



CAR-T CELL: APRESENTANDO UMA INOVAÇÃO NO TRATAMENTO DO CÂNCER

Natali C. C. Barbosa¹, Marcela de Oliveira²

¹Graduanda em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru (natali.candido@fatec.sp.gov.br)

²Orientadora e Docente no curso de Sistemas Biomédicos na Fatec Bauru
marcela.oliveira24@fatec.sp.gov.br

RESUMO

O câncer é uma doença complexa e diversificada, sendo um dos maiores desafios da medicina moderna devido à sua alta taxa de mortalidade e suas múltiplas formas. Este trabalho tem como objetivo investigar novas tecnologia aplicadas ao câncer, analisando os principais tipos de tratamento, como a terapia de células CAR-T, o uso do PET *scan* para diagnóstico e a recente vacina desenvolvida na Rússia. Além disso, explora como a tecnologia, com suas inovações, tem avançado na detecção precoce, diagnóstico e tratamento do câncer, melhorando significativamente as taxas de sobrevivência. Assim, a pesquisa apresenta como os avanços tecnológicos têm moldado as estratégias terapêuticas contemporâneas para o câncer.

Palavras-chave: câncer; tratamento do câncer; PET *scan*; CAR-T *cell*; avanços tecnológicos na oncologia.

1 INTRODUÇÃO

O câncer, uma enfermidade caracterizada pelo crescimento descontrolado de células anormais no corpo, continua a ser uma das principais causas de morte ao redor do mundo (Brown *et al.*, 2023). A sua descoberta e evolução estão intimamente ligadas aos avanços da medicina e da tecnologia, desde as primeiras observações documentadas da doença até os mais modernos tratamentos disponíveis hoje. Tecnologias de imagem como a tomografia por emissão de pósitrons (PET *scan* – do inglês *Positron Emission Tomography*) têm desempenhado papel fundamental no diagnóstico precoce e na avaliação da resposta ao tratamento (Silva, 2021). Essa ferramenta proporciona maior sensibilidade na detecção de lesões metabólicas, sendo especialmente útil na monitorização de doenças como os linfomas (Cheson *et al.*, 2007; Boellaard, 2009). A integração do PET com outras técnicas, como a ressonância magnética (PET/MRI), representa um avanço ainda maior, permitindo imagens mais precisas e abrangentes do corpo humano (Antoch & Bockisch, 2009).

A evolução dos tratamentos contra o câncer reflete os significativos progressos realizados na área médica. Inicialmente limitado a procedimentos invasivos como a cirurgia, o tratamento do câncer agora inclui uma ampla gama de opções, que vão desde a quimioterapia e radioterapia até terapias biologicamente direcionadas. De acordo com Silva *et al.* (2021), a incorporação de novas moléculas terapêuticas e abordagens inovadoras tem contribuído significativamente para o aumento das taxas



de sobrevivência de diversos pacientes, especialmente no contexto oncológico. As terapias-alvo, por exemplo, têm demonstrado eficácia notável ao atuarem diretamente em vias moleculares específicas associadas ao crescimento tumoral (Sawyers, 2004). Com o avanço da medicina personalizada, tornou-se possível oferecer tratamentos mais adequados ao perfil molecular de cada paciente, aumentando a efetividade terapêutica e reduzindo efeitos adversos (Ashley, 2016).

A utilização de terapias inovadoras, como a terapia de células T receptoras de antígeno quimérico (CAR-T *cell* – do inglês *chimeric antigen receptor T*), tem revolucionado a forma como certos tipos de câncer são tratados. Esta abordagem envolve modificar geneticamente as células T do sistema imunológico para que elas reconheçam e ataquem as células cancerígenas. Burini (2019) destacou que tais terapias representam um avanço significativo na medicina personalizada, onde os tratamentos são adaptados às especificidades moleculares de cada tumor. Este tipo de medicina de precisão está emergindo como um paradigma essencial para o tratamento eficaz de doenças complexas como o câncer.

Em adição, ao recente uso da vacina russa contra o câncer também revela o potencial crescente das imunoterapias. O desenvolvimento desta vacina exemplifica a busca incessante por estratégias de tratamento que não somente atacam o câncer diretamente, mas que também capacitam o sistema imunológico a combater a doença de forma mais eficaz. Camillo (2020) discute as possibilidades oferecidas por vacinas em desenvolvimento, que representam um passo crucial na prevenção e tratamento de tumores.

Diante do cenário atual, essa pesquisa se propôs a investigar as conquistas históricas e tecnológicas no campo da oncologia, buscando apresentar de que forma os avanços contínuos da tecnologia têm impactado o diagnóstico e o tratamento do câncer. Tais questionamentos são fundamentais para entender como essas inovações estão moldando o futuro da medicina e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos pacientes. Assim, este trabalho pretende não apenas ilustrar essas conquistas, mas também fornecer uma base sólida de conhecimento para futuros estudos e desenvolvimentos na área.

2 MATERIAIS E MÉTODO

Para abordar o tema sobre o câncer e sua evolução no âmbito do presente estudo, adotamos uma abordagem de pesquisa de revisão da literatura qualitativa. Essa escolha encontra-se justificada pela natureza exploratória e interpretativa necessária para investigar as múltiplas facetas do câncer, abordando as formas de diagnóstico e a evolução terapêutica. De acordo com Moritz (2018), uma abordagem qualitativa é eficaz para entender complexidades inerentes e captar as nuances que acompanham os avanços tecnológicos na medicina oncológica.

A coleta de dados foi realizada principalmente através da busca de artigos utilizando bases de dados eletrônicas como PubMed, Scopus e Google Scholar. Foram incluídos estudos de caso, revisões de literatura e ensaios clínicos de tratamentos inovadores, analisando documentos que abrangem pelo menos os últimos quinze anos. Além disso, foram incluídas entrevistas semiestruturadas com



oncologistas e pesquisadores para obter *insights* qualitativos adicionais. Este método de coleta permitiu a triangulação dos dados que corroboram a validade da pesquisa, conforme discutido por Costa (2020) em suas investigações sobre metodologias em ciências médicas.

Para a análise dos dados coletados, utilizamos a análise de conteúdo, uma técnica amplamente reconhecida em pesquisas qualitativas que visa identificar, examinar e interpretar padrões dentro dos dados textuais. Essa abordagem foi apropriada, pois permitiu uma exploração aprofundada das narrativas e dos contextos apresentados nas fontes literárias e nas entrevistas, conforme destacado por Camillo (2020) ao interpretar dados sobre terapia experimental do câncer. Os dados foram codificados tematicamente, permitindo a separação por categorias e conceitos-chave relacionados à evolução dos tratamentos contra o câncer.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evolução do câncer, desde a sua descoberta até os dias atuais, apresenta-se como um dos temas mais intrincados e discutidos na literatura médica. O câncer não é uma única doença, mas sim uma coleção de condições com características diversas e complexas. De acordo com Burini (2019), o comportamento proliferativo e de apoptose celular tem sido alvo frequente de estudos, evidenciando a importância de delinear melhor os mecanismos celulares que conduzem à malignidade.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO – do inglês *World Health Organization*), câncer é um termo genérico para um grande grupo de doenças que podem afetar qualquer parte do corpo. Outros termos utilizados são tumores malignos e neoplasias. Uma característica definidora do câncer é a rápida criação de células anormais que crescem além de seus limites habituais e podem então invadir partes adjacentes do corpo e se espalhar para outros órgãos; este último processo é chamado de metástase. Metástases disseminadas são a principal causa de morte por câncer (WHO, 2023).

De maneira geral, o câncer é considerado uma doença porque interfere nas funções normais do organismo. Isso ocorre devido ao crescimento descontrolado e à disseminação das células cancerosas, que consomem recursos do corpo, produzem substâncias tóxicas, danificam tecidos e recrutam células saudáveis para suas atividades. Esses processos resultam em dor, falência de órgãos e condições associadas, como a caquexia (Brown *et al.*, 2023). Além de comprometer o funcionamento físico do corpo, o câncer também tem um forte impacto emocional e psicológico, afetando significativamente a saúde mental do paciente e das pessoas ao seu redor, muitas vezes desestruturando famílias e relações de amizade (Chen *et al.*, 2023).

A doença continua sendo extremamente letal, causando cerca de 10 milhões de mortes por ano em todo o mundo. No Brasil, em 2020, a mortalidade por neoplasias foi de 122,7 para cada 100 mil habitantes. Ainda, estima-se que até 2040 esse índice possa atingir 222 por 100 mil habitantes, representando um aumento de 80,9% (Costa; Ramos; Sousa, 2024). Em adição, o câncer também gera enormes prejuízos econômicos, tanto pelos altos custos com tratamento médico quanto pela perda de



produtividade e mortes prematuras. Estima-se que o custo global do câncer ultrapasse 1 trilhão de dólares anualmente (Chen *et al.*, 2023).

Assim, é de extrema importância a atualização com pesquisas que são fundamentais para o diagnóstico precoce e o desenvolvimento de tratamentos mais eficazes contra o câncer, aumentando as chances de cura e melhorando a qualidade de vida dos pacientes.

Diagnóstico

Historicamente, os avanços no diagnóstico e tratamento do câncer são notáveis. Inicialmente, o diagnóstico dependia majoritariamente de observações clínicas e exames invasivos. Com o advento da tecnologia, métodos não invasivos, como o PET scan ganharam destaque. Silva (2021) afirma que o PET scan revolucionou o diagnóstico precoce, permitindo a detecção de lesões antes visíveis apenas em estágios avançados da doença. Este avanço trouxe uma significativa redução na mortalidade associada a alguns tipos de câncer, facilitando o tratamento em estágios menos avançados.

Assim, o rápido avanço da Medicina Nuclear e a adoção de novas tecnologias, que possibilitam o desenvolvimento de aparelhos mais sensíveis e menos invasivos, têm desempenhado um papel importante no aprimoramento do radiodiagnóstico. Nesse cenário, a introdução dos equipamentos híbridos trouxe um impacto significativo para a área de diagnóstico por imagem. Esses dispositivos oferecem alta precisão diagnóstica e conseguem integrar imagens funcionais e anatômicas por meio de softwares que realizam a sobreposição dessas informações (Dias; Carvalho; Pereira, 2020).

Na área da oncologia, conforme mencionado anteriormente, o PET scan tem sido amplamente utilizado para identificar tumores e suas metástases. O procedimento envolve a aplicação intravenosa de um radiofármaco, que se concentra na região do corpo a ser analisada. Nessa área, há emissão de radiação gama, que é captada por um detector específico (tomografia por emissão de pósitrons) conectado a um computador responsável por gerar as imagens diagnósticas (Silva, 2021).



Figura 1. Processo de emissão da radiação e formação da imagem no PET scan (IVEPESP, 2015).



Mais especificamente, conforme observado na Figura 1, O PET scan baseia-se na detecção de pares de fótons emitidos simultaneamente em direções opostas (a 180°) resultantes da aniquilação de um pósitron (partícula de carga positiva) com um elétron. Esses fótons possuem energia em torno de 511 keV e são detectados por cristais de cintilação no equipamento, permitindo a reconstrução de imagens tridimensionais da distribuição do radiofármaco no organismo (NAP, 1996). O radiofármaco mais utilizado é a fluorodeoxiglicose marcada com flúor-18 (18F-FDG), um análogo da glicose que se acumula em tecidos com alta atividade metabólica, como células tumorais. Assim, a principal vantagem do PET scan em comparação a outros métodos de diagnóstico por imagem, como a Ressonância Magnética, Ultrassonografia e Tomografia Computadorizada, é a capacidade de analisar a atividade metabólica das lesões tumorais em todo o corpo, o que é especialmente relevante no caso do câncer (Silva, 2021).

Tratamento

A terapia com células T receptoras de antígeno quimérico (CAR-T cell) é um novo pilar revolucionário no tratamento do câncer (Sterner & Sterner, 2021). Esta terapia tem representado uma nova era no tratamento do câncer, especialmente em casos hematológicos, como leucemia linfoblástica aguda e linfomas de grandes células B (Ahmad, 2020). Esta terapia personalizada modifica geneticamente as células T de um paciente para atacar células tumorais específicas. Mais especificamente, a terapia envolve a coleta de células T seguida de sua modificação genética para expressar um receptor de antígeno que normalmente não está presente, resultando na criação de uma molécula quimérica — uma célula T com a especificidade combinada de um anticorpo (Ahmad, 2020). Camillo (2020) destaca que, embora esta abordagem ainda esteja em fase inicial, já exibiu resultados promissores em pacientes que não respondem a outras terapias. A figura 1 representa este processo de utilização das células T.

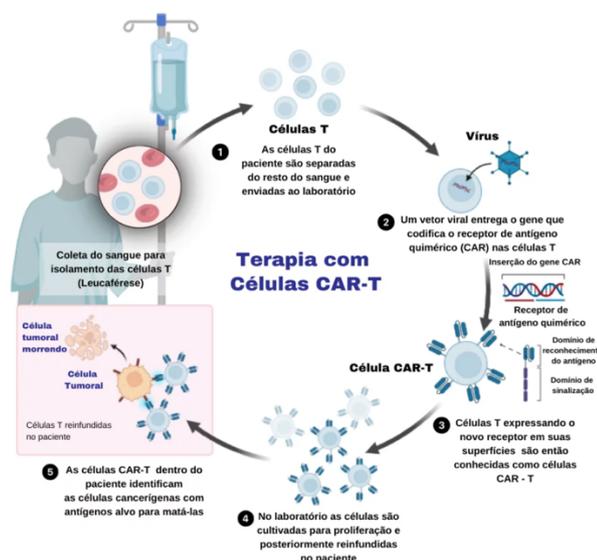


Figura 1. Processo de tratamento com células CART-T (Costa & Monteiro, 2024).



A produção das células CAR-T envolve um processo sofisticado e altamente especializado. Tudo se inicia com a coleta das células T do próprio paciente, geralmente realizada por meio da leucaférese (um procedimento que retira seletivamente os leucócitos do sangue). Em seguida, essas células T são enviadas a um laboratório especializado, onde passam por uma modificação genética. Nessa fase, utiliza-se um vetor viral modificado para introduzir um novo material genético nas células T, permitindo que elas passem a expressar um receptor de antígeno quimérico (CAR). Esse receptor é desenhado para identificar células tumorais, tornando as células T capazes de atacar especificamente o câncer (Costa & Monteiro, 2024).

Depois da modificação genética, as células CAR-T são cultivadas em laboratório para se multiplicarem até atingirem uma quantidade considerada terapêutica. Esse processo de expansão é essencial, pois garante que haja células suficientes para o tratamento. Durante essa fase, são necessários cuidados rigorosos para preservar tanto a segurança quanto a eficácia das células modificadas até o momento em que forem administradas ao paciente (Costa & Monteiro, 2024). Por fim, após uma etapa preparatória que pode incluir quimioterapia para facilitar a aceitação da terapia celular, as células CAR-T são reinfundidas no organismo do paciente. Uma vez introduzidas, elas identificam e eliminam as células cancerosas que exibem o antígeno específico reconhecido pelo CAR (Costa & Monteiro, 2024).

Embora o tratamento com células CAR-T tenha produzido respostas clínicas notáveis em certos subgrupos de leucemia ou linfoma de células B, muitos desafios limitam a eficácia terapêutica das células CAR-T em tumores sólidos e malignidades hematológicas (Sternier & Sternier, 2021). As barreiras à terapia eficaz com células CAR-T incluem toxicidades graves com risco de vida, atividade antitumoral modesta, escape de antígeno, tráfego restrito e infiltração tumoral limitada. Além disso, as interações do microambiente do hospedeiro e do tumor com as células CAR-T alteram criticamente a função das células CAR-T (Sternier & Sternier, 2021).

Em um estudo pré-clínico mesclando a edição de genes com a terapia com células T do receptor de antígeno quimérico, pesquisadores do Memorial Sloan Kettering Cancer Center (MSKCC) em Nova York, NY, criaram um método para melhorar a entrega do gene CAR, aumentando assim consideravelmente a potência dessas células T modificadas (AACR, 2017). Já o estudo de caso realizado por Porter *et al.* (2011) mostrou que ao contrário da terapia mediada por anticorpos, as células T modificadas pelo receptor de antígeno quimérico têm o potencial de se replicar *in vivo*, e a persistência a longo prazo pode levar ao controle sustentado do tumor. Em adição, Melenhorst e colaboradores (2022), mostraram que a identificação e caracterização de populações inesperadas de células CAR-T fornecem uma nova visão das características das células CAR-T associadas à resposta anticâncer e à remissão a longo prazo na leucemia.

Além disso, Carl H. June da Universidade da Pensilvânia, EUA, considerado um dos pioneiros na terapia CAR-T, liderou pesquisas fundamentais que resultaram na aprovação do tisagenlecleucel (Kymriah®) para leucemia linfoblástica aguda (LLA) e linfoma de grandes células B (Posey *et al.*, 2017). Stanley R. Riddell da *Fred Hutchinson Cancer Research Center*, especialista em imunoterapia, desenvolveu



abordagens inovadoras para melhorar a eficácia das células CAR-T, especialmente em tumores sólidos. Michel Sadelain do *Memorial Sloan Kettering Cancer Center*, contribuiu para o design de receptores de antígenos quiméricos e para a aplicação clínica da terapia CAR-T em diversos tipos de câncer (Rosier, 2024). Helen Heslop do *Baylor College of Medicine*, liderou um dos primeiros ensaios clínicos de terapia CAR-T em neuroblastoma, resultando em remissão duradoura em pacientes pediátricos. Por fim, Georg Schett da Universidade de Erlangen, tem sido o pioneiro na aplicação da terapia CAR-T em doenças autoimunes, como o lúpus, demonstrando remissões sustentadas sem necessidade de imunossupressores (Park, 2024).

Paralelamente aos tratamentos com células CAR-T, as vacinas emergem como uma ferramenta potente na imunoterapia contra o câncer. A vacina russa recentemente desenvolvida representa um avanço promissor, integrando estratégias de modulação imunológica que visam prevenir a progressão de tumores malignos (AGÊNCIA BRASIL, 2024). Diversos pesquisadores apontam que tais desenvolvimentos são cruciais para expandir as opções de tratamento disponíveis e melhorar a qualidade de vida dos pacientes. Segundo Moritz (2018), tal abordagem representa uma mudança de paradigma, proporcionando uma linha adicional de defesa na luta contra o câncer. Assim, o desenvolvimento das vacinas contra o câncer, notoriamente a vacina da Rússia, também marca um ponto crítico na pesquisa, sinalizando uma reconfiguração nas abordagens de imunoterapia. Este avanço ressoa com pesquisas que contemplam vacinas não apenas como ferramentas terapêuticas, mas também preventivas.

A literatura também explora o papel dos biomarcadores na predição e monitoramento do tratamento do câncer. Moritz (2018) realça que as alterações nas proteínas da matriz extracelular, por exemplo, podem fornecer *insights* valiosos sobre a agressividade tumoral e a potencial resposta ao tratamento. Estes marcadores, quando integrados a tecnologias de imagem avançadas, oferecem uma visão mais abrangente sobre a evolução tumoral. Além disso, a investigação sobre fatores genéticos e epigenéticos continua crescendo, com implicações diretas na personalização do atendimento oncológico. Estudos sobre polimorfismos genéticos, como os mencionados por Monteiro (2019), abrem novas perspectivas para o entendimento das variações na resposta individual ao tratamento e na progressão da doença.

Os trabalhos da literatura evidenciam a contínua evolução no campo da oncologia, com os avanços tecnológicos desempenhando um papel central na melhoria dos diagnósticos e tratamentos disponíveis. As constantes descobertas nas áreas de biologia molecular, genética e imunologia prometem transformar o cenário do tratamento oncológico nos próximos anos. Na comparação com a literatura existente, os resultados apoiam a tese de que a integração de novas tecnologias e abordagens terapêuticas está modelando um novo horizonte para a oncologia. Burini *et al.* (2019) sublinham que a avaliação dos índices de proliferação e apoptose celular com características clínicas vem aprimorando a compreensibilidade e a previsibilidade de resposta aos tratamentos, ilustrando a importância da pesquisa contínua e do desenvolvimento de métricas mais sofisticadas.

Assim, o contínuo desenvolvimento que tem ocorrido na área da oncologia reflete em abordagens cada vez mais sofisticadas e personalizadas tanto para o



diagnóstico quanto para o tratamento da doença. As inovações tecnológicas, como o uso do PET scan e a terapia com células CAR-T, representam avanços significativos que não apenas melhoram a eficácia dos tratamentos, mas também ampliam as possibilidades de cura para pacientes que anteriormente tinham opções limitadas. A capacidade de personalizar tratamentos de acordo com as características genéticas e moleculares de cada tumor exemplifica o potencial transformador da medicina de precisão, que está no cerne das estratégias modernas de tratamento do câncer.

Em adição, a pesquisa contínua em biomarcadores e genética está abrindo novas fronteiras para a compreensão das variações biológicas que afetam a progressão do câncer e a resposta ao tratamento. Como destacado por Moritz (2018), esses biomarcadores são cruciais para prever a resposta aos tratamentos e para monitorar o progresso do paciente, oferecendo insights valiosos que podem guiar a prática clínica. Da mesma forma, o desenvolvimento de vacinas, como a vacina russa contra o câncer, exemplifica o potencial das imunoterapias em não apenas tratar, mas possivelmente prevenir certos tipos de câncer, modulando o sistema imunológico para combater eficazmente as células cancerígenas.

Por fim, além dos aspectos clínicos e biomédicos, é essencial considerar os impactos psicoemocionais e sociais do tratamento do câncer. O suporte emocional adequado, como enfatizado por Ferreira (2017), é vital não apenas para o bem-estar psicológico dos pacientes, mas também influencia o tratamento e a recuperação. O tratamento do câncer, portanto, deve ser holístico, englobando não só intervenções médicas, mas também suporte psicológico e social.

Assim, os resultados obtidos no estudo sobre tecnologias aplicadas ao câncer mostram novas perspectivas. A utilização do PET scan para diagnóstico precoce, como evidenciado por Silva *et al.* (2021), reforça as descobertas anteriores sobre a eficácia desta tecnologia em melhorar as taxas de sobrevivência ao permitir intervenções em estágios iniciais da doença. Essa eficiência diagnóstica está bem documentada, corroborando a importância crescente das tecnologias de imagem na detecção e tratamento do câncer.

A discussão sobre as terapias CAR-T *cell* no tratamento de cânceres hematológicos emparelha-se com as promessas observadas na literatura sobre terapias celulares personalizadas. Camillo (2020) reporta que as terapias CAR-T *cell* mostram resultados encorajadores e abrem caminho para novos paradigmas de tratamento, uma expectativa previamente suportada em revisões críticas de tratamentos experimentais. Contudo, a necessidade de mais estudos sobre efeitos a longo prazo é um ponto que o presente trabalho destaca como alinhado com as análises cuidadosas de estudos similares na área oncológica. Moritz (2018) sugere que tais inovações podem redefinir futuras direções em oncologia, oferecendo novas gestões para doenças oncológicas. As futuras pesquisas devem, também, ponderar não apenas os avanços tecnológicos, mas também a aplicação prática e equitativa dessas descobertas, garantindo que os benefícios tangíveis dos avanços cheguem a todas as camadas possíveis da sociedade.

Os resultados ilustram que a evolução da pesquisa oncológica é impulsionada por uma abordagem multidisciplinar, que integra diversas áreas do conhecimento, desde a biologia molecular até a ciência da computação, como forma de compreender



e combater a desafiadora complexidade desta doença. Essa intersecção entre diferentes metodologias tem fortalecido a robustez dos tratamentos e apontado para um caminho onde o tempo, a eficiência e a segurança são otimizadas.

Ao sintetizar as informações apresentadas ao longo desta revisão de literatura, fica claro que a oncologia moderna está em uma encruzilhada de inovação e descoberta. O futuro promete ainda mais avanços que poderão potencialmente revolucionar a forma como enfrentamos o câncer, transformando-o de uma doença muitas vezes fatal em uma condição gerenciável ou até curável. Essa análise reforça a importância contínua de investir em pesquisa e desenvolvimento, mantendo o foco nas necessidades integradas dos pacientes para melhor enfrentar os desafios que aparecem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste estudo evidencia avanços significativos em lidar com uma das enfermidades mais desafiadoras da medicina moderna, o câncer. Os resultados da pesquisa sublinham a importância de tecnologias inovadoras, como o PET *scan*, que têm melhorado consideravelmente a detecção precoce do câncer, impactando positivamente as taxas de sobrevivência e reduzindo as intervenções invasivas necessárias. Este desenvolvimento é um reflexo direto dos esforços contínuos em integrar a inovação médica com a prática clínica efetiva.

Este trabalho também destacou as terapias CAR T-*cell* como um marco no tratamento do câncer, ressaltando seu potencial na abordagem personalizada de neoplasias hematológicas, sendo uma promessa revolucionária na medicina oncológica. Esses avanços não só atendem aos objetivos iniciais de explorar a evolução do tratamento, mas também oferecem alternativas terapêuticas mais eficazes e seguras. Outros achados relevantes incluem o desenvolvimento de vacinas contra o câncer, como a vacina russa, que exemplifica a utilização de imunoterapia tanto em um contexto profilático quanto terapêutico.

A incorporação dessas tecnologias e terapias personalizadas não apenas melhora os desfechos clínicos, mas também alinha os tratamentos com as necessidades específicas de cada paciente, evidenciando um avanço substancial em relação às abordagens convencionais. Além disso, os achados destacam a relevância da educação contínua e o aumento da conscientização pública quanto às novas opções de tratamento disponíveis. Incorporar as mais recentes inovações em oncologia na formação de profissionais de saúde pode garantir que diagnósticos e tratamentos sejam realizados com a máxima precisão e eficácia, refletindo a evolução em curso na medicina moderna. Em conclusão, esta pesquisa reafirma a importância das estratégias integrativas, que combinam avanços científicos com abordagens práticas para melhorar o tratamento do câncer.



5 REFERÊNCIAS

AACR - AMERICAN ASSOCIATION FOR CANCER RESEARCH. **CRISPR Meets CAR T-cell Therapy**. *Cancer Discov* 1 May 2017; 7 (5): OF6. Disponível em: <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-NB2017-040>. Acesso em: 23 de abr. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. **Rússia anuncia vacina contra o câncer para 2025**. Brasília, 26 dez. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2024-12/russia-anuncia-vacina-contr-o-cancer-para-2025>. Acesso em: 17 abr. 2025.

AHMAD, A. **CAR-T Cell Therapy**. *Int J Mol Sci*. 2020;21(12):4303. Disponível em: doi:10.3390/ijms21124303. Acesso em: 10 de abr. 2025.

NAP - NATIONAL ACADEMIES PRESS. Comitê de Matemática e Física da Imagem Biomédica Dinâmica Emergente do Conselho Nacional de Pesquisa (EUA) e do Instituto de Medicina (EUA). *Matemática e Física da Imagem Biomédica Emergente*. Washington (DC): National Academies Press (EUA); 1996. Capítulo 6, Tomografia por Emissão de Pósitrons. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK232475/>. Acesso em: 04 de jun. 2025.

ANTOCH, G. & BOCKISCH, A. **Combined PET/MRI: a new dimension in whole-body oncology imaging?** *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 113–120, 2009.

ASHLEY, E. A. **The precision medicine initiative: a new national effort**. *JAMA*, Chicago, v. 315, n. 7, p. 713–714, 2016. Disponível em: doi:10.1001/jama.2015.3595. Acesso em 23 de abr. 2025.

BOELLAARD, R. **Standards for PET image acquisition and quantitative data analysis**. *Journal of Nuclear Medicine*, Reston, v. 50, suppl. 1, p. 11S–20S, 2009.

BROWN, J. S. *et al.* **Updating the Definition of Cancer**. *Mol Cancer Res*. 2023;21(11):1142-1147. Disponível em: doi:10.1158/1541-7786.MCR-23-0411. Acesso em: 11 de abr. 2025.

BURINI, C. H. P. **Associação do índice de proliferação e de apoptose celular com características clínicas**. Disponível em: [<http://hdl.handle.net/11449/101293>] (<http://hdl.handle.net/11449/101293>). (2019).

CAMILLO, L. **Potencial antitumoral das proteínas TRAIL e IL-2 expressas e veiculadas por Salmonella Typhimurium atenuada em modelo de câncer colorretal**. Disponível em: [<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16873>] (2020).

CHEN, S. *et al.* **Estimates and projections of the global economic cost of 29 cancers in 204 countries and territories from 2020 to 2050**. *JAMA Oncol*, 2023; 9:465–72.



CHESON, B. D. *et al.* **Revised response criteria for malignant lymphoma.** *Journal of Clinical Oncology*, Chicago, v. 25, n. 5, p. 579–586, 2007.

COSTA, D. & MONTEIRO, A. **ANVISA Autoriza Estudo Clínico com Células CAR-T: Mas afinal, o que são e como cultivá-las com sucesso em laboratório?** *Banco de Células do Rio de Janeiro*. 2024. Disponível em: <https://bcrl.org.br/anvisa-autoriza-estudo-clinico-com-celulas-car-t-mas-afinal-o-que-sao-e-como-cultiva-las-com-sucesso-em-laboratorio/>. Acesso em: 10 de abr. 2025.

COSTA, A. C. DE O.; RAMOS, D. DE O.; SOUSA, R. P. DE. **Indicadores de desigualdades sociais associados à mortalidade por neoplasias nos adultos brasileiros: revisão de escopo.** *Ciência & Saúde Coletiva*, 2024, v. 29, n. 8, p. e19602022.

COSTA, J. R. **Retinoblastoma: diagnóstico, tratamento e evolução em dois centros de referência de alta complexidade integrados.** Disponível em: [<http://repositorio.unb.br/handle/10482/4718>] (<http://repositorio.unb.br/handle/10482/4718>). (2020)

DIAS, E. H. V.; CARVALHO, E. B. DE; PEREIRA, D. DE S. **Princípios básicos e aplicações oncológicas Da PET-CT 18F-FDG.** *Rev. Med. (São Paulo)*, 2020, 99 (2), 156-163. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.1679-9836.v99i2p156-163>. Acesso em: 11 de abr. 2025.

FERREIRA, R. EI R. **Investigação sobre a qualidade de sono no pós-tratamento de mulheres em estágio I ou II de câncer de mama.** Disponível em: [<https://repositorio.uel.br/handle/123456789/11952>]. (2017)

IVEPESP – INSTITUTO PARA A VALORIZAÇÃO DA EDUCAÇÃO E DA PESQUISA NO ESTADO DE SÃO PAULO. Tomografia por Emissão de Pósitons (PET). 01/08/2025. Disponível em: <https://ivepesp.org.br/tomografia-por-emissao-de-positrons-pet/>. Acesso em: 04 de jun. 2025.

MELENHORST, J. J. *et al.* **Decade-long leukaemia remissions with persistence of CD4⁺CAR T cells.** *Nature*, 2022. 602(7897), 503–509. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04390-6>. Acesso em: 23 de abr. 2025.

MORITZ, M. N. O. **A integrina a2b1 na progressão tumoral mamária: papel no microambiente tumoral e na metástase.** Disponível em: [<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11921>]. (2018).

MONTEIRO, H. de A. V. **Polimorfismos do Gene VEGFA: avaliação de impacto sobre a evolução clínica do câncer de mama.** Disponível em: [<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/37121>]. (2019).

PARK, A. **Georg Schett - Autoimmunity breakthrough.** TIME 100 HEALTH, 2024. Disponível em: https://time.com/6968938/georg-schett/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 23 de abr. 2025.



PORTER, D. L. *et al.* **Chimeric antigen receptor-modified T cells in chronic lymphoid leukemia.** *The New England journal of medicine*, 2011. 365(8), 725–733. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1103849>. Acessos em: 23 de abr. 2025.

POSEY, A. D. *et al.* **Cancer Killers.** *Scientific American*. 2017;316(3):38-43. Disponível em: [doi:10.1038/scientificamerican0317-38](https://doi.org/10.1038/scientificamerican0317-38). Acesso em: 23 de abr. 2025.

ROSIER, F. **Michel Sadelain, inventor of tumor-salling chimeras.** *Le Monde*. 2024. Disponível em: https://www.lemonde.fr/sciences/article/2024/06/04/michel-sadelain-inventeur-de-chimeres-tueuses-de-tumeurs_6237173_1650684.html?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 23 de abr. 2025.

SAWYERS, C. L. **Targeted cancer therapy.** *Nature*, London, v. 432, n. 7015, p. 294–297, 2004.

SILVA, J. *et al.* **Avanços terapêuticos e diagnósticos em oncologia moderna.** *Revista Brasileira de Medicina Translacional*, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 145–152, 2021.

SILVA, R. F. M. da. **A eficácia da técnica PET/CT na determinação precoce do câncer: uma revisão integrativa da literatura/ Effectiveness of the PET/CT technique in early cancer determination: an integrative literature review.** *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 66480–66499, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n7-090. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/32429>. Acesso em: 11 abr. 2025.

STERNER, R.C., STERNER, R.M. **CAR-T cell therapy: current limitations and potential strategies.** *Blood Cancer J.* 11, 69 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41408-021-00459-7>. Acesso em: 23 de abr. 2025.