

Uso do antígeno carcinoembrionário na detecção precoce de recidivas do câncer colorretal na região Norte do Brasil com uso de biossensores

Izabele Santos de Souza; Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO);
izabelesantos09@outlook.com;

Zaine Marena Barbosa da Silva Noronha; Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO);

Camila Santos da Silva; Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO);

Letícia da Costa Martins; Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO);

Jhemerson Fernandes Paes; Programa de Pós-graduação em Imunologia Básica e Aplicada (PPGIBA-UFAM); Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO);

1. Introdução

Na última década, os avanços tecnológicos permitiram uma rápida avaliação de dados com uso da inteligência artificial, desenvolvida através de estudos científicos aplicados ao diagnóstico e tratamento de diversos tipos de neoplasias. O câncer colorretal (CCR) é uma das neoplasias mais incidentes no Brasil e representa um grave problema de saúde pública^(1,2). Segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o número de novos casos no triênio de 2023-2025 é de 45.630 novos casos por ano no Brasil, sendo o quarto tipo de câncer mais incidente entre homens e o terceiro entre as mulheres⁽³⁾. Na região Norte, esses dados são ainda mais alarmantes, pois o CCR ocupa o terceiro lugar na classificação de câncer com maior incidência, devido a dispersão populacional, maus hábitos de alimentação, escassez de profissionais de saúde especializados e limitações na comunicação e infraestrutura de transporte que dificultam o acesso a saúde⁽²⁾.

Diante desse cenário, o monitoramento eficaz do CCR torna-se fundamental para a melhoria dos avanços clínicos, sendo de grande utilidade o emprego de ferramentas alternativas nesse processo. O antígeno carcinoembrionário (CEA), por exemplo, é um marcador sérico amplamente utilizado no acompanhamento pós-tratamento do CCR. Trata-se de uma proteína produzida em quantidades insignificantes em adultos saudáveis, mas que pode estar elevada em condições malignas, principalmente em tumores no trato gastrointestinal, ovário, tireoide e mama ^(4,5). Embora o CEA não seja específico para o diagnóstico inicial do CCR, é um marcador importante na detecção precoce de recidivas e metástases após tratamento cirúrgico e quimioterápico ⁽⁶⁾. Mas, é preciso considerar suas limitações, como a possibilidade de falsos positivos e falsos negativos, que reforçam a necessidade de associação com exames complementares, como colonoscopia e exames de imagem para acompanhamento mais seguro e eficaz ⁽⁴⁾.

Estudos do INCA indicam que a dosagem do CEA se destaca pela sua relevância em termos de sustentabilidade e equidade, especialmente em regiões com infraestrutura limitada, pois, apresenta custo muito menor em comparação com outros exames ^(4,7). Essa relação custo-benefício faz dele uma ferramenta estratégica na otimização de recursos no sistema de saúde, promovendo a sustentabilidade do acompanhamento oncológico regional.

As inúmeras inovações tecnológicas prometem ampliar ainda mais o potencial desse marcador no diagnóstico precoce de CCR. Pesquisas recentes têm desenvolvido biossensores baseados em grafeno para a dosagem de CEA no sangue e na urina. Esses métodos são mais sensíveis, menos invasivos e de baixo custo e favorecem o diagnóstico precoce e acessível, especialmente em regiões menos atendidas ⁽⁸⁻¹⁰⁾. O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), junto aos pesquisadores e médicos do Instituto Mário Penna (IMP), tem desenvolvido estudos a respeito do uso de biossensores de grafeno altamente

sensíveis para detecção de baixos níveis de CEA. Diferente da técnica de dosagem imunoenzimática atual, ELISA, que não consegue detectar as variações do CEA desde suas primeiras alterações ⁽¹¹⁾.

Dessa forma, o uso estratégico do CEA, aliado a novas tecnologias, pode promover a sustentabilidade e otimização dos recursos para ampliar o acesso ao acompanhamento oncológico. Este trabalho de revisão integrativa busca analisar o papel do CEA na detecção precoce do câncer colorretal na região Norte do Brasil, destacando suas vantagens, limitações e o impacto das inovações tecnológicas para fortalecer o diagnóstico e o tratamento oncológico regional.

2. Material e Métodos

A busca foi realizada nas bases de dados eletrônicos PubMed, Google Acadêmico e SciELO, abrangendo artigos publicados entre janeiro de 2008 e agosto de 2023 em português, inglês ou espanhol. Foram utilizados os seguintes descritores e seus correspondentes em inglês: "antígeno carcinoembrionário (CEA)", "câncer colorretal", "inteligência artificial", "região Norte", "sustentabilidade", "diagnóstico oncológico". Foram incluídos artigos originais, revisões sistemáticas e estudos clínicos que abordaram o uso do CEA no monitoramento do câncer colorretal, com foco em tecnologias associadas à inteligência artificial (IA) e aspectos de sustentabilidade, especialmente em contextos relacionados à região Norte do Brasil. Foram excluídos artigos que não abordassem diretamente o tema, relatos de casos isolados, editoriais e publicações sem acesso ao texto completo.

A seleção dos artigos foi realizada em duas etapas: inicialmente, a leitura dos títulos e resumos para identificação dos estudos potencialmente elegíveis; em seguida, a leitura completa dos textos selecionados para confirmação da inclusão. Os dados extraídos incluíram informações sobre o uso do CEA, aplicação de IA, aspectos de sustentabilidade, região geográfica do estudo e principais achados relacionados ao diagnóstico precoce do câncer colorretal. Os dados coletados foram organizados e analisados de forma qualitativa, buscando identificar tendências, lacunas e avanços tecnológicos no uso do CEA para o monitoramento do câncer colorretal, com ênfase na sustentabilidade e equidade no acesso ao diagnóstico na região Norte do Brasil.

3. Resultados e Discussão

A análise dos estudos revelou evidências robustas em múltiplas frentes do manejo do câncer colorretal (CCR), desde o rastreamento populacional até inovações tecnológicas para diagnóstico e monitoramento. Segundo Nicholson e colaboradores, o rastreamento organizado reduz significativamente a mortalidade, principalmente quando implementado por meio de exames como o teste de sangue oculto nas fezes (TSOF) e colonoscopia^(4,12). Contudo, dados nacionais indicam baixa cobertura e adesão, além de desigualdade no acesso aos programas de rastreamento, limitando seu impacto em países em desenvolvimento como o Brasil, especialmente na região Norte^(3,13).

Apesar dos avanços no rastreamento e diagnóstico precoce do CCR, a detecção e o acompanhamento eficaz da doença após o tratamento continuam sendo desafios cruciais para a melhoria dos estágios clínicos. Nesse contexto, o antígeno carcinoembrionário (CEA) surge como um marcador importante no monitoramento pós-tratamento, permitindo a identificação precoce de recidivas e auxiliando na tomada de decisões terapêuticas, o que complementa as estratégias iniciais de rastreamento e diagnóstico.

O CEA mantém utilidade clínica significativa no monitoramento pós-tratamento e prognóstico do CCR. Níveis superiores a 10 µg/L estão associados a risco elevado de recidiva, enquanto valores acima de 20 µg/L geralmente indicam doença metastática. O uso seriado do CEA permite antecipar a detecção de recidivas em até cinco meses antes da confirmação por exames de imagem, com sensibilidade e especificidade de 80% e 70%, respectivamente ⁽⁷⁾. Além disso, estudos também apontam que combinações terapêuticas envolvendo quimioterapia intensificada e agentes biológicos resultam em maior sobrevida global, porém com incremento na toxicidade e maior incidência de efeitos adversos graves, afetando diretamente a qualidade de vida dos pacientes ⁽⁵⁾.

3.1 Inovações tecnológicas em biossensores

Iniciativas pioneiras no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em parceria com pesquisadores e médicos do Instituto Mário Penna (IMP) no Instituto de Minas Gerais, desenvolveram biossensores baseados em grafeno para dosagem de CEA na urina e no sangue. Esses métodos são mais sensíveis, menos invasivos e de baixo custo, favorecendo o diagnóstico precoce e acessível em regiões menos atendidas ⁽¹²⁾. Os avanços na criação de biossensores eletroquímicos com nanomateriais demonstram grande potencial para o acompanhamento do CCR.

Plataformas que utilizam grafeno-óxido (GO) combinadas com dendrímeros PPI alcançaram limite de detecção (LOD) de 0,3 pg/mL com elevada precisão analítica ⁽⁹⁾. Já os sensores construídos com grafeno-óxido, tionina e cistosana apresentaram sensibilidade comparável a métodos clássicos como ELISA, com LOD de 0,8 pg/mL. Aptassensores com quantum dots de grafeno atingiram níveis extraordinariamente baixos de detecção, na ordem de 3,2 fg/mL ^(10,11). Além disso, nanotubos de carbono em estruturas 3D permitem a detecção simultânea de múltiplos biomarcadores (CEA, CRP, CA125) em arranjos integrados promissores para testes de ponto de atenção (POCT). Essas inovações tecnológicas são fundamentais para oferecer diagnósticos acessíveis, rápidos e confiáveis em áreas remotas, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e equidade na oncologia.

3.2 Desafios regionais e políticas públicas

Os achados confirmaram uma tendência consolidada rumo à precisão na detecção precoce de recidivas do CCR e do acompanhamento pós-cirúrgico através de uso do CEA, com ênfase crescente na integração entre tecnologias emergentes e estratégias clínicas clássicas.

Apesar dos avanços tecnológicos, a baixa adesão e a desigualdade regional nos programas de rastreamento limitam a efetividade das políticas preventivas. A ausência de uma política pública nacional estruturada dificulta a detecção precoce e o tratamento oportuno, agravando os cenários em regiões remotas, como a região Norte ^(3,12). Embora o CEA não seja recomendado para rastreamento, ele permanece como ferramenta valiosa no monitoramento pós-operatório, especialmente quando associado a exames de imagem para detecção precoce de recidivas ⁽⁷⁾.

Por fim, os ganhos em sobrevida proporcionados por terapias combinadas devem ser ponderados em equilíbrio com a toxicidade gerada pela implantação de novas tecnologias de tratamento e diagnóstico, a fim de preservar a qualidade de vida dos pacientes oncológicos ⁽⁵⁾. As inovações em biossensores baseados em grafeno e nanomateriais oferecem uma oportunidade para ampliar o acesso a diagnósticos sensíveis, rápidos e minimamente invasivos, especialmente em regiões remotas e com infraestrutura limitada. Essas tecnologias alinham-se aos princípios de sustentabilidade e equidade, podendo transformar o panorama do diagnóstico e monitoramento do CCR na região Norte do Brasil.

4. Conclusões

Esta revisão reafirma o câncer colorretal (CCR) como um problema de saúde pública no Brasil, especialmente na região Norte, onde desafios geográficos e estruturais dificultam o diagnóstico precoce. O antígeno carcinoembrionário (CEA) é um marcador valioso para o monitoramento pós-tratamento, destacando-se pela acessibilidade e custo-benefício. A incorporação de tecnologias inovadoras como biossensores à base de grafeno têm potencial para aprimorar a detecção precoce e reduzir desigualdades regionais.

Diferentemente do Instituto Mário Penna, que conduz pesquisas promissoras no desenvolvimento de plataformas de grafeno para detecção altamente sensível do CEA, a região Norte carece de iniciativas de incentivo a pesquisa, infraestrutura laboratorial e financiamento em inovação tecnológica para o desenvolvimento desses testes. Esse contraste evidencia a urgência na criação de políticas públicas e investimentos estratégicos que promovam a transferência de tecnologia e a implementação dessas soluções em áreas de difícil acesso. Tal avanço teria impacto expressivo na redução das desigualdades regionais, promovendo maior equidade diagnóstica e fortalecendo a sustentabilidade do sistema de saúde no enfrentamento do CCR.

Assim, conclui-se que a integração entre marcadores consolidados, como o CEA, e inovações tecnológicas emergentes representam uma estratégia essencial para otimizar o diagnóstico precoce e o acompanhamento clínico do câncer colorretal no Brasil. Além disso, a efetiva implementação de políticas públicas que incentivem a equidade regional e a sustentabilidade em saúde mostra-se fundamental para ampliar o acesso às tecnologias diagnósticas e reduzir as disparidades históricas entre as diferentes regiões do país. Nesse contexto, a adoção dessas medidas não apenas favorece avanços científicos e clínicos, mas também contribui para a promoção da justiça social, para o fortalecimento do Sistema Único de Saúde (SUS) e para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes oncológicos, de acordo com os princípios da equidade e da integralidade preconizados pelo sistema de saúde brasileiro.

Palavras-Chave: antígeno carcinoembrionário; câncer colorretal; inteligência artificial; diagnóstico oncológico.

Divulgação

O (s) autor (es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, o Congresso Pan-Amazônico de Oncologia detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação deste resumo, por meio eletrônico.

5. Referências

1. Shimizu H, Nakayama KI. Artificial intelligence in oncology. *Cancer Sci*. 2020;111(5):1452–60.
2. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). 2023 [citado 28 de agosto de 2025]. Câncer de cólon e reto. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/numeros/estimativa/sintese-de-resultados-e-comentarios/cancer-de-colon-e-reto>

3. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). Instituto Nacional de Câncer - INCA. 2023 [citado 28 de agosto de 2025]. INCA prevê aumento da mortalidade prematura por câncer de intestino até 2030. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/noticias/2023/inca-preve-aumento-da-mortalidade-prematura-por-cancer-de-intestino-ate-2030>
4. Nicholson BD, Shinkins B, Pathiraja I, Roberts NW, James TJ, Mallett S, et al. Níveis sanguíneos de CEA para detecção de recorrência do câncer colorretal - Nicholson, BD - 2015 | Cochrane Library. [citado 29 de agosto de 2025]; Disponível em: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD011134.pub2/full/pt>
5. Hall C, Clarke L, Pal A, Buchwald P, Eglinton T, Wakeman C, et al. A Review of the Role of Carcinoembryonic Antigen in Clinical Practice. *Ann Coloproctology*. dezembro de 2019;35(6):294–305.
6. Kankanala V, Zubair M, Mukkamalla SK. Carcinoembryonic Antigen. *StatPearls* [Internet]. 12 de novembro de 2024 [citado 29 de agosto de 2025]; Disponível em: <https://www.statpearls.com/point-of-care/137650>
7. Bressan AK. Custo-benefício do seguimento de pacientes tratados de câncer colorretal. 2010;60–60.
8. Yang H, Zhang Z, Zhou X, Binbr Abe Menen N, Rouhi O. Achieving enhanced sensitivity and accuracy in carcinoembryonic antigen (CEA) detection as an indicator of cancer monitoring using thionine/chitosan/graphene oxide nanocomposite-modified electrochemical immunosensor. *Environ Res*. 1º de dezembro de 2023;238(Pt 1):117163.
9. Tao C, Rouhi J. A biosensor based on graphene oxide nanocomposite for determination of carcinoembryonic antigen in colorectal cancer biomarker. *Environ Res*. 1º de dezembro de 2023;238:117113.
10. Iannazzo D, Espro C, Celesti C, Ferlazzo A, Neri G. Smart Biosensors for Cancer Diagnosis Based on Graphene Quantum Dots. *Cancers*. janeiro de 2021;13(13):3194.
11. em 26/08/2025 20h54 P em 28/03/2024 14h03 A. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN. [citado 30 de agosto de 2025]. CDTN desenvolve novas tecnologias para diagnóstico do câncer colorretal. Disponível em: <https://www.gov.br/cdt/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/cdt-desenvolve-em-parceria-com-o-instituto-mario-penna-novas-tecnologias-para-diagnostico-do-cancer-colorretal>
12. Nicholson BD, Shinkins B, Pathiraja I, Roberts NW, James TJ, Mallett S, et al. Blood CEA levels for detecting recurrent colorectal cancer - Nicholson, BD - 2015 | Cochrane Library. [citado 30 de agosto de 2025]; Disponível em: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD011134.pub2/full>
13. Costa S, Santos W, Melo A, Coutinho F. MORTALIDADE POR CÂNCER COLORRETAL NA REGIÃO NORTE DO BRASIL ENTRE 2014 E 2023. MORTALIDADE POR CÂNCER COLORRETAL NA REGIÃO NORTE DO BRASIL ENTRE 2014 E 2023 [Internet]. 24 de março de 2025 [citado 30 de agosto de 2025];17. Disponível em: <https://revista.cpaqv.org/index.php/CPAQV/article/view/2698>

