



INOVAÇÃO DIAGNÓSTICA VS. DESCARTE SUSTENTÁVEL: O DILEMA DOS RESÍDUOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA EXTRAÇÃO GENÔMICA PARA RT-QPCR E SEUS CUSTOS ECOLÓGICOS E FINANCEIROS PARA O SISTEMA PÚBLICO DE SAÚDE

LUAN AUGUSTO AZEVEDO SANTOS; FARAH MURTADHA; EDEJAN HEISE DE PAULA; FABIANO JOSÉ QUEIROZ COSTA; TÂNIA PORTELLA COSTA

RESUMO

Introdução: A RT-qPCR, uma tecnologia do final do século XX, representa uma inovação diagnóstica crucial na vigilância epidemiológica de vírus respiratórios como SARS-CoV-2 e Influenza. Contudo, essa tecnologia gera um volume significativo de resíduos, com implicações socioambientais e econômicas. **Objetivo:** Este trabalho analisou o dilema entre a inovação diagnóstica e o descarte sustentável, focando nos resíduos físicos, químicos e biológicos gerados pela triagem, aliquotagem, amplificação de material genético e, principalmente, pela extração genômica para RT-qPCR no Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF). **Metodologia:** Incluiu a quantificação da massa dos insumos descartáveis por ensaio de 96 poços e a projeção para diferentes períodos, além da estimativa dos custos de incineração no âmbito do Distrito Federal e para o LACEN-DF, que trabalha com um contrato da Secretaria de Vigilância em Saúde como um todo (o que reduz esse custo por quilo). Resultados: Demonstraram que cada poço de amostra processado (incluindo a triagem, aliquotagem, extração e amplificação genômica) gera aproximadamente 32,75 gramas de resíduos. Com uma média de duas extrações diárias em períodos sem surtos, o LACEN-DF gera cerca de 6.288,70 gramas de resíduos por dia, totalizando mais de 2,2 toneladas anualmente. Esses resíduos, predominantemente de polipropileno, são de uso único, infecciosos e exigem incineração, com um custo anual aproximado de R\$ 8.000,00. A baixa reciclabilidade do polipropileno (apenas 1%), sua degradação lenta e a liberação de toxinas na queima evidenciam os custos ecológicos. **Conclusão:** A inovação diagnóstica por RT-qPCR impõe um desafio substancial ao descarte sustentável no sistema público de saúde, exigindo estratégias mais eficazes para mitigar os impactos ambientais e financeiros.

Palavras-chave: Polipropileno; Resíduos hospitalares; Extração genômica.

1 INTRODUÇÃO

A inovação diagnóstica, particularmente por meio da técnica de Reação em Cadeia da Polimerase Reversa quantitativa (RT-qPCR), transformou a vigilância epidemiológica e o controle de doenças infecciosas. Sua alta sensibilidade e especificidade consolidaram-na como o "padrão-ouro" para a detecção de diversos vírus respiratórios, incluindo SARS-CoV-2, Influenza A e B, Vírus Sincicial Respiratório (VRS), Metapneumovírus Humano (hMPV), Adenovírus (ADV) e Rinovírus. No entanto, a adoção em larga escala dessa tecnologia traz consigo um paradoxo: a indispensável capacidade diagnóstica acarreta uma produção sem precedentes de resíduos sólidos laboratoriais.

Esses resíduos, majoritariamente plásticos e provenientes de insumos descartáveis de uso único, são gerados em diversas etapas do processo, desde a triagem das amostras, passando pela aliquotagem (transferência de amostras biológicas do tubo primário para o secundário) e, principalmente, pela extração genômica. Classificados como potencialmente

infecciosos, esses materiais exigem um descarte especializado, tipicamente por incineração, o que, por sua vez, gera um complexo dilema entre a eficácia diagnóstica e a sustentabilidade ambiental e econômica. O Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF), como instituição de referência para o Distrito Federal e, ocasionalmente, para o Ministério da Saúde, exemplifica esse cenário. A sua atuação contínua no diagnóstico de rotina e em momentos de surtos e calamidades públicas intensifica a geração desses materiais descartáveis.

A problemática se aprofunda não apenas no volume de resíduos, mas também em sua composição, predominantemente polipropileno. Este material plástico é derivado de fontes não renováveis, como o petróleo, e possui características de difícil reciclabilidade, com uma taxa global de apenas 1%. Além do impacto ecológico direto, sua degradação pode levar até 30 anos. A incineração, embora necessária para a segurança biológica, impõe custos financeiros significativos e contribui para a liberação de substâncias tóxicas na atmosfera, como cloreto de vinila e dioxinas.

Diante desse contexto, o presente estudo propõe-se a analisar o intrínseco dilema entre a inovação diagnóstica pela RT-qPCR e os desafios do descarte sustentável. O objetivo geral é quantificar os resíduos físicos, químicos e biológicos gerados pela triagem, alíquotagem e extração genômica para RT-qPCR no LACEN-DF e investigar os custos ecológicos e financeiros associados ao seu manejo para o sistema público de saúde. Compreender essa dualidade é fundamental para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis na gestão de resíduos de serviços de saúde, buscando alinhar a indispensável capacidade diagnóstica com a responsabilidade ambiental e a viabilidade econômica do sistema de saúde.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo empregou uma abordagem descritiva e quantitativa para analisar a geração de resíduos sólidos resultantes da rotina de diagnóstico molecular por RT-qPCR no Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF). A coleta de dados foi realizada no setor de Virologia do LACEN-DF, que utiliza o Kit Molecular Painel Respiratório (VR1/VR2) da Bio-Manguinhos para identificar diversos vírus respiratórios, incluindo Influenza A, Influenza B, SARS-CoV-2, Metapneumovírus Humano (hMPV), Vírus Sincicial Respiratório (VRS), Adenovírus (ADV) e Rinovírus.

A metodologia de quantificação dos resíduos baseou-se na identificação e pesagem dos principais insumos plásticos descartáveis utilizados em uma corrida de RT-qPCR com uma placa de 96 poços, que é o formato padrão utilizado. As etapas consideradas para a geração de resíduos foram a triagem das amostras, a passagem de amostras biológicas do tubo primário para o secundário (alíquotagem), e, principalmente, a extração genômica. Os pesos dos materiais descartáveis foram determinados da seguinte forma:

- Kits de extração e tubos de coleta: A etapa de coleta e extração, que engloba a triagem e a alíquotagem das amostras, gera aproximadamente 2200 gramas de resíduos.
- Placas de PCR: Vinte caixas de placas (equivalente a 200 placas) pesam 8,72 kg. Cada placa tem um peso individual de 0,0436 kg (43,6 g). Como cada corrida utiliza duas placas, o peso total das placas por corrida é de 87,2 gramas.
- Ponteiras com filtro (200 ml): Dez caixas de ponteiras pesam 1,94 kg. Uma caixa pesa 0,194 kg. Considerando uma margem de erro de +10 ponteiras, o peso total de ponteiras por corrida foi estimado em 0,196 kg.
- Filmes de PCR: Três filmes são utilizados por corrida, com um peso de 0,00735 gramas (cada filme pesa 0,00245g).
- Luvas: Uma caixa de 100 luvas pesa 0,480 kg. Estimou-se o uso de 10 pares (20 luvas) por corrida, totalizando 0,048 kg.

- Máscaras: Uma embalagem de 50 unidades pesa 180 gramas. Utilizando 3 máscaras por corrida, o peso é de 10,8 gramas.
- Aventais: Cada avental pesa 0,119 kg. Utilizou-se 5 aventais por corrida, totalizando 595 gramas.

A massa total de resíduos por placa de 96 poços foi calculada pela soma desses pesos (2200 g (coleta + extração) + 87,2 g (placas) + 196 g (ponteiras) + 7,35 g (filmes) + 48 g (luvas) + 10,8 g (máscaras) + 595 g (aventais) = 3144,35 g). Posteriormente, foi calculada a média de resíduos por poço (amostra), que foi de aproximadamente 32,75 gramas.

Para estimar a geração de resíduos em diferentes períodos, adotou-se a premissa de que, em momentos sem surtos de saúde pública, o LACEN-DF realiza em média duas extrações (duas placas de 96 poços) por dia. Com base nisso, foram calculados os volumes de resíduos gerados semanalmente (7 dias), totalizando 44.020,9 gramas; mensalmente (30 dias), totalizando 188.661,0 gramas; e anualmente (360 dias), totalizando 2.263.932 gramas (equivalente a 2,26 toneladas).

Os custos econômicos associados ao descarte dos resíduos foram estimados considerando que os materiais infecciosos requerem incineração. O valor de referência para a incineração em Brasília varia de R\$ 2,00 a R\$ 5,00 por quilograma, sendo utilizada uma média de R\$ 3,50/kg para os cálculos. Com base na massa de resíduos diária (6,2887 kg), os custos foram calculados para 01 dia (~R\$ 22,00), 07 dias (~R\$ 154,06), 30 dias (~R\$ 660,24) e 01 ano (~R\$ 7.922,88).

Para a contextualização e fundamentação teórica, foram consultados documentos oficiais da Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal (SES-DF) e o kit diagnóstico de Bio-Manguinhos. A pesquisa bibliográfica para discussão dos impactos ambientais do polipropileno e a gestão de resíduos em laboratórios foi realizada nas bases de dados Google Scholar e Pubmed, utilizando descritores como "plastic waste AND rt-pcr", "resíduos AND rt-pcr", "Waste management AND rt-pcr", "gestão de resíduos AND rt-pcr" e "trash AND rt-pcr", com foco em publicações dos últimos 10 anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inovação diagnóstica proporcionada pela RT-qPCR tem sido um pilar fundamental na resposta a emergências de saúde pública, como a pandemia de COVID-19, permitindo a detecção rápida e precisa de diversos vírus respiratórios. Contudo, essa capacidade diagnóstica traz consigo um dilema intrínseco relacionado à geração de resíduos sólidos, particularmente os físicos, químicos e biológicos advindos da extração genômica. Os resultados deste estudo quantificam a magnitude desse dilema no Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF).

A análise detalhada dos insumos utilizados na rotina de RT-qPCR no LACEN-DF, que abrange desde a triagem das amostras e a alíquotagem até a extração genômica, revelou que uma única corrida, que processa 96 amostras em uma placa, gera um total de 3144,35 gramas de resíduos sólidos. Isso significa que, por cada amostra (poço) processada, aproximadamente 32,75 gramas de material descartável são gerados. Essa massa inclui componentes essenciais para a extração (kits e tubos de coleta, correspondendo a cerca de 2200g), assim como itens cruciais para a preparação do mix e da placa de RT-qPCR (que juntos somam aproximadamente 944,35g, incluindo placas, ponteiras, filmes, luvas e máscaras). Esses dados quantificam a "pegada" material de cada diagnóstico.

Considerando a rotina do LACEN-DF, que, em períodos sem surtos de saúde pública, realiza em média duas extrações por dia, o volume diário de resíduos atinge 6288,70 gramas. Essa produção se acumula rapidamente: em 7 dias (período em que o Núcleo de Virologia atua), são 44.020,9 gramas; em 30 dias, 188.661,0 gramas; e, em um ano, o impressionante

montante de 2.263.932 gramas, ou seja, mais de 2,2 toneladas de resíduos plásticos. É importante ressaltar que essa projeção é conservadora, uma vez que em períodos de surtos epidemiológicos, a demanda por testes e, consequentemente, a geração de resíduos, aumentam exponencialmente.

A natureza desses insumos – de uso único, descartáveis e infecciosos – é um fator crítico. A impossibilidade de reutilização, imposta pela necessidade de evitar contaminação cruzada e garantir a segurança e a acurácia diagnóstica, direciona esses materiais diretamente para o descarte. O destino final para esses resíduos é a incineração, um processo que, embora elimine a patogenicidade, não está isento de custos ecológicos e financeiros.

Em Brasília, o custo médio para incineração de 1 kg de lixo hospitalar é de aproximadamente R\$ 3,50. Com base nos volumes gerados, o custo diário de incineração para o LACEN-DF é de cerca de R\$ 22,00. Extrapolando, os custos são de aproximadamente R\$ 154,06 em 7 dias, R\$ 660,24 em 30 dias, e R\$ 7.922,88 anualmente. Para o sistema público de Vigilância em Saúde, um contrato unificado tende a ter redução do valor pago, haja vista o montante de lixo hospitalar produzido em todos os órgãos que compõem. Diante disso, o atual contrato vigente tem o valor de R\$ 1,56377 por Kg para incineração. Então, o custo diário exato para o LACEN-DF é de ~R\$9,83; semanal ~R\$ 68,84; mensal ~R\$ 295,02; anual ~R\$ 3.540,27. Esses valores, que representam um ônus financeiro contínuo para o sistema público de saúde, são uma parte do dilema.

A outra parte do dilema reside nos custos ecológicos. A maior parte desses resíduos é composta por polipropileno. Este plástico é produzido a partir de fontes não renováveis, como o petróleo, e é conhecido por sua difícil reciclagem, com uma taxa global de apenas 1%. Sua persistência no ambiente é notável, levando até 30 anos para sua degradação natural. Além disso, a incineração, apesar de necessária, libera toxinas como cloreto de vinila e dioxinas na atmosfera, exacerbando a poluição do ar e os impactos na saúde humana e ecossistemas. O fato de que esses resíduos "NÃO pode ser reciclado" no contexto atual de descarte pós-uso infeccioso acentua a gravidade do impacto. A literatura revisada, através dos descritores utilizados, corrobora a crescente preocupação global com a gestão de resíduos plásticos hospitalares e a necessidade de soluções sustentáveis. Estudos recentes têm explorado alternativas de materiais e processos de descarte, mas a complexidade da segurança biológica e a infraestrutura existente representam desafios consideráveis.

A relevância deste estudo reside em fornecer dados quantitativos específicos para um laboratório de saúde pública no Brasil, ilustrando o impacto real da inovação diagnóstica no ambiente e nas finanças públicas. As limitações incluem a generalização da média de "duas extrações por dia" para o cálculo anual, o que pode subestimar o volume real de resíduos gerados durante picos epidêmicos. Contudo, os dados servem como um importante ponto de partida para discussões sobre a responsabilidade ambiental na saúde e a busca por inovações que integrem a sustentabilidade desde a concepção dos produtos.

4 CONCLUSÃO

A RT-qPCR representa uma inegável inovação diagnóstica, fundamental para a saúde pública e a vigilância epidemiológica de vírus respiratórios. No entanto, o presente estudo no LACEN-DF evidenciou um significativo dilema: a eficiência e a precisão dessa tecnologia vêm acompanhadas da geração de um volume considerável de resíduos físicos, químicos e biológicos, principalmente da extração genômica, cujos custos ecológicos e financeiros não podem ser ignorados pelo sistema público de saúde.

Com mais de 2 toneladas de resíduos plásticos infecciosos gerados anualmente e um custo de incineração que se aproxima de R\$ 8.000,00 por ano apenas para o descarte desses materiais, o impacto é substancial. A natureza do polipropileno – derivado de fontes não renováveis, de difícil reciclagem e tóxico quando incinerado – agrava a pegada ambiental da

prática laboratorial. A segurança biológica impede a reutilização desses insumos, tornando o ciclo de consumo e descarte um fluxo contínuo e problemático.

Este trabalho ressalta a urgência de integrar a sustentabilidade no planejamento e na execução das atividades de diagnóstico laboratorial. A inovação diagnóstica deve ser acompanhada por uma profunda reflexão e proatividade na gestão de resíduos. São necessárias pesquisas e investimentos em materiais biodegradáveis para insumos laboratoriais, bem como no desenvolvimento de tecnologias de descarte que minimizem os impactos ambientais adversos da incineração. O LACEN-DF, como um laboratório de referência, pode e deve ser um catalisador para a busca e implementação dessas soluções, equilibrando a indispensável capacidade diagnóstica com a responsabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

ALSABRI, Amzan; TAHIR, Furqan; AL-GHAMDI, Sami G. Environmental impacts of polypropylene (PP) production and prospects of its recycling in the GCC region. **Materials Today: Proceedings**, v. 56, parte 4, p. 2245-2251, 2022.

BIO-MANGUINHOS. **Kit Molecular Painel Respiratório (VR1/VR2), 48 reações**. 2025.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DO DISTRITO FEDERAL (SES-DF). **Portaria nº**

254, de 24 de setembro de 2013. Institui a Rede de Laboratórios de Saúde Pública do Distrito Federal e dá outras providências.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DO DISTRITO FEDERAL (SES-DF). **Decreto Nº**

21.776, de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre a estrutura orgânica do Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal - LACEN-DF e dá outras providências.