resource laboratories rise to the challenge. *Cytometry A*. 2021;99(1):68-80. DOI: <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24280>

26. Back JB, Martinez L, Nettenstrom L, et al. Establishing a biosafety plan for a flow cytometry shared resource laboratory. *Cytometry A*. 2022;101(5):380-6. DOI: <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24524>
27. Dietzel S, Ferrando-May E, Fried H, et al. A Joint Action in Times of Pandemic: The German BioImaging Recommendations for Operating Imaging Core Facilities During the SARS-Cov-2 Emergency. *Cytometry A*. 2020;97(9):882-6. DOI: <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24178>
28. Silva AF, Silva Neto AM, Aksenon CF, et al. Viral-Flow v1.0 - a computational workflow for streamlining viral genomic surveillance. *NAR Genom Bioinform* 2024;6(2):lqae056. DOI: <https://doi.org/10.1093/nargab/lqae056>
29. GISAID – hCov19 Variants [Internet]. [local desconhecido]: Freunde von GISAID e.V.; ©2008-2025 [acesso em 2025 fev 25]. Disponível em: <https://gisaid.org/hcov19-variants/>
30. Rede de Plataformas Tecnológicas da Fiocruz [Internet]. Rio de Janeiro: Fiocruz; ©2025 [acesso em 2025 jan 1]. Disponível em: <https://plataformas.fiocruz.br>
31. Souza SB, Cabral PGA, Silva RM, et al. Phase III, randomized, double-blind, placebo-controlled clinical study: a study on the safety and clinical efficacy of AZVUDINE in moderate COVID-19 patients. *Front Med (Lausanne)*. 2023;10:1215916. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1215916>
32. Pinho CT, Vidal AF, Negri Rocha TC, et al. Transmission dynamics of SARS-CoV-2 variants in the Brazilian state of Pará. *Front Public Health*. 2023;11:1186463. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1186463>
33. Marodin G, Braathen Salgueiro J, Luz Motta M, et al. Diretrizes nacionais para biorrepositório e biobanco de material biológico humano. *Rev Assoc Med Bras*. 2013;59(1):72-7. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-42302013000100014>
34. UK Research and Innovation. A UK-wide collaborative network for SARS-CoV-2 genomics, research and training UK SARS-CoV-2 genome sequencing: Present | Past [Internet]. [Local desconhecido]: UK Research and Innovation; 2023 [acesso em 2025 fev 25]. Disponível em: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230505083137/https://www.cogconsortium.uk/>
35. Centers for Disease Control and Prevention. SPHERES [Internet]. 2020 [acesso em 2025 fev 25]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/advanced-molecular-detection/php/spheres/index.html>
36. Giandhari J, Pillay S, Wilkinson E, et al. Early transmission of SARS-CoV-2 in South Africa: An epidemiological and phylogenetic report. *Int J Infect Dis*. 2021;103:234-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.11.128>
37. Khairnar K, Tomar SS. COVID-19 genome surveillance: A geographical landscape and mutational mapping of SARS-CoV-2 variants in central India over two years. *Virus Res*. 2024;344:199365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2024.199365>
38. Lippens S, Audenaert D, Botzki A, et al. How tech-savvy employees make the difference in core facilities. *EMBO Rep*. 2022;23(6):e55094. DOI: <https://doi.org/10.15252/embr.202255094>

Recebido em 26/02/2025

Aprovado em 16/05/2025

Conflito de interesses: inexistente

Disponibilidade de dados: os dados de pesquisa estão contidos no próprio manuscrito

Suporte financeiro: Fundação Oswaldo Cruz, Vice-Presidência de Pesquisa e Coleções Biológicas

Editora responsável: Raquel Abrantes Pêgo