

NOVA FRONTEIRA DA ONCOLOGIA DE PRECISÃO: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, BIÓPSIA LÍQUIDA E BIOMARCADORES MOLECULARES NA DETECÇÃO PRECOCE DO CÂNCER, NA PERSONALIZAÇÃO TERAPÊUTICA E NO ENFRENTAMENTO DAS DESIGUALDADES EM SAÚDE

A NEW FRONTIER IN PRECISION ONCOLOGY: ARTIFICIAL INTELLIGENCE, LIQUID BIOPSY, AND MOLECULAR BIOMARKERS IN EARLY CANCER DETECTION, THERAPEUTIC PERSONALIZATION, AND ADDRESSING HEALTH INEQUALITIES

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.068-063>

Carmen Schafhauser

Direito (Bacharelado – UnC)

Mestranda em Desenvolvimento e Sociedade – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe – UNIARP,
Caçador, Santa Catarina, Brasil

E-mail: carmen@schafhauser.adv.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6158-2791>

Rosângela Ribeiro Morita

Mestranda em Desenvolvimento e Sociedade - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe - UNIARP,
Caçador, Santa Catarina, Brasil

E-mail: rosangela.moritta@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-98606382>

Eliana Rezende Adami

Pós-doutora em Ciências Farmacêuticas e em Bioética- Universidade Alto Vale do Rio do Peixe -
UNIARP, Caçador, Santa Catarina, Brasil

E-mail: elianaradami@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-0550>

Juliana Aparecida Kunierski Florz

Mestre em Desenvolvimento e Sociedade - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe - UNIARP, Caçador,
Santa Catarina, Brasil

E-mail: julianakunierski@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5040-6429>

Emanuel Tonis Florz

Bacharel em Sistemas de Informação

Mestrando em Desenvolvimento e Sociedade - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe - UNIARP,
Caçador, Santa Catarina, Brasil

E-mail: emanuel-tonis@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8497-8722>

Meire Aparecida de Oliveira

Enfermagem

Puc Minas Barreiro

Contagem - MG

E-mail: meireolivee@outlook.com

Resumo

A oncologia de precisão tem ampliado as possibilidades de diagnóstico, acompanhamento e tratamento do câncer ao integrar informações moleculares, tecnologias digitais e características individuais dos pacientes. Nesse cenário, a inteligência artificial, a biópsia líquida e os biomarcadores moleculares apresentam potencial para transformar a prática oncológica, favorecendo a identificação de alterações tumorais, a seleção de terapias direcionadas e o monitoramento da resposta ao tratamento. O presente estudo tem como objetivo analisar as contribuições dessas tecnologias para a detecção precoce do câncer e a personalização terapêutica, considerando seus desafios científicos, clínicos e socioeconômicos, especialmente aqueles relacionados às desigualdades no acesso aos serviços de saúde. Trata-se de uma revisão bibliográfica e documental, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-exploratório, fundamentada em publicações científicas e documentos institucionais sobre oncologia de precisão, diagnóstico molecular e inovação tecnológica. A análise da literatura indica que algoritmos de inteligência artificial podem auxiliar na interpretação de exames de imagem e dados genômicos, enquanto a biópsia líquida permite investigar componentes tumorais circulantes por procedimentos minimamente invasivos. Os biomarcadores moleculares, por sua vez, contribuem para identificar alterações associadas ao comportamento tumoral e à possibilidade de resposta a tratamentos específicos. Entretanto, a aplicação dessas ferramentas ainda enfrenta limitações relacionadas à validação clínica, à sensibilidade dos métodos, à padronização dos exames, à proteção de dados e aos custos de implementação. Além disso, diferenças na infraestrutura assistencial e na disponibilidade de testes especializados podem aprofundar desigualdades entre populações e regiões. Conclui-se que a integração dessas tecnologias representa uma perspectiva promissora para o avanço da oncologia, mas seus benefícios dependem de evidências clínicas consistentes, qualificação profissional e políticas públicas que promovam acesso equitativo à inovação.

Palavras-chave: Diagnóstico molecular; Inovação tecnológica; Medicina personalizada.

Abstract

Precision oncology has expanded opportunities for cancer diagnosis, monitoring, and treatment by integrating molecular information, digital technologies, and individual patient characteristics. In this context, artificial intelligence, liquid biopsy, and molecular biomarkers have the potential to transform oncology practice by supporting the identification of tumor alterations, the selection of targeted therapies, and the monitoring of treatment response. This study aims to analyze the contributions of these technologies to early cancer detection and therapeutic personalization, considering their scientific, clinical, and socioeconomic challenges, particularly those related to inequalities in access to healthcare services. This is

a bibliographic and documentary review with a qualitative, descriptive, and exploratory approach, based on scientific publications and institutional documents addressing precision oncology, molecular diagnosis, and technological innovation. The literature indicates that artificial intelligence algorithms may support the interpretation of medical images and genomic data, while liquid biopsy enables the investigation of circulating tumor components through minimally invasive procedures. Molecular biomarkers contribute to identifying alterations associated with tumor behavior and potential responses to specific treatments. However, the clinical application of these tools still faces limitations involving clinical validation, test sensitivity, methodological standardization, data protection, and implementation costs. Furthermore, differences in healthcare infrastructure and the availability of specialized testing may exacerbate inequalities across populations and regions. It is concluded that integrating these technologies represents a promising direction for oncology, but their benefits depend on robust clinical evidence, professional training, and public policies that promote equitable access to innovation.

Keywords: Molecular diagnosis; Personalized medicine; Technological innovation.

1 INTRODUÇÃO

O câncer permanece entre os principais desafios da saúde pública mundial, tanto pela magnitude de sua ocorrência quanto pelas dificuldades relacionadas ao diagnóstico oportuno, à escolha dos tratamentos e à continuidade da assistência. A complexidade da doença está associada à diversidade de alterações genéticas e moleculares que influenciam o crescimento tumoral, a progressão clínica e a resposta às intervenções terapêuticas. Segundo estimativas divulgadas pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer, foram registrados aproximadamente 20 milhões de novos casos e 9,7 milhões de mortes por câncer no mundo em 2022, evidenciando a necessidade de ampliar estratégias de prevenção, diagnóstico e tratamento (IARC, 2024).

Nas últimas décadas, os avanços da biologia molecular e das tecnologias de análise de dados contribuíram para modificar a compreensão do câncer. A identificação de alterações específicas nos tumores demonstrou que pacientes com diagnósticos histológicos semelhantes podem apresentar comportamentos clínicos distintos e responder de maneira diferente aos mesmos tratamentos. Essa constatação fortaleceu o desenvolvimento da oncologia de precisão, abordagem que procura integrar características moleculares do tumor, informações clínicas e evidências científicas para orientar decisões terapêuticas mais individualizadas.

A incorporação dessas informações à prática assistencial representa uma mudança importante em relação aos modelos tradicionalmente fundamentados, sobretudo, na localização anatômica e nas características histopatológicas da neoplasia. Entretanto, a medicina de precisão não substitui esses

critérios, mas os complementa. Tannock e Hickman (2016) destacam que, apesar das expectativas relacionadas à personalização dos tratamentos, os benefícios clínicos precisam ser demonstrados por investigações rigorosas, considerando a complexidade biológica dos tumores e as limitações das terapias direcionadas.

Entre as tecnologias que têm impulsionado esse campo, destaca-se a inteligência artificial, especialmente por sua capacidade de processar grandes volumes de informações provenientes de exames de imagem, análises histopatológicas, sequenciamento genético e registros clínicos. Algoritmos de aprendizado de máquina podem identificar padrões de difícil reconhecimento pela análise convencional e auxiliar profissionais na classificação de alterações suspeitas, na interpretação de resultados e na construção de modelos preditivos. Esteva et al. (2019) discutem o potencial do aprendizado profundo na medicina, incluindo aplicações em imagens médicas e dados genômicos, ressaltando a importância da integração dessas ferramentas aos processos de cuidado.

Na oncologia, essas aplicações despertam interesse pela possibilidade de contribuir para a identificação de lesões suspeitas, o reconhecimento de características tumorais e a estimativa de respostas terapêuticas. Contudo, o desempenho apresentado por sistemas computacionais em ambientes experimentais não garante resultados equivalentes na rotina assistencial. Diferenças entre populações, qualidade dos bancos de dados, características dos equipamentos e condições de atendimento podem comprometer a confiabilidade dos modelos. Por essa razão, a utilização clínica da inteligência artificial exige validação externa, acompanhamento contínuo e supervisão profissional, de modo que suas recomendações não sejam interpretadas como decisões autônomas e infalíveis.

Outra inovação relevante é a biópsia líquida, técnica que permite investigar componentes associados ao tumor em amostras biológicas, principalmente sanguíneas. Entre os materiais analisados, destacam-se o DNA tumoral circulante, as células tumorais circulantes e outras estruturas que podem fornecer informações sobre alterações moleculares presentes na neoplasia. Diferentemente da biópsia tecidual convencional, esse procedimento pode ser realizado de maneira menos invasiva e repetido ao longo do acompanhamento clínico, oferecendo possibilidades para monitorar a evolução tumoral e identificar determinados mecanismos de resistência ao tratamento.

Heitzer et al. (2019) explicam que a biópsia líquida apresenta perspectivas relevantes para a oncologia orientada por informações genômicas, especialmente diante das limitações da coleta de tecido tumoral e da heterogeneidade existente entre diferentes regiões de uma mesma neoplasia. A análise de componentes circulantes pode fornecer informações complementares sobre o comportamento da doença, embora sua utilidade dependa do tipo de câncer, do estágio clínico e da sensibilidade dos métodos empregados.

No campo da detecção precoce, a biópsia líquida também tem despertado interesse pela possibilidade de identificar sinais moleculares associados ao desenvolvimento tumoral antes do aparecimento de manifestações clínicas evidentes. Entretanto, essa aplicação ainda apresenta desafios importantes, como a baixa concentração de material tumoral em estágios iniciais, a ocorrência de resultados falso-positivos e a dificuldade de determinar a origem de determinadas alterações. Dessa forma, seu potencial para rastreamento populacional precisa ser diferenciado das aplicações já utilizadas em contextos clínicos específicos, evitando a interpretação de que esses exames possam substituir indiscriminadamente os métodos convencionais de diagnóstico.

Os biomarcadores moleculares constituem outro elemento central da oncologia de precisão. Essas características biológicas podem fornecer informações relacionadas ao diagnóstico, ao prognóstico e à probabilidade de resposta a determinados medicamentos. Alterações em genes como EGFR, BRAF e BRCA1/BRCA2, por exemplo, possuem relevância em contextos oncológicos específicos, contribuindo para a definição de estratégias de investigação e tratamento conforme o tipo tumoral e as indicações clínicas estabelecidas.

A utilização de biomarcadores permite reconhecer diferenças que não são necessariamente evidentes apenas pela avaliação morfológica do tumor. Entretanto, a presença de uma alteração molecular não significa, obrigatoriamente, que exista uma terapia eficaz ou disponível para aquele paciente. Tannock e Hickman (2016) alertam para a necessidade de distinguir a identificação de alvos biológicos da demonstração de benefícios clínicos concretos, uma vez que a resposta ao tratamento pode ser influenciada pela heterogeneidade tumoral, por mecanismos de resistência e por outras condições individuais.

Apesar dos avanços científicos, a incorporação dessas tecnologias aos sistemas de saúde ocorre de maneira desigual. O acesso a testes genômicos, laboratórios especializados, plataformas de análise computacional e medicamentos direcionados depende de investimentos financeiros, infraestrutura e disponibilidade de profissionais qualificados. Essas condições variam entre países, regiões e instituições, produzindo diferenças significativas nas oportunidades de diagnóstico e tratamento.

As desigualdades tornam-se particularmente preocupantes porque o diagnóstico tardio e a dificuldade de acesso à assistência especializada já representam obstáculos importantes para o enfrentamento do câncer. A Organização Mundial da Saúde (2024) evidencia que a carga da doença e as possibilidades de sobrevivência são influenciadas pelas condições socioeconômicas e pela disponibilidade de serviços de saúde. Nesse contexto, a incorporação de tecnologias de alto custo, quando não acompanhada de políticas de acesso, pode ampliar diferenças previamente existentes.

No Brasil, essa discussão adquire relevância diante das desigualdades regionais na distribuição de serviços especializados e da necessidade de assegurar assistência oncológica integral no Sistema Único de Saúde. A expansão da oncologia de precisão exige considerar não apenas a eficácia das ferramentas, mas

também a capacidade dos serviços de oferecer diagnóstico molecular, interpretar os resultados e garantir continuidade terapêutica. A disponibilização de um teste, isoladamente, possui alcance limitado quando o paciente não consegue acessar o tratamento indicado ou o acompanhamento necessário.

Diante desse cenário, a presente pesquisa delimita-se à análise das contribuições da inteligência artificial, da biópsia líquida e dos biomarcadores moleculares para a detecção precoce e a personalização terapêutica do câncer, considerando as limitações de sua aplicação clínica e as desigualdades que interferem no acesso a essas inovações. O estudo concentra-se nas possibilidades e nos desafios descritos pela literatura científica, sem pretender avaliar experimentalmente a eficácia de tecnologias específicas.

A questão que orienta a investigação é: de que maneira a integração da inteligência artificial, da biópsia líquida e dos biomarcadores moleculares pode contribuir para o diagnóstico e o tratamento personalizado do câncer, e quais desafios científicos, assistenciais e socioeconômicos precisam ser enfrentados para que esses avanços não aprofundem as desigualdades em saúde?

O objetivo geral consiste em analisar as contribuições dessas tecnologias para o desenvolvimento da oncologia de precisão, com ênfase na detecção precoce, na personalização terapêutica e na promoção do acesso equitativo aos recursos diagnósticos e assistenciais.

Como objetivos específicos, pretende-se compreender as principais aplicações da inteligência artificial na análise de informações oncológicas; discutir as possibilidades e limitações da biópsia líquida no diagnóstico e monitoramento tumoral; examinar a importância dos biomarcadores moleculares para a seleção de terapias direcionadas; identificar desafios relacionados à validação clínica, aos custos e à infraestrutura necessária; e refletir sobre estratégias que favoreçam a incorporação responsável dessas inovações aos sistemas de saúde.

A escolha do tema justifica-se pela crescente importância das tecnologias moleculares e computacionais na prática oncológica e pela necessidade de avaliar criticamente seus benefícios e limitações. Embora essas ferramentas ampliem as possibilidades de investigação e tratamento, sua implementação envolve questões que ultrapassam o desenvolvimento tecnológico, incluindo segurança do paciente, interpretação adequada dos resultados, proteção de informações sensíveis e sustentabilidade dos serviços de saúde.

A relevância científica do estudo está na articulação de três campos frequentemente discutidos de maneira separada: inteligência artificial, diagnóstico por biópsia líquida e identificação de biomarcadores moleculares. Ao reunir essas dimensões, a pesquisa procura compreender como sua integração pode contribuir para decisões clínicas mais fundamentadas, reconhecendo que a utilização combinada das tecnologias depende de evidências específicas e não constitui garantia de melhores desfechos em todos os casos.

Do ponto de vista social, a investigação também se justifica pela necessidade de discutir quem efetivamente se beneficia das inovações em saúde. A ampliação das possibilidades diagnósticas e terapêuticas não deve ser avaliada apenas pelo grau de sofisticação dos recursos disponíveis, mas também por sua capacidade de alcançar populações historicamente expostas a dificuldades de acesso à assistência especializada.

Assim, a discussão proposta parte do entendimento de que o futuro da oncologia de precisão depende tanto da qualidade das evidências científicas quanto da organização dos sistemas de saúde. Inteligência artificial, biópsia líquida e biomarcadores moleculares representam instrumentos relevantes para o aprimoramento do cuidado oncológico, mas sua contribuição será mais significativa quando estiver associada à validação clínica, à responsabilidade profissional e à construção de condições que permitam transformar inovação tecnológica em benefícios concretos para diferentes populações.

2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo adota uma abordagem qualitativa, de natureza bibliográfica e documental, com caráter descritivo-exploratório. A investigação busca compreender as contribuições da inteligência artificial, da biópsia líquida e dos biomarcadores moleculares para o avanço da oncologia de precisão, considerando suas aplicações no diagnóstico precoce, na personalização terapêutica e nos desafios relacionados às desigualdades em saúde. Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica possibilita examinar conhecimentos já produzidos, permitindo estabelecer relações entre diferentes perspectivas científicas. Minayo (2014), por sua vez, destaca a importância da abordagem qualitativa para compreender fenômenos complexos e suas relações com contextos sociais e institucionais.

2.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E DOCUMENTAL

O levantamento bibliográfico foi delineado a partir de publicações científicas disponíveis em bases como PubMed/MEDLINE, SciELO, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Google Acadêmico. Foram definidos descritores em português e inglês, incluindo “oncologia de precisão”, “inteligência artificial”, “biópsia líquida”, “biomarcadores moleculares”, “detecção precoce do câncer”, “precision oncology”, “liquid biopsy”, “molecular biomarkers” e “health inequalities”, combinados por operadores booleanos AND e OR.

A pesquisa documental contempla relatórios e publicações de organismos internacionais, especialmente da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), além de documentos institucionais relacionados à atenção oncológica e ao acesso às tecnologias em saúde.

2.3 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E AMOSTRA

Foram definidos como critérios de inclusão artigos científicos, revisões de literatura e documentos institucionais com autoria identificada, procedência verificável e relação direta com os objetivos da pesquisa. A seleção prioriza publicações que discutam aplicações clínicas, benefícios, limitações e desafios de implementação das tecnologias investigadas.

Como critérios de exclusão, consideram-se materiais duplicados, publicações sem fundamentação científica e estudos que não apresentem relação significativa com o problema investigado. A amostra é de natureza intencional, composta pelas fontes selecionadas conforme sua relevância temática, sem definição prévia de quantidade de estudos. Por se tratar de revisão bibliográfica e documental, não há recrutamento de pacientes nem coleta de dados clínicos primários.

2.4 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Para a organização das informações, propõe-se a utilização de uma matriz de análise contendo autoria, ano de publicação, objetivos, tecnologia investigada, aplicações clínicas, benefícios identificados, limitações e implicações para o acesso aos serviços de saúde.

A interpretação do material será orientada pela análise temática, fundamentada nos procedimentos de organização e categorização discutidos por Bardin (2016). A discussão será estruturada em quatro eixos: aplicações da inteligência artificial na oncologia; possibilidades e limitações da biópsia líquida; biomarcadores moleculares e personalização terapêutica; e desigualdades no acesso às inovações oncológicas.

A análise buscará estabelecer relações entre as evidências científicas e os desafios assistenciais, diferenciando tecnologias já incorporadas à prática clínica daquelas que ainda dependem de validação. Essa distinção é necessária para evitar interpretações que superestimem os benefícios das inovações ou desconsiderem suas limitações.

2.5 ASPECTOS ÉTICOS E LIMITAÇÕES

Por utilizar publicações científicas e documentos de acesso público, a pesquisa não envolve intervenção em seres humanos ou coleta direta de informações pessoais. Serão respeitados os princípios de integridade acadêmica, com identificação das fontes utilizadas e reconhecimento de suas contribuições.

Entre as limitações, destaca-se a ausência de avaliação clínica própria e de investigação de campo sobre o acesso às tecnologias. Assim, os resultados representam uma síntese interpretativa da literatura, não permitindo estabelecer estimativas originais de eficácia diagnóstica ou impacto terapêutico. Ainda assim, o

percurso metodológico oferece fundamentos para discutir criticamente o papel dessas inovações na oncologia contemporânea.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura científica evidencia que a oncologia de precisão vem modificando as possibilidades de investigação e tratamento do câncer, principalmente pela integração entre informações genômicas, recursos computacionais e métodos diagnósticos minimamente invasivos. A inteligência artificial, a biópsia líquida e os biomarcadores moleculares apresentam contribuições distintas, mas complementares, para a identificação de alterações tumorais e a definição de condutas terapêuticas. Entretanto, os benefícios dessas tecnologias variam conforme o tipo de câncer, o estágio da doença, a qualidade das evidências disponíveis e as condições de acesso aos serviços especializados.

3.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CÂNCER

A inteligência artificial tem ampliado as possibilidades de análise de exames de imagem, lâminas histopatológicas e informações genômicas. Sistemas de aprendizado profundo podem reconhecer padrões associados a alterações malignas, auxiliando na identificação de lesões suspeitas e na interpretação de dados complexos. Esteva et al. (2019) destacam que essas ferramentas apresentam aplicações promissoras em diferentes especialidades médicas, especialmente em atividades que envolvem reconhecimento de imagens e análise de grandes conjuntos de informações.

Na oncologia, uma das principais contribuições está na possibilidade de apoiar o trabalho de radiologistas e patologistas, reduzindo dificuldades relacionadas à interpretação de exames e favorecendo a identificação de características relevantes para o diagnóstico. Contudo, a utilização desses sistemas exige cautela, uma vez que o desempenho dos algoritmos depende da qualidade e da representatividade dos dados empregados em seu desenvolvimento.

A ausência de diversidade nos bancos de treinamento pode comprometer a precisão das ferramentas quando aplicadas a populações diferentes daquelas utilizadas nos estudos iniciais. Dessa forma, a inteligência artificial deve ser compreendida como instrumento complementar à avaliação profissional, e não como substituta da interpretação clínica.

3.2 BIÓPSIA LÍQUIDA E MONITORAMENTO MOLECULAR DO CÂNCER

A biópsia líquida representa uma alternativa complementar à investigação tumoral convencional, permitindo analisar componentes associados ao câncer presentes na circulação sanguínea. Entre suas principais aplicações estão a identificação de determinadas alterações moleculares, o acompanhamento da resposta terapêutica e a investigação de mecanismos de resistência aos medicamentos.

Heitzer et al. (2019) ressaltam que a análise do DNA tumoral circulante pode fornecer informações relevantes sobre a heterogeneidade das neoplasias e suas modificações ao longo do tratamento. Essa característica é particularmente importante porque o perfil molecular de um tumor pode sofrer alterações durante a evolução da doença.

Apesar dessas possibilidades, a aplicação da biópsia líquida na detecção precoce ainda enfrenta limitações. Em tumores iniciais, a quantidade de material tumoral liberado na circulação pode ser muito pequena, dificultando sua identificação. Além disso, resultados positivos precisam ser interpretados cuidadosamente, considerando possíveis interferências biológicas e a necessidade de confirmação diagnóstica.

Portanto, embora a biópsia líquida apresente potencial para ampliar o acompanhamento oncológico, sua utilização deve respeitar as indicações clínicas e as evidências disponíveis para cada situação.

3.3 BIOMARCADORES MOLECULARES E PERSONALIZAÇÃO TERAPÊUTICA

A identificação de biomarcadores moleculares constitui um dos fundamentos da oncologia de precisão, pois permite reconhecer características tumorais relacionadas ao prognóstico e à possibilidade de resposta a tratamentos específicos.

Alterações em genes como EGFR e BRAF, assim como determinadas características associadas aos genes BRCA1 e BRCA2, podem orientar decisões terapêuticas em contextos clínicos específicos. Entretanto, a utilidade desses marcadores depende da doença investigada, do tipo de alteração identificada e da existência de tratamentos com eficácia demonstrada.

Tannock e Hickman (2016) observam que a medicina de precisão apresenta oportunidades relevantes, mas também enfrenta dificuldades decorrentes da heterogeneidade tumoral e da complexidade dos mecanismos de resistência. A identificação de uma alteração genética não garante, isoladamente, que o paciente responderá ao medicamento selecionado.

Nesse sentido, a personalização terapêutica exige a integração entre resultados moleculares, avaliação clínica, características do paciente e evidências provenientes de estudos controlados. O avanço tecnológico deve ser acompanhado de critérios rigorosos para evitar tratamentos sem benefício comprovado ou custos desproporcionais aos resultados alcançados.

Tabela 1 – Contribuições e limitações das tecnologias na oncologia de precisão

Tecnologia	Principais contribuições	Limitações e desafios
Inteligência artificial	Apoio à análise de imagens, identificação de padrões e interpretação de dados clínicos e genômicos	Dependência da qualidade dos dados, vieses algorítmicos e necessidade de validação clínica
Biópsia líquida	Investigação de alterações tumorais circulantes e acompanhamento molecular da doença	Sensibilidade variável, limitações na detecção precoce e necessidade de confirmação em determinados contextos
Biomarcadores moleculares	Identificação de alvos terapêuticos e apoio à seleção de tratamentos específicos	Heterogeneidade tumoral, resistência terapêutica e disponibilidade desigual de testes e medicamentos

Fonte: Elaborado com base em Esteva et al. (2019), Heitzer et al. (2019) e Tannock e Hickman (2016).

A comparação demonstra que nenhuma dessas tecnologias, isoladamente, responde a todas as necessidades do cuidado oncológico. Seus benefícios dependem da utilização integrada e da adequação às características clínicas de cada paciente.

3.4 DESIGUALDADES EM SAÚDE E ACESSO À ONCOLOGIA DE PRECISÃO

Embora a oncologia de precisão represente um avanço científico, sua incorporação aos serviços de saúde apresenta desafios relacionados aos custos, à infraestrutura laboratorial, à qualificação profissional e à disponibilidade de tratamentos direcionados.

A Organização Mundial da Saúde (2024) destaca que as desigualdades no acesso ao diagnóstico e ao tratamento contribuem para diferenças importantes nos desfechos do câncer entre populações. Nesse contexto, a expansão de tecnologias especializadas pode ampliar disparidades quando seus benefícios permanecem concentrados em instituições com maior capacidade financeira e tecnológica.

No Brasil, a distribuição desigual dos serviços especializados representa um obstáculo à ampliação do acesso a testes moleculares e tratamentos personalizados. Pacientes residentes em regiões com menor disponibilidade de infraestrutura podem enfrentar dificuldades adicionais para realizar exames, obter avaliação especializada e iniciar terapias adequadas.

Outro aspecto relevante envolve a representatividade das populações nas pesquisas científicas. Quando determinados grupos estão pouco presentes nos estudos clínicos ou nos bancos de dados utilizados para desenvolver algoritmos, os resultados podem apresentar limitações de aplicabilidade. Esse problema reforça a importância de pesquisas que contemplem diferentes características populacionais e realidades assistenciais.

A redução dessas desigualdades exige planejamento público, avaliação de tecnologias em saúde, fortalecimento das redes de atenção oncológica e critérios transparentes para incorporação de novas ferramentas. Também é necessário considerar que a oferta de exames moleculares somente produz benefícios efetivos quando está articulada à possibilidade de tratamento e acompanhamento clínico.

De maneira geral, a literatura discutida indica que o avanço da oncologia de precisão depende de uma relação equilibrada entre inovação, evidência científica e equidade. A inteligência artificial, a biópsia líquida e os biomarcadores moleculares podem contribuir para decisões clínicas mais individualizadas, mas seus resultados não devem ser avaliados exclusivamente pelo desempenho tecnológico. A capacidade de transformar essas inovações em benefícios concretos para os pacientes depende igualmente da segurança, da efetividade clínica e das condições de acesso aos serviços de saúde.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar as contribuições da inteligência artificial, da biópsia líquida e dos biomarcadores moleculares para o avanço da oncologia de precisão, considerando suas aplicações na detecção precoce do câncer, na personalização terapêutica e nos desafios relacionados às desigualdades em saúde. A análise da literatura permitiu compreender que essas tecnologias representam avanços importantes na investigação e no acompanhamento das neoplasias, embora seus benefícios dependam das características da doença, da qualidade das evidências científicas e das condições de implementação nos serviços de saúde.

Os principais achados indicaram que a inteligência artificial pode contribuir para a interpretação de exames e informações moleculares, oferecendo suporte à identificação de padrões associados ao câncer. A biópsia líquida apresenta possibilidades relevantes para o monitoramento da evolução tumoral e a investigação de alterações genéticas, enquanto os biomarcadores moleculares auxiliam na seleção de tratamentos direcionados. Entretanto, essas aplicações apresentam limitações relacionadas à sensibilidade diagnóstica, à heterogeneidade dos tumores, à validação clínica e à possibilidade de resistência terapêutica.

A discussão também evidenciou que o desenvolvimento tecnológico, isoladamente, não garante melhores condições de cuidado. Os custos dos exames especializados, a necessidade de infraestrutura laboratorial, a disponibilidade de profissionais qualificados e o acesso aos medicamentos podem restringir os benefícios da oncologia de precisão a determinados grupos populacionais. Dessa forma, a incorporação dessas ferramentas precisa estar associada a estratégias que considerem a equidade e a organização dos sistemas de saúde.

A principal contribuição desta pesquisa consiste em reunir e discutir três importantes dimensões da inovação oncológica, destacando suas possibilidades de integração e os obstáculos que ainda dificultam sua aplicação ampla. Ao relacionar os avanços científicos às desigualdades assistenciais, o estudo reforça a necessidade de avaliar novas tecnologias não apenas por seu desempenho diagnóstico ou terapêutico, mas também por sua segurança, efetividade e capacidade de alcançar diferentes populações.

Como possibilidade para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos clínicos e avaliações de implementação que investiguem a efetividade dessas tecnologias em diferentes contextos assistenciais, especialmente nos serviços públicos de saúde. Também são relevantes investigações sobre custo-efetividade, representatividade populacional nos bancos de dados utilizados por sistemas de inteligência artificial e estratégias para ampliar o acesso a exames moleculares e tratamentos personalizados.

Conclui-se que a oncologia de precisão oferece perspectivas importantes para o enfrentamento do câncer, mas sua consolidação exige mais do que a incorporação de ferramentas tecnológicas. É necessário assegurar que os avanços científicos sejam acompanhados de validação clínica, responsabilidade profissional e políticas de saúde capazes de reduzir desigualdades. O verdadeiro alcance dessas inovações estará relacionado à possibilidade de transformar conhecimentos moleculares e recursos computacionais em cuidados seguros, efetivos e acessíveis à população.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

ESTEVA, Andre et al. A guide to deep learning in healthcare. **Nature Medicine**, v. 25, n. 1, p. 24-29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z>.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HEITZER, Ellen; HAQUE, Imran S.; ROBERTS, Charles E. S.; SPEICHER, Michael R. Current and future perspectives of liquid biopsies in genomics-driven oncology. **Nature Reviews Genetics**, v. 20, n. 2, p. 71-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41576-018-0071-5>.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. Lyon: **IARC**, 2024. Disponível em: <https://www.iarc.who.int/news-events/global-cancer-burden-growing-amidst-mounting-need-for-services/>. Acesso em: 13 out. 2026.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

SUNG, Hyuna et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, v. 71, n. 3, p. 209-249, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.

TANNOCK, Ian F.; HICKMAN, John A. Limits to personalized cancer medicine. **The New England Journal of Medicine**, v. 375, n. 13, p. 1289-1294, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMs1607705>.

WAN, Jonathan C. M. et al. Liquid biopsies come of age: towards implementation of circulating tumour DNA. **Nature Reviews Cancer**, v. 17, n. 4, p. 223-238, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrc.2017.7>.

NOVA FRONTEIRA DA ONCOLOGIA DE PRECISÃO: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, BIÓPSIA LÍQUIDA E BIOMARCADORES MOLECULARES NA DETECÇÃO PRECOCE DO CÂNCER, NA PERSONALIZAÇÃO TERAPÊUTICA E NO ENFRENTAMENTO DAS DESIGUALDADES EM SAÚDE

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. Geneva: **WHO**, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services>. Acesso em: 13 out. 2026.