

O FUTURO DO DIAGNÓSTICO ONCOLÓGICO: REVISÃO SOBRE TÉCNICAS AVANÇADAS EM PATOLOGIA.

THE FUTURE OF ONCOLOGY DIAGNOSIS: EXPLORING ADVANCED TECHNIQUES IN PATOLHOGY – A LITERATURE REVIEW.

Bianca Gomes Justino, Maria Fernanda Stéfani Melgaço

Centro Universitário da fundação de ensino Octávio Bastos (UNIFEOB), São João da Boa Vista-SP, Brasil

E-mail: bianca.justino@sou.unifeob.edu.br

RESUMO - O avanço das tecnologias nas áreas médicas tem impulsionado transformações significativas na área do diagnóstico oncológico, sobretudo na patologia. O objetivo desta pesquisa é analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, as principais técnicas avançadas utilizadas para o diagnóstico de doenças malignas. Foram selecionados artigos recentes em bases como PubMed, Google Acadêmico e SciELO, com foco em inovações como patologia digital, imuno-histoquímica, inteligência artificial e hibridização in situ fluorescente. Tais ferramentas ampliam a precisão diagnóstica, aceleram a detecção e orientam a escolha de terapias mais eficazes e personalizadas. Na prática clínica, esses avanços favorecem diagnósticos precoces e acurados, contribuindo para a qualidade de vida dos pacientes.

Palavras-chave: Imuno-histoquímica; patologia digital; inteligência artificial na medicina; hibridização in situ; sequenciamento genético.

ABSTRACT - Technological advancements in medical fields have driven significant transformations in oncology diagnosis, particularly in pathology. The objective of this research is to analyze, through a literature review, the main advanced techniques used to diagnose malignant diseases. Recent articles were selected from databases such as PubMed, Google Scholar, and SciELO, focusing on innovations such as digital pathology, immunohistochemistry, artificial intelligence, and fluorescent in situ hybridization. These tools increase diagnostic accuracy, accelerate detection, and guide the choice of more effective and personalized therapies. In clinical practice, these advances favor early and accurate diagnoses, contributing to better prognosis and quality of life for patients.

Keywords: Immunohistochemistry; digital pathology; artificial intelligence in medicine; in situ hybridization; genetic sequencing.

1. INTRODUÇÃO

O câncer permanece como uma das principais causas de mortalidade global, representando um desafio crescente para os sistemas de saúde. No Brasil, a estimativa para o triênio 2023-2025 aponta a ocorrência de aproximadamente 704 mil novos casos por ano [1]. Nesse contexto, a patologia oncológica deixou de ser apenas um campo voltado à análise morfológica dos tecidos e transformando-se em um eixo estratégico da medicina de precisão, impulsionada pelo desenvolvimento de novas tecnologias.

A patologia oncológica desempenha um papel crucial ao permitir identificação das alterações celulares e moleculares características de neoplasias. Os avanços da biotecnologia têm mostrados resultados significativos na área diagnóstica do câncer, incorporando novas metodologias capazes de ampliar o conhecimento e servir de base para terapias personalizadas. Por isso, a incorporação de novas tecnologias tem promovido uma mudança significativa nesse campo, proporcionando diagnósticos mais acurados e ampliando as possibilidades de tratamentos individualizados (Santos et al, 2023).

Segundo o estudo de Allais (Allais, 2023), um estudo recente relatou um panorama epidemiológico preocupante entre adolescentes e jovens adultos: o câncer de colo uterino representou 22,14 % dos casos, seguido por mama (13,15 %), testículo (9,36 %), colorretal (8,26 %), tireóide (5,44 %) e linfoma não-Hodgkin (4,85 %). Esses dados evidenciam a necessidade de aprimoramento nas estratégias diagnósticas e reforçam o valor da integração de técnicas avançadas na prática de patologia oncológica - como o uso da patologia digital, inteligência artificial e análises moleculares – para promover diagnósticos mais precoces e precisos e impactar positivamente o prognóstico nessa faixa etária.

Entre as ferramentas disponíveis na atualidade, a imuno-histoquímica (IHC) se destaca como uma técnica capaz de relevar a expressão de proteínas específicas em células tumorais. Essa abordagem fornece informações fundamentais para a classificação dos tumores, a identificação de biomarcadores e até a seleção de terapias direcionadas (Takahashi et al, 2021). Além de contribuir para diagnósticos mais precisos, a imunohistoquímica também fornece informações prognósticas e terapêuticas, reforçando sua relevância na prática clínica contemporânea. Em complemento, a hibridização in situ por fluorescência (FISH) se mostrou um grande avanço das técnicas moleculares pois, ao empregar sondas marcadas com

fluorocromos, possibilita a detecção de alterações cromossômicas específicas, como deleções, translocações e amplificações, que muitas vezes estão associadas ao desenvolvimento e à progressão de tumores (Neves et al, 2012).

Nos últimos anos, o sequenciamento de nova geração (NGS) abriu uma fronteira. Ao possibilitar a análise simultânea de múltiplos genes, o NGS forneceu um panorama detalhado do perfil molecular tumoral, viabilizando a identificação de mutações que orientam terapias personalizadas e possibilitam a identificação de mutações associadas à resistência ou à resposta a determinados tratamentos (Naito et al, 2021).

Outro método em ascensão é a inteligência artificial (IA), que vem remodelando a patologia digital. Análise automatizada de imagens histológicas e a interpretação de grandes bancos de dados permitem reduzir erros, otimizar o tempo de especialistas e aumentar a reprodutibilidade dos resultados. Mesmo utilizada como ferramenta auxiliar, a IA já assume papel estratégico no diagnóstico, ampliando as fronteiras do que é possível na prática laboratorial (Sakamoto et al, 2020).

Assim, a convergência entre IHC, FISH, NGS e IA aponta para um futuro promissor da patologia oncológica. A integração dessas técnicas não apenas fortalece o processo de diagnóstico, como também potencializa o desenvolvimento da medicina personalizada, impactando diretamente o prognóstico e a qualidade de vida dos pacientes. Essa pesquisa tem como objetivo revisar a literatura recente sobre esses métodos, discutindo avanços, desafios e perspectivas que moldam o futuro do diagnóstico oncológico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de revisão literária, de caráter descritivo e exploratório constituído a partir de dados de pesquisas científicas já existentes. A pesquisa se iniciou com busca em fontes de dados como a Scielo, Google Acadêmico, Pubmed, foi utilizado as seguintes palavras chaves: Imuno-histoquímica, patologia digital, inteligência artificial na medicina, hibridização in situ, sequenciamento genético e diagnóstico oncológico.

Foram selecionados um total de 47 artigos nos sites mencionados anteriormente, que foram utilizados para o desenvolvimento e aquisição de informações acerca do assunto. Durante esta busca de informações, foram utilizados artigos científicos que aprofundam sobre cada método mencionado.

O primeiro provedor utilizado foi o Google Acadêmico, no qual foram encontrados 28 artigos dos 47 utilizados na pesquisa, as palavras chaves utilizadas foram as mencionadas anteriormente, com adição das seguintes para afunilar mais a busca: patologia digital, sequenciamento de nova geração, medicina de precisão, imuno histoquímica, hibridização in situ fluorescente.

No provedor Pubmed, em que foram encontrados 17 dos 47 selecionados. Já nesse provedor foi utilizado somente três primeiras palavras chaves ditas anteriormente, porem elas foram traduzidas para o inglês para facilitar a busca.

Para finalizar a busca foi utilizado o Scielo, no qual foram selecionados 2 artigos dos 47 utilizados na pesquisa, utilizando das palavras chaves citadas anteriormente

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando uma base de 47 artigos publicados entre 2015 e 2025, selecionados a partir das bases PubMed, Google Acadêmico e SciELO, conforme os critérios de inclusão estabelecidos. A análise evidenciou uma diversidade de técnicas avançadas em patologia aplicadas ao diagnóstico oncológico. Entre elas, destacam-se a IHC, a FISH, o NGS e o uso de IA na análise de lâmina digitais. Há uma tendência de integração entre métodos tradicionais e abordagens inovadores, refletindo um movimento de modernização da patologia oncológica e ampliando as possibilidades diagnósticas na prática clínica.

Nesta revisão, observou-se que as principais técnicas avançadas em patologia oncológica incluem a IHC, a FISH, o NGS e o uso da IA associada à patologia digital. Essas metodologias vêm se consolidando como ferramentas complementares aos métodos clássicos, permitindo diagnósticos mais precisos, rápidos e integrados, o que reflete diretamente na qualidade do cuidado oncológico.

Na IHC destaca-se por possibilitar a quantificação objetiva da expressão de marcadores tumorais. Tradicionalmente, a interpretação manual estava sujeita à variabilidade entre observadores; entretanto com a digitalização de lâmina e análise por softwares, há maior padronização e reprodutibilidade (Crescenzi e Baloch, 2023). Estudos recentes mostram sua aplicação no câncer de mama, especialmente na avaliação de receptores hormonais e marcadores proliferativos. (González et al, 2023).

A FISH mantém papel relevante na detecção de alterações cromossômicas e rearranjos gênicos específicos. Seu uso é bem consolidado na identificação de HER2 em câncer de mama (Brüggmann et al, 2011). A técnica, embora altamente específica e sensível, exige etapas laboratoriais complexas, como preparação rigorosa das lâminas e uso de sondas fluorescentes desenhadas para cada alvo genérico.

O NGS representa um avanço significativo na patologia molecular. Essa tecnologia permite a análise simultânea de múltiplos genes associados ao câncer, favorecendo o diagnóstico integrado a escolhas de terapias alvo (Kamps et al, 2015). Na prática clínica, o NGS tem sido aplicado principalmente em tumores sólidos, como pulmão, o cólon e mama, ampliando o acesso à medicina de precisão. Entretanto, seu alto custo, a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada e a interpretação complexa dos resultados ainda são obstáculos para a sua utilização rotineira em larga escala.

Por fim, a IA aplicada à patologia digital surge como uma ferramenta promissora na modernização da análise histopatológica. Modelos de aprendizado em máquina tem sido capaz de identificar padrões morfológicos e até prever prognóstico com base em lâmina digitalizada. Isso contribui para maior agilidade no diagnóstico e redução do erro humano (Vedana et al, 2024). No entanto, a IA ainda enfrenta desafios relacionados à validação clínica, dependência de grandes bases de dados de qualidade e questões éticas quanto ao uso e armazenamento de informações.

De forma geral, a literatura aponta que o futuro do diagnóstico oncológico caminha para a integração entre métodos tradicionais e novas tecnologias. A combinação de IHC, FISH, NGS e IA poderá oferecer diagnósticos cada vez mais personalizados e direcionados, aproximando a prática clínica dos princípios da medicina de precisão. Contudo, barreiras como custo, padronização e desigualdade de acesso ainda precisam ser superadas para que esses avanços beneficiem de forma equitativa os pacientes oncológicos.

4. CONCLUSÃO

Esta revisão evidenciou que a incorporação de técnicas avançadas, como IHC, a FISH, o NGS e a IA aplicada à patologia digital, representa um avanço significativo no diagnóstico oncológico. Esses métodos, ao complementarem as práticas tradicionais, ampliam a precisão, reduzem a variabilidade e favorecem a personalização terapêutica. Contudo, permanecem

desafios relacionados ao custo, à necessidade de padronização e ao acesso desigual a essas tecnologias. Assim, os achados indicam que o futuro diagnóstico em patologia oncológica caminha para a integração de abordagens clássicas e inovadoras, em direção a uma prática cada vez mais moderna e alinhada aos princípios da medicina de precisão.

5. Referências

Allais MPB, Dutari P, Llanos RB, Ferreira G, Nicolas G, Musso V. Distribución de la patología oncológica en pacientes adolescentes y adultos jóvenes en la provincia de Córdoba, Argentina. *Oncología Clínica* [Internet]. 2023 Sep 18;28(2). Disponível em: <https://oncologiaclinica.aaoc.org.ar/index.php/oncologiaclinica/article/view/144>

Brüggemann A, Lelkaitis G, Nielsen S, Jensen KG, Jensen V. Testing HER2 in Breast Cancer. *Applied Immunohistochemistry & Molecular Morphology*. 2011 May;19(3):203–11. Disponível em: https://journals.lww.com/appliedimmunohist/abstract/2011/05000/testing_her2_in_breast_cancer__a_comparative_study.2.aspx

Crescenzi A, Baloch ZW. Immunohistochemistry in the pathologic diagnosis and management of thyroid neoplasms. *Endocrine Pathology*. 2023 May 31;14. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37324272/>

González MM, Paola D, Liliana S. Prevalence of Two Variants of BRCA2 in Women with Breast Cancer of the Hospital Día Oncológico, Encarnación, Paraguay, 2023: a Pilot Study. *Revista Brasileira de Cancerologia* [Internet]. 2025 [citado 2025 Sep 14];71:e-184962. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcan/a/x6mQHtb63XXG7bLSph4JVfc/?lang=e>

Kamps R, Brandão RD, Bosch BJ van den, Paulussen ADC, Xanthoulea S, Blok MJ, et al. Next-Generation Sequencing in Oncology: Genetic Diagnosis, Risk Prediction and Cancer Classification. *International Journal of Molecular Sciences* [Internet]. 2017;18(2):308. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28146134/>

Naito Y, Aburatani H, Amano T, Baba E, Furukawa T, Hayashida T, et al. Clinical practice guidance for next-generation sequencing in cancer diagnosis and treatment (edition 2.1). *International Journal of Clinical Oncology* [Internet]. 2021;26(2):233–83. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7819967/>

Neves SMN, Guedes RMC. Hibridização in situ fluorescente: princípios básicos e perspectivas para o diagnóstico de doenças infecciosas em medicina veterinária. *Arquivos do Instituto Biológico* [Internet]. 2012 Dec;79(4):627–32. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aib/v79n4/a23v79n4.pdf>

Sakamoto T, Furukawa T, Lami K, Pham HHN, Uegami W, Kuroda K, et al. A narrative review of digital pathology and artificial intelligence: focusing on lung cancer. *Translational Lung*

Cancer Research. 2020 Oct;9(5):2255–76. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33209648/>

Santos M de O, Lima FC da S de, Martins LFL, Oliveira JFP, Almeida LM de, Cancela M de C. Estimativa de Incidência de Câncer no Brasil, 2023-2025. *Revista Brasileira de Cancerologia* [Internet]. 2023 Feb 6;69(1). Disponível em: <https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/3700/2644>

Takahashi Y, Dungubat E, Kusano H, Ganbat D, Tomita Y, Odgerel S, et al. Application of Immunohistochemistry in the Pathological Diagnosis of Liver Tumors. *International Journal of Molecular Sciences* [Internet]. 2021 May 28;22(11):5780. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/11/5780/pdf>

Vedana AB, Benevides AB, Paula A, Moreira GA, Martins R, Souza R, et al. Inteligência Artificial na Medicina Diagnóstica. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences* [Internet]. 2024 Nov 7;6(11):765–94. Disponível em: <https://bjihs.emnuvens.com.br/bjihs/article/view/4235>