




INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DA HEPATITE C

TECHNOLOGICAL INNOVATION IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF HEPATITIS C

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DE LA HEPATITIS C

 <https://doi.org/10.56238/levv16n54-177>

Data de submissão: 29/10/2025

Data de publicação: 29/11/2025

Cássia Maria Ramos do Nascimento

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

E-mail: cassiaramoss23@gmail.com

Gabriella Nogueira Buzaglo

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

E-mail: gabriellanogueirab@gmail.com

Mikaella Lima Pinheiro

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

E-mail: limamikaella16@gmail.com

Gabriel de Oliveira Rezende

Mestre em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia

Instituição: Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

E-mail: gabriel.rezende@fametro.edu.br

RESUMO

Introdução: A inflamação dos hepatócitos caracteriza a hepatite, cuja origem pode ser autoimune, viral, alcoólica ou tóxica. O vírus HCV, agente causador da hepatite C, possui seis genótipos principais, com predominância do tipo 1 em nível global. A transmissão ocorre por contato com sangue contaminado, práticas como compartilhamento de seringas e uso de materiais médico-hospitalares sem esterilização adequada. O diagnóstico utiliza testes sorológicos para identificação de anticorpos e testes moleculares para detecção do RNA viral e acompanhamento da resposta ao tratamento. A genotipagem orienta a definição do esquema terapêutico. **Objetivo:** Analisar os avanços tecnológicos com métodos tradicionais no diagnóstico e tratamento da hepatite C. **Metodologia:** A pesquisa trata-se de uma revisão de literatura com abordagem descritiva, foram consultadas as seguintes bases de dados: MEDLINE, SCIELO, BVS e LILACS. **Resultados:** Identificaram-se avanços como testes rápidos, RT-LAMP, sequenciamento genômico, plataformas digitais para monitoramento terapêutico, antivirais de ação direta, terapias combinadas, regimes livres de interferon, vacinas experimentais e nanotecnologia, ampliando taxas de resposta virológica sustentada e acesso ao tratamento. **Considerações finais:** integração entre inovações diagnósticas e terapêuticas redefine o manejo da hepatite C, reduz

morbimortalidade e projeta possibilidade de eliminação como problema de saúde pública, requerendo continuidade de pesquisas e ampliação de políticas de rastreamento e tratamento.

Palavras-chave: Hepatite Viral C. Diagnóstico Laboratorial. Terapia. Inovações Tecnológicas.

ABSTRACT

Introduction: Inflammation of hepatocytes characterizes hepatitis, whose origin can be autoimmune, viral, alcoholic or toxic. The HCV virus, the causative agent of hepatitis C, has six main genotypes, with a predominance of type 1 at the global level. Transmission occurs through contact with contaminated blood, practices such as sharing syringes and the use of medical-hospital materials without adequate sterilization. Diagnosis uses serological tests to identify antibodies and molecular tests to detect viral RNA and monitor the response to treatment. Genotyping guides the definition of the therapeutic regimen. **Objective:** To analyze technological advances with traditional methods in the diagnosis and treatment of hepatitis C. **Methodology:** The research is a literature review with a descriptive approach, the following databases were consulted: MEDLINE, SCIELO, BVS and LILACS. **Results:** Advances such as rapid tests, RT-LAMP, genomic sequencing, digital platforms for therapeutic monitoring, direct-acting antivirals, combination therapies, interferon-free regimens, experimental vaccines, and nanotechnology were identified, expanding sustained virological response rates and access to treatment. **Final considerations:** the integration between diagnostic and therapeutic innovations redefines the management of hepatitis C, reduces morbidity and mortality, and projects the possibility of elimination as a public health problem, requiring continuity of research and expansion of screening and treatment policies.

Keywords: Viral Hepatitis C. Laboratory Diagnosis. Therapy. Technological Innovations.

RESUMEN

Introducción: La inflamación de los hepatocitos caracteriza la hepatitis, cuyo origen puede ser autoinmune, viral, alcohólico o tóxico. El virus VHC, agente causante de la hepatitis C, tiene seis genotipos principales, con predominio del tipo 1 a nivel mundial. La transmisión se produce por contacto con sangre contaminada, prácticas como compartir jeringas y el uso de materiales médicos y hospitalarios sin la esterilización adecuada. El diagnóstico utiliza pruebas serológicas para la identificación de anticuerpos y pruebas moleculares para la detección del ARN viral y el seguimiento de la respuesta al tratamiento. La genotipificación orienta la definición del esquema terapéutico. **Objetivo:** Analizar los avances tecnológicos con métodos tradicionales en el diagnóstico y tratamiento de la hepatitis C. **Metodología:** La investigación es una revisión de la literatura con un enfoque descriptivo, se consultaron las siguientes bases de datos: MEDLINE, SCIELO, BVS y LILACS. **Resultados:** Se identificaron avances como pruebas rápidas, RT-LAMP, secuenciación genómica, plataformas digitales para el seguimiento terapéutico, antivirales de acción directa, terapias combinadas, regímenes sin interferón, vacunas experimentales y nanotecnología, lo que amplió las tasas de respuesta virológica sostenida y el acceso al tratamiento. **Consideraciones finales:** la integración entre innovaciones diagnósticas y terapéuticas redefine el manejo de la hepatitis C, reduce la morbilidad y mortalidad y proyecta la posibilidad de eliminarla como problema de salud pública, lo que requiere la continuidad de las investigaciones y la ampliación de las políticas de detección y tratamiento.

Palabras clave: Hepatitis Viral C. Diagnóstico de Laboratorio. Terapia. Innovaciones Tecnológicas.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Relatório Global de Hepatite (2024) da Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que, no ano de 2024, aproximadamente 50 milhões de indivíduos haviam sido diagnosticados com infecção pelo vírus da hepatite C. A maioria dos casos foi registrada entre adultos com idade entre 30 e 54 anos, enquanto 12% das infecções foram verificadas em crianças e adolescentes com menos de 18 anos. Além do mais, indivíduos do sexo masculino representaram 62% do total de pessoas acometidas pela doença (ONU, 2024).

No Brasil, conforme o Boletim Epidemiológico do Ministério da Saúde, a hepatite C apresenta maior concentração de casos no Sudeste (58,1%) e no Sul (27,1%), com as maiores taxas de incidência entre 2013 e 2023. Entre 2000 e 2023, registraram-se 318.916 casos, predominando em indivíduos do sexo masculino (57,3%) e em pessoas acima dos 60 anos. Em 2023, a maioria dos diagnosticados autodeclarou-se branca (46,9%), seguida por pardos (32,9%) e pretos (11,1%). A doença constitui a principal causa de óbito entre as hepatites virais, totalizando 68.189 mortes entre 2000 e 2022, com maior concentração no Sudeste. Em 2022, a mortalidade no Brasil foi de 0,5 por 100 mil habitantes, superior em homens (0,6) em relação a mulheres (0,4) (Brasil, 2023).

Na hepatite, a atividade de células citotóxicas sobre o tecido hepático desencadeia a hepatite autoimune. A inflamação hepática ocorre por infecções virais, como citomegalovirose, mononucleose infecciosa, herpes simples, febre amarela e pelos vírus das hepatites A, B, C, D e E, além dos tipos F, G e TT, que permanecem em investigação (Duarte *et al.*, 2022).

O termo hepatite define a inflamação dos hepatócitos e possui diversas causas. A doença pode estar associada ao consumo excessivo de bebidas alcoólicas, caracterizando a hepatite alcoólica, ou a infecções bacterianas e fúngicas, infestações por protozoários e exposição a substâncias tóxicas, incluindo medicamentos e agentes químicos, levando à hepatite induzida por drogas (Rodrigues *et al.*, 2023).

O vírus da hepatite C integra o gênero *Hepacivirus*, pertencente à família *Flaviviridae*, e possui um genoma de RNA de fita simples com polaridade positiva. Foram identificados seis genótipos principais do HCV, com mais de 50 subtipos descritos na literatura. O genótipo 1 apresenta a maior prevalência global, correspondendo a 46% das infecções pelo HCV, seguido pelo genótipo 3 (Freitas *et al.*, 2025).

A transmissão do vírus ocorre por contato direto com sangue contaminado, pelo compartilhamento de seringas, uso de materiais médico-hospitalares sem esterilização adequada, como instrumentos cirúrgicos e perfurocortantes, além de transfusões sanguíneas realizadas sem triagem prévia (Carvalho *et al.*, 2023).

Os métodos diagnósticos incluem dois tipos principais de testes: ensaios sorológicos, utilizados para identificar anticorpos específicos, cuja sensibilidade tem apresentado melhorias progressivas, e

testes moleculares, empregados na detecção de partículas virais (Castejon *et al.*, 2019). No contexto dos testes moleculares, a quantificação da carga viral possibilita a avaliação da resposta ao tratamento, enquanto a genotipagem auxilia na previsão da eficácia terapêutica e na definição do esquema medicamentoso mais adequado (Botto *et al.*, 2024).

O avanço tecnológico tem aprimorado o diagnóstico da hepatite C, impulsionando a erradicação global. Testes rápidos de anticorpos anti-HCV e dispositivos portáteis viabilizam triagens em larga escala, facilitando o acesso ao diagnóstico em áreas com poucos recursos (Farinon *et al.*, 2024). A RT-PCR segue como método mais preciso para detectar o RNA do vírus, enquanto testes de genotipagem permitem a personalização do tratamento (Hyppolito, 2024). A elastografia hepática, como o *FibroScan*, substitui a biópsia na avaliação da fibrose, e a inteligência artificial aprimora a precisão diagnóstica (Pereira, 2024).

A terapia para o vírus da hepatite C (VHC) tem como principal objetivo a erradicação da infecção e a restauração da saúde do paciente (EASL, 2018). O tratamento busca alcançar a resposta virológica sustentada (RVS), definida pela ausência detectável de RNA do VHC após 12 semanas (RVS12) ou 24 semanas (RVS24) da finalização do regime terapêutico. A obtenção da RVS indica a eliminação do vírus, com baixa probabilidade de recidiva tardia (EASL, 2018).

Os avanços tecnológicos no tratamento da hepatite C incluem antivirais de ação direta (DAAs) com taxas de cura acima de 95%, novas combinações para simplificar a terapia e genotipagem para personalização do tratamento (Lemos *et al.*, 2019). A acessibilidade tem aumentado com a produção de genéricos e iniciativas globais (Reis *et al.*, 2024). Além de tudo, a telemedicina amplia o acesso a consultas e acompanhamento digital dos pacientes (Oliveira, 2021).

O estudo justifica-se, pois é necessário compreender melhor o avanço do diagnóstico e do tratamento da hepatite C, considerando os impactos das inovações tecnológicas na detecção precoce e na eficácia terapêutica. Métodos laboratoriais mais sensíveis possibilitam intervenções rápidas e assertivas, reduzindo a progressão da doença. O desenvolvimento de antivirais de ação direta modifica a condução clínica, ampliando as chances de cura com menor toxicidade. A análise dos avanços permite avaliar desafios e perspectivas para aprimorar o manejo da hepatite C.

O objetivo geral do estudo foi analisar a inovação tecnológica aplicada ao diagnóstico e tratamento da hepatite C. Os objetivos específicos delineados foram: identificar os principais aspectos sobre a Hepatite C; Demonstrar as inovações Tecnológicas Aplicadas ao Diagnóstico da Hepatite C e apresentar os avanços Tecnológicos no Tratamento da Hepatite C.

2 METODOLOGIA

Trata-se de estudo de revisão da literatura, com procedimento descritivo e abordagem qualitativa, utilizando como fonte de dados a bibliografia sobre “Inovação tecnológica no diagnóstico e tratamento da hepatite C”.

O estudo foi realizado por meio da pesquisa em bancos de dados como *Scientific Electronic Libray Online* (SCIELO), Medical Literature Analysis and Retrievel System Online (MEDLINE), Biblioteca Virtual da Saúde (BVS) e Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS).

Foram utilizados artigos científicos, papers, teses, dissertações e livros e manuais. Para a pesquisa dos artigos foram utilizadas as palavras-chaves: Hepatite C, diagnóstico, terapia, Inovação Tecnológica. Para atender a esta pesquisa, foram selecionadas obras literárias e artigos em língua portuguesa e língua inglesa publicados entre 2020 e 2025, que tratem do tema proposto. Foram excluídas publicações com mais de cinco anos e aquelas que não apresentem dados relevantes para a investigação.

O levantamento de obras literárias publicadas, com destaque para as ideologias, ocorreu entre fevereiro e novembro de 2025. O estudo teve como objetivo analisar e compreender as perspectivas ideológicas presentes nos textos, o que contribuiu para a compreensão da diversidade de pensamentos e correntes na literatura.

Após a identificação das fontes pertinentes, torna-se essencial a análise do material para o artigo. O processo inclui a seleção criteriosa das ideias dos autores, a observação e a identificação do conteúdo relevante para o estudo. A etapa garante que apenas informações pertinentes integrem a descrição final.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PRINCIPAIS ASPECTOS SOBRE A HEPATITE C

A hepatite corresponde a um termo utilizado para designar inflamação do fígado, resultante de causas diversas, como uso de medicamentos, doenças autoimunes, condições metabólicas e genéticas, consumo de álcool, exposição a substâncias tóxicas e agentes infecciosos, incluindo fungos, bactérias e vírus. Entre as hepatites, a forma viral apresenta maior prevalência, ocasionada por agentes etiológicos distintos que compartilham o hepatotropismo (Freitas *et al.*, 2025).

Entre os vírus responsáveis pela ocorrência de hepatite, destacam-se os tipos A, B, C, D e E, associados a 90% dos casos registrados. No contexto brasileiro, as hepatites A, B e C apresentam maior incidência, cada uma possuindo características próprias relacionadas às formas de contaminação, evolução clínica, grau de virulência e possibilidades terapêuticas (Araújo Júnior *et al.*, 2021).

O agente etiológico da hepatite C corresponde a um vírus pertencente à família *Flaviviridae*, gênero *Hepacivirus*. Estruturalmente, apresenta diâmetro aproximado de 30 a 50 nm, revestimento lipídico e genoma de RNA de fita simples com polaridade positiva, constituído por cerca de 9.700 nucleotídeos. O material genético codifica uma poliproteína clivada em proteínas estruturais, responsáveis pela formação do vírus, e proteínas não estruturais, associadas ao processo de replicação viral (Frazão *et al.*, 2025).

A identificação do HCV ocorreu apenas em 1989, por meio de técnicas de biologia molecular. Até então, a hepatite C era denominada hepatite “não-A, não-B”, em virtude da ausência de resultados positivos para os testes destinados à detecção das hepatites A e B. A partir dessa descoberta, tornou-se possível o desenvolvimento de marcador sorológico específico para identificação, possibilitando avanços no conhecimento sobre a história natural da doença (Silva; Schinoni, 2022).

Atualmente, reconhece-se que os vírus da hepatite C apresentam como característica central a heterogeneidade genômica, fator responsável pela classificação em seis grupos principais de genótipos. Além disso, o agente etiológico demonstra mecanismo complexo de evasão do sistema imunológico, o que resulta em infecções de caráter crônico. A esse quadro somam-se limitações experimentais, uma vez que se trata de patógeno humano, sem disponibilidade de modelos animais para pesquisa, excetuando-se os chimpanzés, circunstância que restringe o avanço de estudos na área (Santos *et al.*, 2021).

A transmissão do vírus da hepatite C ocorre por via parenteral, com destaque para a exposição percutânea ao sangue contaminado. Após a entrada no organismo, as partículas virais alcançam a corrente sanguínea e se dirigem ao fígado, estabelecendo contato com os hepatócitos. As glicoproteínas localizadas no envelope viral exercem papel determinante no processo de penetração do agente etiológico nessas células (Nascimento *et al.*, 2024).

O reconhecimento e a ligação a receptores presentes na superfície dos hepatócitos possibilitam a internalização do vírus por meio de endocitose. Em seguida, ocorre a liberação do material genético viral no citoplasma celular. Por apresentar genoma de RNA de fita simples com polaridade positiva, a tradução do material genético inicia-se de forma direta pelos ribossomos celulares, resultando na síntese das proteínas virais, incluindo a RNA polimerase dependente de RNA, essencial ao início do processo replicativo. As proteínas associam-se às membranas do retículo endoplasmático, local onde a maquinaria de replicação promove a síntese de cópias do RNA viral, a partir de intermediários de RNA de fita simples com polaridade negativa (Ferronato *et al.*, 2021).

As cópias de RNA de fita simples com polaridade positiva desempenham dupla função, atuando como RNA mensageiro para a síntese de proteínas virais e como genoma do vírus da hepatite C. Após esse processo, ocorre a montagem das novas partículas virais no retículo endoplasmático, as quais são liberadas da célula por meio da via secretora (Rocha *et al.*, 2023).

O período de incubação do vírus apresenta variação ampla, oscilando entre 15 e 150 dias, com média de 50 dias. Cerca de oitenta por cento dos indivíduos infectados permanece assintomático na fase aguda. Quando há sintomas, estes costumam ser inespecíficos, incluindo anorexia, cefaleia, fadiga, mal-estar e desconforto abdominal. A icterícia manifesta-se em 20% e 30% dos casos agudos, de forma geralmente branda, enquanto a falência hiperaguda do fígado, conhecida como hepatite fulminante, ocorre raramente (Ferreira *et al.*, 2022).

3.2 DIAGNÓSTICOS CONVENCIONAIS DA HEPATITE C

A detecção da infecção costuma ocorrer de forma incidental, durante doação de sangue, exames clínicos de rotina ou investigação de outras condições médicas. A progressão da doença é lenta, podendo estender-se por anos ou décadas, até alcançar estágios avançados, com evolução para cirrose, desenvolvimento de icterícia, edema, ascite, varizes esofágicas, alterações hematológicas e carcinoma hepatocelular (Ferreira *et al.*, 2022).

A sorologia para anticorpos contra o vírus da hepatite C, conhecida como anti-HCV, indica contato prévio com o agente etiológico e pode estar presente tanto em indivíduos que alcançaram cura quanto naqueles com infecção crônica. A positividade persistente por mais de seis meses caracteriza infecção crônica na maioria dos casos (Ferreira *et al.*, 2022).

Os métodos de detecção e quantificação do RNA viral baseiam-se em reações de PCR em tempo real ou amplificações por transcrição, ambas dotadas de alta sensibilidade e especificidade, com resultados expressos em UI/mL. A presença do RNA viral confirma infecção ativa e constitui parâmetro relevante para avaliação da atividade da doença. Por outro lado, os níveis séricos de alanina aminotransferase podem permanecer normais ou apresentar oscilações, alternando períodos prolongados de normalidade com elevações transitórias, não configurando marcador confiável para avaliar a gravidade da infecção (Vilarinho *et al.*, 2023).

A elevada taxa de cronificação da hepatite C decorre da capacidade do vírus em sofrer mutações sob pressão exercida pelo sistema imunológico. Essas alterações explicam a ampla diversidade genética observada, originando variantes distintas do ponto de vista imunológico (Gomide *et al.*, 2021).

De acordo com Edeh *et al.* (2022), a aplicação de modelos de inteligência artificial, incluindo redes neurais artificiais, redes Bayesianas e algoritmos de aprendizado de máquina em conjunto (ensemble learning), possibilitou prever com maior precisão a progressão da hepatite C e identificar pacientes em risco de desenvolver fibrose avançada. O estudo utilizou dados clínicos, laboratoriais e demográficos, alcançando acurácia de até 95,59% quando diferentes técnicas foram combinadas. A integração tecnológica permitiu desenvolver sistemas de suporte à decisão clínica mais eficientes,

capazes de auxiliar médicos na estratificação de risco e no planejamento terapêutico para pacientes com hepatite C

Além dos exames sorológicos realizados em laboratórios, os testes rápidos contribuem para o diagnóstico ao detectar a presença de anticorpos anti-HCV. Os testes podem utilizar soro, plasma, sangue total obtido por punção digital ou fluido oral e apresentam alta sensibilidade e especificidade para a detecção do vírus (Frazão *et al.*, 2025).

3.3 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICADAS AO DIAGNÓSTICO DA HEPATITE C

Os avanços tecnológicos modificaram o diagnóstico da hepatite C, permitindo métodos rápidos, precisos e acessíveis. A incorporação de técnicas moleculares, plataformas de biologia automatizada e ferramentas de análise digital ampliou a capacidade de detecção precoce do vírus. Os recursos possibilitam a identificação de casos assintomáticos e a definição de estratégias terapêuticas adequadas. A integração entre inovação e saúde pública potencializa o controle epidemiológico e a redução de complicações relacionadas à infecção (Ribeiro *et al.*, 2024).

O teste rápido de RNA para hepatite C (*Point-of-Care RNA testing*) consiste em exame molecular realizado fora de laboratórios centrais, permitindo detecção da carga viral por meio de plataformas como GeneXpert. O procedimento utiliza amostras de sangue, com análise automatizada e resultado em poucas horas, reduzindo o tempo entre testagem e início do tratamento. A revisão com 45 estudos revelou que o método aumentou a taxa de início terapêutico para até 81% em modelos no mesmo local e dia, comparado a 53% em exames convencionais. Além disso, reduziu o intervalo entre testagem e tratamento para mediana de 19 dias, frente a 67 dias em métodos tradicionais, otimizando a linha de cuidado na hepatite C (Trickey *et al.*, 2023).

O teste rápido para anticorpos contra o vírus da hepatite C, denominado OraQuick HCV, foi avaliado em população com risco elevado de infecção, utilizando amostra de fluido oral para detecção de anticorpos anti-HCV. O procedimento baseou-se na coleta simples de material biológico, leitura visual entre 20 e 40 minutos e comparação com ensaio imunoenzimático convencional como referência. Os resultados indicaram sensibilidade de 94,6% e especificidade de 100%, porém com valor preditivo negativo reduzido em ambientes de alta prevalência, o que aponta a necessidade de testes complementares em casos negativos. A aplicação do método em contextos comunitários amplia o rastreamento e possibilita estratégias rápidas de diagnóstico e intervenção (Uusküla *et al.*, 2021).

O *Elecsys HCV Duo immunoassay*, classificado como teste combinado (DUO), possibilita a detecção simultânea de anticorpos anti-HCV e do antígeno central (HCVcAg) em uma única amostra, por meio de ensaio de eletroquimioluminescência automatizado. O método apresentou 100% de sensibilidade para anticorpos anti-HCV e 70,6% para HCVcAg em indivíduos com infecção ativa, enquanto a especificidade foi de 100% em amostras sem infecção. Apesar da alta precisão para

diagnóstico inicial, resultados anti-HCV positivos e HCVcAg negativos requerem confirmação por qRT-PCR para assegurar a presença de infecção ativa (Konokudom *et al.*, 2024).

O ensaio RT-LAMP implementado em dispositivo microfluídico de baixo custo foi desenvolvido para diagnóstico rápido da hepatite C, utilizando amplificação isotérmica mediada por loop e detecção por tiras de fluxo lateral. O método opera a 60–65 °C, produzindo resultado visual em até 30 min, sem necessidade de infraestrutura laboratorial complexa. No estudo duplo-cego com 100 amostras positivas e 100 negativas, o RT-LAMP apresentou sensibilidade de 96% e especificidade de 94%, atendendo aos critérios da OMS para testes no ponto de cuidado (Mcconnell *et al.*, 2021).

Na pesquisa de Zilouchian *et al.* (2025), com o uso do método de ensaio RT-LAMP relataram limite de detecção de 84 UI/mL, com sensibilidade diagnóstica de até 97% e especificidade de 100% em menos de 60 min, incluindo identificação de genótipos virais. O ensaio oferece baixo custo, rapidez e potencial para aplicação em ambientes com recursos limitados, viabilizando diagnóstico precoce e início imediato do tratamento

O teste com amostra de sangue seco (DBS) integrou o programa NSW DBS Pilot para diagnóstico da hepatite C, utilizando amostras obtidas por punção digital, enviadas ao laboratório e processadas para detecção de RNA do HCV. O método permitiu coleta domiciliar ou assistida em comunidades e unidades prisionais, ampliando o acesso de grupos vulneráveis. Entre 5.960 pessoas testadas, 15% tiveram RNA detectável e 45% iniciaram tratamento em até seis meses após o diagnóstico. A aplicação do DBS demonstrou viabilidade em larga escala, redução de barreiras de acesso e potencial de integração às estratégias nacionais de eliminação da hepatite C (Carrington *et al.*, 2024).

O teste de sangue seco (DBS) foi implementado em festivais comunitários no Canadá para rastreamento de HIV e hepatite C, utilizando coleta por punção digital e aplicação em cartões específicos, os quais foram secos, armazenados e posteriormente analisados em laboratório. O método demonstrou simplicidade, baixo custo e possibilidade de realização por voluntários sem formação em saúde, ampliando o acesso em contextos comunitários (Young *et al.*, 2022).

A aplicação do sequenciamento de nova geração (NGS) para identificar substituições associadas à resistência (RASs) em pacientes com hepatite C que não obtiveram êxito no tratamento com antivirais de ação direta (DAAs). O diagnóstico utilizou amostras de sangue destinadas à análise do RNA viral, com mapeamento genômico completo para detecção de mutações em genes como NS3, NS5A e NS5B. O método possibilitou verificar a ocorrência de RASs antes e após a falha terapêutica, evidenciando maior frequência em infecções causadas pelo genótipo 1b. Além disso, o retratamento com DAAs de amplo espectro, após a identificação das mutações, alcançou 100% de resposta virológica sustentada (SVR), demonstrando a utilidade do NGS na personalização terapêutica da hepatite C (Kim *et al.*, 2023).

Dessa maneira, o estudo de Christensen *et al.* (2022) avaliou o uso do sequenciamento de nova geração em genoma completo (FG-NGS) para genotipagem do vírus da hepatite C e detecção de mutações associadas à resistência a antivirais. Amostras analisadas pelo teste comercial LiPA foram sequenciadas, permitindo identificar genótipos, subtipos, infecções mistas e variantes recombinantes com maior precisão. O FG-NGS mostrou 97,1% de concordância para genótipos e 79,4% para subtipos, superando as limitações do LiPA na detecção de infecções complexas. Além disso, revelou mutações de resistência em genes como NS3, NS5A e NS5B, fornecendo informações relevantes para terapias personalizadas e prognóstico clínico.

3.4 AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO TRATAMENTO DA HEPATITE C

Os avanços tecnológicos no tratamento da Hepatite C transformaram o manejo clínico da doença, aumentando as taxas de cura e reduzindo complicações hepáticas. O desenvolvimento de antivirais de ação direta, terapias personalizadas e métodos diagnósticos mais precisos permitiu intervenções rápidas e eficazes. As inovações também reduziram efeitos adversos e ampliaram a adesão ao tratamento (Celestino *et al.*, 2024).

De acordo com o estudo de Dietz e Maasoumy (2022), os antivirais de ação direta (DAAs) revolucionaram o tratamento da hepatite C ao atuarem em proteínas específicas do vírus, como NS3/4A, NS5A e NS5B. Os fármacos bloqueiam etapas críticas do ciclo de replicação viral, promovendo taxas de resposta virológica sustentada superiores a 90%, inclusive em pacientes com falha terapêutica prévia. Entre os DAAs aprovados, destacam-se os inibidores de protease, inibidores de NS5A e inibidores da polimerase NS5B, que permitem esquemas terapêuticos livres de interferon, mais curtos e bem tolerados, com eficácia pangenotípica.

No estudo de Salama *et al.* (2022), as terapias combinadas com DAAs para o tratamento da Hepatite C possibilitaram taxas elevadas de resposta virológica sustentada, inclusive em pacientes com fibrose avançada e cirrose. As combinações atuam sobre diferentes alvos moleculares do vírus, como protease NS3/4A, proteína NS5A e polimerase NS5B, o que reduz a resistência viral e amplia a eficácia terapêutica. Ensaios clínicos demonstraram que regimes como Sofosbuvir/Velpatasvir/Voxilaprevir ou Glecaprevir/Pibrentasvir alcançaram taxas de cura superiores a 90%, mesmo em casos tratados sem sucesso, garantindo maior supressão viral e prevenção de complicações hepáticas.

Na pesquisa de Alqahtani *et al.* (2021), o transplante de fígado permanece como tratamento definitivo para pacientes com doença hepática terminal causada pelo vírus da hepatite C, em casos de cirrose descompensada ou carcinoma hepatocelular. O estudo analisou dados de 1009 pacientes transplantados na Arábia Saudita entre 2001 e 2019, revelando que, antes da introdução dos antivirais de ação direta, a hepatite C era a principal indicação para o transplante. Com a chegada dessas terapias,

verificou-se redução progressiva da necessidade do procedimento, mas ele continua fundamental em estágios avançados e em complicações irreversíveis.

Para Adje *et al.* (2022), o uso de plataformas digitais para o acompanhamento do tratamento da hepatite C, como diários eletrônicos, sistemas de monitoramento de eventos de medicação (MEMS®), embalagens inteligentes, caixas de comprimidos eletrônicas, terapias observadas por vídeo (vDOT), plataformas de inteligência artificial e sensores ingeríveis, permitiu avaliar com maior precisão a adesão ao uso dos DAAs. Os estudos relataram taxas de adesão acima de 90%, alcançando até 98% com vDOT, e alta resposta virológica sustentada (SVR), variando de 86% a 100%. As ferramentas tecnológicas reduziram a dependência de métodos tradicionais, como autorrelato e contagem de pílulas, que superestimavam a adesão, e possibilitaram intervenções em tempo real para melhorar os resultados terapêuticos.

Corroborando com estudo de Patel *et al.* (2021), a integração de plataformas digitais e tecnologias inovadoras, como telemedicina, sistemas de registro eletrônico, coordenação de cuidados e navegação de pacientes, ampliou o acesso ao tratamento da hepatite C em populações de difícil alcance. Modelos como o Project ECHO e o Check Hep C associaram testagem descentralizada, acompanhamento remoto e suporte especializado, resultando em taxas elevadas de adesão ao tratamento e resposta virológica sustentada. As intervenções também reduziram barreiras geográficas e institucionais, possibilitando monitoramento em tempo real e maior eficiência nos programas de eliminação do HCV.

De acordo com Shiha *et al.* (2021), a formulação oral de dose única denominada Catvira, composta por sofosbuvir, ribavirina e epigallocatequina-galato (EGCG), foi avaliada em pacientes com hepatite C crônica genótipo 4 em um ensaio clínico aberto, randomizado e controlado. Os resultados demonstraram que o regime de dose única apresentou eficácia semelhante ao tratamento padrão com sofosbuvir e ribavirina administrados separadamente, alcançando resposta virológica sustentada (SVR12) em até 90% dos pacientes após 12 semanas. Além disso, a nova formulação promoveu declínio mais rápido da carga viral e menor impacto sobre os níveis de hemoglobina, indicando potencial benefício em termos de segurança e tolerabilidade.

Na pesquisa de Hamill *et al.* (2023), os esquemas antivirais livres de interferon para o tratamento da hepatite C transformaram o manejo clínico ao alcançar taxas de resposta virológica sustentada superiores a 95%, com menor duração terapêutica e redução dos efeitos adversos. O estudo analisou dados de mais de 20 mil pacientes tratados entre 2014 e 2019 em três grandes coortes populacionais, identificando melhora nos desfechos clínicos e redução da mortalidade por causas hepáticas após a adoção dos regimes terapêuticos. A transição para terapias sem interferon ampliou o acesso ao tratamento e possibilitou a cura em pacientes anteriormente excluídos por intolerância ou contraindicações ao interferon.

Para Yamashita *et al.* (2025), a introdução das terapias antivirais de ação direta livres de interferon (DAAs) no Japão entre 2013 e 2022 reduziu a carga assistencial da hepatite C, com queda de 40% na prevalência de indivíduos em tratamento e redução de 69% na incidência anual de carcinoma hepatocelular. O estudo, baseado em dados nacionais de saúde, indicou que mais de 357 mil pacientes receberam DAAs, com taxas de resposta virológica sustentada superiores a 95% e redução nos custos hospitalares e nas complicações hepáticas relacionadas à doença.

No estudo desenvolvido por Adugna (2023), as vacinas terapêuticas experimentais para hepatite C incluem candidatos baseados em mRNA, DNA, partículas semelhantes a vírus (VLP), vetores virais recombinantes e vacinas de células T poliantigênicas. Essas estratégias buscam induzir respostas imunes celulares e humorais amplas e duradouras, capazes de gerar anticorpos neutralizantes e linfócitos T CD4+ e CD8+ específicos contra múltiplos antígenos do HCV. Ensaios clínicos têm avaliado combinações como DNA prime–boost e vetores MVA, demonstrando potencial para reduzir a carga viral e promover imunidade protetora.

Segundo Shawky *et al.* (2021), o uso de nanopartículas à base de quitosana e álcool polivinílico para veicular o sofosbuvir, antiviral utilizado no tratamento da hepatite C, aumentou a eficiência de liberação do fármaco e potencializou a ação nas células-alvo. O estudo demonstrou que as nanopartículas biopoliméricas permitiram maior taxa de encapsulamento, controle na liberação do princípio ativo e estabilidade química, resultando em melhor biodisponibilidade e eficácia terapêutica. Os achados indicaram que a nanotecnologia pode otimizar a entrega dos antivirais e ampliar a efetividade clínica no tratamento da doença.

Na pesquisa de Lu *et al.* (2024), a aplicação da inteligência artificial no tratamento da hepatite C utilizou modelos de aprendizado de máquina, como XGBoost e redes neurais artificiais, para prever falhas terapêuticas em pacientes submetidos a antivirais de ação direta. A análise incluiu dados de mais de 34 mil indivíduos, considerando variáveis clínicas, virológicas e laboratoriais para estratificação de risco. Os algoritmos alcançaram acurácia superior a 98%, permitindo identificar pacientes com maior probabilidade de não atingir resposta virológica sustentada. A tecnologia possibilitou intervenções mais direcionadas e potencializou a tomada de decisão clínica com base em previsões individualizadas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa possibilitou analisar que a hepatite C configura-se como enfermidade complexa, caracterizada por heterogeneidade genômica, formas variadas de transmissão e potencial de evolução crônica. A revisão dos aspectos conceituais mostrou que, desde a identificação do vírus em 1989, ocorreram avanços na compreensão da estrutura, nos mecanismos de replicação e na interação com o sistema imunológico.

A consolidação desse conhecimento possibilitou o desenvolvimento de métodos diagnósticos e terapias mais eficazes, além da formulação de estratégias de prevenção direcionadas a grupos de risco.

No campo diagnóstico, a pesquisa indicou que inovações tecnológicas transformaram a detecção da hepatite C, com redução do intervalo entre a testagem e o início do tratamento. Métodos como RT-LAMP, sequenciamento de nova geração e testes rápidos para anticorpos e RNA viral viabilizaram diagnósticos mais sensíveis, específicos e acessíveis em diferentes contextos populacionais.

A integração de plataformas digitais e ferramentas de inteligência artificial proporcionou maior precisão na estratificação de risco e no planejamento terapêutico, criando perspectivas para programas de saúde pública mais abrangentes e eficientes.

No que concerne ao tratamento, os avanços tecnológicos introduziram antivirais de ação direta, terapias combinadas e regimes livres de interferon, que resultaram em taxas superiores a 90% de resposta virológica sustentada, inclusive em pacientes com fibrose avançada ou falhas terapêuticas prévias. Estudos relataram a incorporação de formulações orais de dose única, plataformas digitais para monitoramento da adesão, vacinas terapêuticas em desenvolvimento e aplicação da nanotecnologia para otimização da entrega de fármacos, além do uso de algoritmos de inteligência artificial para personalização terapêutica. Os recursos aumentaram o acesso, reduziram efeitos adversos e aprimoraram o prognóstico clínico.

A integração entre avanços diagnósticos e terapêuticos constitui fator determinante para o controle da hepatite C, com impacto direto na redução da morbimortalidade relacionada à doença. A incorporação de tecnologias e estratégias personalizadas projeta cenário de maior efetividade no manejo clínico e possibilidade de eliminação da infecção como problema de saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ADJE, Y. H. et al. The use of technology-based adherence monitoring in the treatment of hepatitis C virus. *Therapeutic Advances in Infectious Disease*, v. 9, p. 1-20, 2022.
- ADUGNA, A. Therapeutic strategies and promising vaccine for hepatitis C virus infection. *Immunity, Inflammation and Disease*, v. 11, p. e977, 2023.
- ALQAHTANI, Saleh A. et al. Changing trends in liver transplantation indications in Saudi Arabia: from hepatitis C virus infection to nonalcoholic fatty liver disease. *BMC Gastroenterology*, v. 21, n. 245, p. 1-12, 2021.
- ARAÚJO JÚNIOR, José Raul Rocha de; SILVA, Ariane Araújo de Carvalho da; SOUZA, Simone Cristina Silva de. Mecanismo de ação e reações adversas dos antivirais preconizados para hepatite c no brasil. *Infarma-Ciências Farmacêuticas*, v. 33, n. 2, p. 149-157, 2021.
- BOTTO, Inês *et al.* Inovações Tecnológicas no Rastreo e Diagnóstico da Hepatite C: Revisão Focada de Literatura. *Medicina Interna*, v. 31, n. 2, p. 75-84, 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Boletim Epidemiológico: Hepatites Virais 2023. Número especial, julho de 2023. Departamento de HIV/Aids, Tuberculose, Hepatites Virais e Infecções Sexualmente Transmissíveis. Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/aids/pt-br/central-de-conteudo/boletins-epidemiologicos/2023/hepatites-virais/boletim-epidemiologico-hepatites-virais_-_2023.pdf/@@download/file. Acesso em: 27 fev. 2025.
- CARRINGTON, N. et al. Testing, diagnosis, and treatment following the implementation of a program to provide dried blood spot testing for HIV and hepatitis C infections: the NSW DBS Pilot. *BMC Infectious Diseases*, v. 24, n. 137, p. 1-12, 2024.
- CARVALHO, Larisse Alves *et al.* Exposição dos profissionais da saúde ao vírus da hepatite c no ambiente de trabalho. *Facit Business and Technology Journal*, v. 1, n. 45, 2023.
- CASTEJON, Márcia Jorge *et al.* Orientações técnicas para o diagnóstico rápido e laboratorial da infecção pelo HIV, Sífilis e Hepatites Virais. BEPA. Boletim Epidemiológico Paulista, v. 16, n. 181, 2019.
- CELESTINO, Priscila Lacerda Oliveira et al. Avanços recentes no tratamento da Hepatite Viral: eficácia das terapias antivirais e impacto na prevenção do câncer hepático. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 7, n. 5, p. e72525-e72525, 2024.
- CHRISTENSEN, K. T. et al. Full-genome next-generation sequencing of hepatitis C virus to assess the accuracy of genotyping by the commercial assay LiPA and the prevalence of resistance-associated substitutions in a Belgian cohort. *Journal of Clinical Virology*, v. 155, p. 105252, 2022.
- DIETZ, C.; MAASOUMY, B. Direct-Acting Antiviral Agents for Hepatitis C Virus Infection—From Drug Discovery to Successful Implementation in Clinical Practice. *Viruses*, v. 14, n. 6, p. 1325, 2022.
- DUARTE, Renata Feitosa *et al.* Estratégias de tecnologia farmacêutica aplicada ao tratamento das Hepatites Virais: Uma revisão. *ReTec-Revista Unificada Multidisciplinar*, v. 1, n. 2, 2022.
- EUROPEAN ASSOCIATION FOR THE STUDY OF THE LIVER. EASL Recommendations on Treatment of Hepatitis C. *Journal of Hepatology*, 2018, p. 1–51.
- FARINON, J. *et al.* Registro de pró-zona em teste de anti-hcv em triagem hemoterápica. *Hematology, Transfusion and Cell Therapy*, v. 46, p. S909, 2024.

- FERREIRA, Rafael et al. Expressão gênica e biomarcadores séricos para diagnóstico de carcinoma hepatocelular, cirrose e hepatite C. *Arq. gastroenterol*, p. 394-401, 2022.
- FERRONATTO, Guilherme Felipe et al. Caracterização clínica, geoprocessamento e perfil genotípico dos pacientes portadores de hepatite C admitidos na 20ª Regional de Saúde do Estado do Paraná. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, p. e49310515155-e49310515155, 2021.
- FRAZÃO, Roberta Freitas; KOGA, Rosemary de Carvalho Rocha; FECURY, Amanda Alves. Hepatite c em candidatos à doação de sangue: análise de inaptidão em um hemocentro da amazônia brasileira. *Aracê*, v. 7, n. 5, p. 23465-23481, 2025.
- FREITAS, Mayrelle Andreza *et al.* Hepatite c: novas perspectivas no tratamento e o papel da assistência farmacêutica. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2025.
- GOMIDE, Geisa Perez Medina et al. Diagnóstico precoce da hepatite C pela atenção primária à saúde. *Revista Família, Ciclos de Vida e Saúde no Contexto Social*, v. 1, p. 271-280, 2021.
- HAMILL, V. et al. Mortality rates among patients successfully treated for hepatitis C in the era of interferon-free antivirals: population based cohort study. *BMJ*, v. 382, p. e074001, 2023.
- HYPPOLITO, Elodie Bomfim. Hepatite C no Ceará: epidemiologia, morbimortalidade, tratamento e caminhos para eliminação. 2024. 147 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, 2024.
- KANOKUDOM, S. et al. Comparison of anti-HCV combined with HCVcAg (Elecsys HCV Duo immunoassay) and anti-HCV rapid test followed by HCV RNA analysis using qRT-PCR to identify active infection for treatment. *PLoS ONE*, v. 19, n. 11, p. 1-13, 2024.
- KIM, Kyung-Ah et al. Next-generation sequencing analysis of hepatitis C virus resistance-associated substitutions in direct-acting antiviral failure in South Korea. *Clinical and Molecular Hepatology*, v. 29, n. 2, p. 496-509, 2023.
- LEMONS, Mayra Braga; DA COSTA, Milene Rangel; DE ALMEIDA, Rosimary Terezinha. Acesso aos antivirais de ação direta Sofosbuvir, Simeprevir e Daclatasvir para o tratamento de Hepatite C Crônica no Sistema Único de Saúde. *Jornal de assistência farmacêutica e farmacoeconomia*, v. 4, n. s. 1, 2019.
- LU, M. Y. et al. Artificial intelligence predicts direct-acting antivirals failure among hepatitis C virus patients: A nationwide hepatitis C virus registry program. *Clinical and Molecular Hepatology*, v. 30, p. 64-79, 2024.
- MCCONNELL, W. et al. Paper microfluidic implementation of loop mediated isothermal amplification for early diagnosis of hepatitis C virus. *Nature Communications*, v. 12, n. 6994, p. 1-13, 2021.
- NASCIMENTO, Ana Carolina Brandão; DA SILVA, Ana Sara Vieira; DA SILVA SANTOS, Débora Aparecida. Fontes de infecção das Hepatites B e C durante a pandemia Covid-19 em um município no Sudeste Matogrossense. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 12, p. e8498-e8498, 2024.
- OLIVEIRA, Jerônimo de Conto. Estratégias de acompanhamento da terapia antiviral da hepatite C crônica por meio de ferramentas de telessaúde – ensaio clínico em saúde pública no Brasil. 2021. Tese (Doutorado em Gastroenterologia e Hepatologia) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. OMS alerta para aumento de mortes por hepatites, chegando a 3,5 mil por dia. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830206>. Acesso em: 06 mar. 2025.

- PATEL, A. A. et al. Innovations in hepatitis C screening and treatment. *Hepatology Communications*, v. 5, n. 3, p. 371-386, 2021.
- PEREIRA, Gleicy Luz Reinoso. Importância da elastografia hepática transitória por (FibroScan®) em prever risco de carcinoma hepatocelular em pacientes cirróticos por vírus da hepatite C. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.
- REIS, Beatriz Vinhaes *et al.* O impacto da hepatite c no sistema público de saúde brasileiro: revisão bibliográfica. *Revista Interdisciplinar das Ciências da Saúde*, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2024.
- RIBEIRO, Victoria Regia Ferreira et al. Estratégias de rastreamento e prevenção para hepatite B e C: recomendações clínicas e desafios. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 8, p. 3807-3815, 2024
- ROCHA, Jardel Oliveira et al. Efetividade de antivirais de ação direta no tratamento da coinfeção vírus da hepatite ce vírus da imunodeficiência humana. *Cadernos ESP*, v. 17, n. 1, p. e1346-e1346, 2023.
- RODRIGUES, GianCarlo *et al.* Os principais riscos das hepatites. *Revista Acadêmica Saúde e Educação*, v. 1, n. 2, 2023.
- SALAMA, I. I. et al. Impact of direct-acting antiviral regimens on hepatic and extrahepatic manifestations of hepatitis C virus infection. *World Journal of Hepatology*, v. 14, n. 6, p. 1053-1073, 2022.
- SANTOS, Júlia et al. Hepatites virais no brasil: análise epidemiológica das morbidades de notificação compulsória. *Vita et Sanitas*, v. 15, n. 2, p. 4-13, 2021
- SHAWKY, S.; EL-SHAFI, N. M.; EL-MEHASSEB, I. M.; SHOUER, K. R.; EL-KEMARY, M. A. Spectroscopic study of self-assembly of anti-hepatitis C virus sofosbuvir drug with bio-polymeric nanoparticles for improving the drug release effect. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 261, p. 120008, 2021.
- SHIHA, Gamal et al. Novel combined single dose anti-hepatitis C therapy: a pilot study. *Scientific Reports*, v. 11, n. 4623, p. 1-12, 2021.
- SILVA, Ingrid Laise Vivas; SCHINONI, Maria Isabel. Frequência de esteato-hepatite alcoólica em pacientes portadores do vírus de hepatite C. *Rev Ciências Médica e Biológicas*, v. 21, n. 3, p. 562-8, 2022.
- TRICKEY, A. et al. Impact of hepatitis C virus point-of-care RNA viral load testing compared with laboratory-based testing on uptake of RNA testing and treatment, and turnaround times: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, v. 8, p. 253-270, 2023.
- UUSKÜLA, A. et al. Rapid point-of-care (POC) testing for Hepatitis C antibodies in a very high prevalence setting: persons injecting drugs in Tallinn, Estonia. *Harm Reduction Journal*, v. 18, n. 39, p. 1-9, 2021.
- VILARINHO, Ulisses et al. Perfil da hepatite C em Goiás: epidemiologia, distribuição genotípica e carga viral. *Revista Científica Da Escola Estadual De Saúde Pública De Goiás" Cândido Santiago"*, v. 9, p. 1-18 9g6, 2023.
- YOUNG, J. et al. Implementing community-based Dried Blood Spot (DBS) testing for HIV and hepatitis C: a qualitative analysis of key facilitators and ongoing challenges. *BMC Public Health*, v. 22, n. 1085, p. 1-14, 2022
- ZILOUCHIAN, H. et al. Current and Future Diagnostics for Hepatitis C Virus Infection. *Chemosensors*, v. 13, n. 2, p. 31, 2025.