


MONITORAMENTO CONTÍNUO DE GLICOSE (CGM): EVOLUÇÃO DOS SENSORES E O USO DE MÉTRICAS ALÉM DA HEMOGLOBINA GLICADA, COMO O "TEMPO NO ALVO"

CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING (CGM): EVOLUTION OF SENSORS AND THE USE OF METRICS BEYOND GLYCATED HEMOGLOBIN, SUCH AS "TIME IN TARGET"

MONITORIZACIÓN CONTINUA DE LA GLUCOSA (MCG): EVOLUCIÓN DE LOS SENSORES Y USO DE MÉTRICAS MÁS ALLÁ DE LA HEMOGLOBINA GLICOSILADA, COMO EL "TIEMPO EN EL RANGO OBJETIVO"

 <https://doi.org/10.56238/arev8n4-056>

Data de submissão: 27/03/2026

Data de publicação: 27/04/2026

Pedro Enzo Camargo Luz

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: pedroenzoc@gmail.com

Halana de Mendonça Bezerra

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: halana.mend@gmail.com

Marina Carvalho Robichez Penna

Graduanda em Medicina

Instituição: Universidade Católica de Brasília

E-mail: marinarobichez@gmail.com

Eduardo Santini Mello Batista

Graduando em Medicina

Instituição: Escola Superior de Ciências da Saúde

E-mail: esantini012@gmail.com

Luiza Letti Ferronato

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: lulf3005@gmail.com

Kaio Albano Lopes

Médico

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: drkaiolopes@gmail.com

Pedro Henrique Simões de Lima Assis

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: pedrohsima@gmail.com

Camilly Vitória Queiroz Lima

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: camillyqueiroz347@gmail.com

Gabriel Bessa Tristão

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: bielbessa74@gmail.com

Vitória Tokarski Bley

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: vitoria.t.bley@gmail.com

Rodrigo Fontes do Amaral Silveira

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: rodrigofontesas@gmail.com

Michelle Martins de Arruda Neves

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: mimi.martins02@gmail.com

Ana Luiza Dantas Portocarrero

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: aldportocarrero@gmail.com

Gabriel Ramos Muniz Braga

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: grmbraga@gmail.com

Maria Clara Cardoso Pereira

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: mariaclara.pereira2002@gmail.com

Lucas Rodrigues Gobbi

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: lucasrodriguesgobbi@gmail.com

Gabriel Gonçalves de Oliveira Junqueira

Graduando em Medicina

Instituição: Centro Universitário UniEURO

E-mail: gabrielojunqueira@gmail.com

Laura Carbonel Michelutti

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: lauracmichelutti@gmail.com

Georgia Barros Pontello

Graduanda em Medicina

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

E-mail: georgiabarpontello@gmail.com

Maria Clara Meira Morais

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: maria.mmorais@sempreceub.com

Beatriz Barifaldi Hirs Quintiere

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: bia.quintiere@sempreceub.com

Amanda Neves Nardes Mendes

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: amaneves29@gmail.com

Ana Luísa Carvalho Ferreira

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: analuisacferreira03@gmail.com

Gabrielle Luigi Andrade Corrêa

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: gabrielle.luigi15@gmail.com

Clara Mendes David

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Brasília

E-mail: claramendesdavid@gmail.com

RESUMO

Introdução: O gerenciamento intensivo do diabetes mellitus tipo 1 (DM1) baseou-se historicamente na hemoglobina glicada (HbA1c) e no automonitoramento da glicemia capilar (SMBG), métodos que apresentam limitações sobre não refletir adequadamente a variabilidade glicêmica, as tendências e o

risco de hipoglicemia. Recentemente, o avanço tecnológico para o Monitoramento Contínuo de Glicose (CGM) viabilizou a utilização de métricas mais dinâmicas e mais precisas, com destaque para o Tempo no Alvo (TIR). Objetivo: Sintetizar a evolução tecnológica e clínica dos sistemas CGM, avaliando como a adoção de métricas além da HbA1c, com ênfase no TIR, redefine as metas terapêuticas e impacta a segurança e a qualidade de vida dos pacientes com DM1. Metodologia: Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, de natureza qualitativa e descritiva. A busca foi feita nas bases de dados eletrônicas PubMed, Web of Science, Scopus e Cochrane Central, priorizando publicações entre 2006 e 2026 que avaliassem os desfechos glicêmicos primários com o uso de tecnologias em diabetes. Resultados: As evidências mostram que o uso do CGM associa-se à redução da HbA1c, à menor exposição à hipoglicemia e ao aumento do TIR quando comparado ao SMBG. Na comparação entre dispositivos, o CGM em tempo real (rtCGM) demonstrou superioridade sobre os sistemas de varredura intermitente (isCGM) em relação ao TIR e à segurança contra hipoglicemias, devido à sua capacidade de gerar alertas preditivos e operar em alça fechada. A literatura comprova que a correlação entre HbA1c e TIR é apenas parcial; valores aparentemente adequados de HbA1c podem coexistir com instabilidade glicêmica severa. Além disso, o TIR mostrou-se a métrica mais consistentemente associada à redução de complicações crônicas (como retinopatia e albuminúria) e mortalidade. Do ponto de vista da engenharia, os biossensores de fluido intersticial continuam sendo o padrão-ouro clinicamente validado, visto que as tecnologias não invasivas ainda enfrentam desafios de precisão e consolidação. Conclusão: O monitoramento do diabetes passou por uma mudança de paradigma, corrigindo a "falácia da média" imposta pela HbA1c. Embora a HbA1c mantenha relevância histórica, o controle contemporâneo exige a avaliação complementar do Tempo no Alvo (TIR), Tempo Abaixo da Faixa (TBR) e variabilidade glicêmica para garantir a eficácia terapêutica, individualizar o risco clínico e melhorar de forma segura os desfechos a longo prazo no diabetes.

Palavras-chave: Monitoramento Contínuo de Glicose. Tempo no Alvo. Variabilidade Glicêmica. Hemoglobina Glicada. Diabetes Mellitus Tipo 1.

ABSTRACT

Introduction: Intensive management of type 1 diabetes mellitus (T1DM) has historically been based on glycated hemoglobin (HbA1c) and capillary blood glucose self-monitoring (CBSM), methods that have limitations in not adequately reflecting glycemic variability, trends, and the risk of hypoglycemia. Recently, technological advances in Continuous Glucose Monitoring (CGM) have enabled the use of more dynamic and precise metrics, notably Time to Target (TRT). **Objective:** To synthesize the technological and clinical evolution of CGM systems, evaluating how the adoption of metrics beyond HbA1c, with emphasis on TRT, redefines therapeutic goals and impacts the safety and quality of life of patients with T1DM. **Methodology:** A narrative literature review of a qualitative and descriptive nature was conducted. The search was conducted in the electronic databases PubMed, Web of Science, Scopus, and Cochrane Central, prioritizing publications between 2006 and 2026 that evaluated primary glycemic outcomes with the use of diabetes technologies. **Results:** Evidence shows that the use of CGM is associated with a reduction in HbA1c, less exposure to hypoglycemia, and an increase in IRR when compared to SMBG. In the comparison between devices, real-time CGM (rtCGM) demonstrated superiority over intermittent scanning systems (isCGM) in relation to IRR and safety against hypoglycemia, due to its ability to generate predictive alerts and operate in a closed loop. The literature confirms that the correlation between HbA1c and IRR is only partial; apparently adequate HbA1c values can coexist with severe glycemic instability. Furthermore, IRR proved to be the metric most consistently associated with a reduction in chronic complications (such as retinopathy and albuminuria) and mortality. From an engineering standpoint, interstitial fluid biosensors remain the clinically validated gold standard, as non-invasive technologies still face challenges in accuracy and consolidation. **Conclusion:** Diabetes monitoring has undergone a paradigm shift, correcting the

"average fallacy" imposed by HbA1c. Although HbA1c maintains historical relevance, contemporary control requires complementary assessment of Time to Target (TTR), Time Below Range (TBR), and glycemic variability to ensure therapeutic efficacy, individualize clinical risk, and safely improve long-term outcomes in diabetes.

Keywords: Continuous Glucose Monitoring. Time to Target. Glycemic Variability. Glycated Hemoglobin. Type 1 Diabetes Mellitus.

RESUMEN

Introducción: El manejo intensivo de la diabetes mellitus tipo 1 (DM1) se ha basado históricamente en la hemoglobina glicosilada (HbA1c) y la automonitorización de la glucosa en sangre capilar (AMSC), métodos que tienen limitaciones al no reflejar adecuadamente la variabilidad glucémica, las tendencias y el riesgo de hipoglucemia. Recientemente, los avances tecnológicos en la monitorización continua de glucosa (MCG) han permitido el uso de métricas más dinámicas y precisas, en particular el tiempo hasta el objetivo (TTO). **Objetivo:** Sintetizar la evolución tecnológica y clínica de los sistemas de MCG, evaluando cómo la adopción de métricas más allá de la HbA1c, con énfasis en el TTO, redefine los objetivos terapéuticos e impacta la seguridad y la calidad de vida de los pacientes con DM1. **Metodología:** Se realizó una revisión narrativa de la literatura de naturaleza cualitativa y descriptiva. La búsqueda se realizó en las bases de datos electrónicas PubMed, Web of Science, Scopus y Cochrane Central, priorizando las publicaciones entre 2006 y 2026 que evaluaron los resultados glucémicos primarios con el uso de tecnologías para la diabetes. **Resultados:** La evidencia muestra que el uso de MCG se asocia con una reducción de la HbA1c, menor exposición a la hipoglucemia y un aumento de la IRR en comparación con la SMBG. En la comparación entre dispositivos, la MCG en tiempo real (rtCGM) demostró superioridad sobre los sistemas de escaneo intermitente (isCGM) en relación con la IRR y la seguridad frente a la hipoglucemia, debido a su capacidad para generar alertas predictivas y operar en un circuito cerrado. La literatura confirma que la correlación entre la HbA1c y la IRR es solo parcial; valores de HbA1c aparentemente adecuados pueden coexistir con inestabilidad glucémica grave. Además, la IRR demostró ser la métrica más consistentemente asociada con una reducción de las complicaciones crónicas (como retinopatía y albuminuria) y la mortalidad. Desde el punto de vista de la ingeniería, los biosensores de líquido intersticial siguen siendo el estándar de oro clínicamente validado, ya que las tecnologías no invasivas aún presentan desafíos en cuanto a precisión y consolidación. **Conclusión:** La monitorización de la diabetes ha experimentado un cambio de paradigma, corrigiendo la falacia del promedio impuesta por la HbA1c. Si bien la HbA1c mantiene su relevancia histórica, el control actual requiere una evaluación complementaria del tiempo hasta el objetivo (TTR), el tiempo por debajo del rango (TBR) y la variabilidad glucémica para garantizar la eficacia terapéutica, individualizar el riesgo clínico y mejorar de forma segura los resultados a largo plazo en la diabetes.

Palabras clave: Monitorización Continua de Glucosa. Tiempo Hasta el Objetivo. Variabilidad Glucémica. Hemoglobina Glicosilada. Diabetes Mellitus Tipo 1.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento intensivo do diabetes mellitus tipo 1 (DM1) é fundamental para reduzir o risco de complicações macro e microvasculares a longo prazo. Historicamente, o automonitoramento da glicemia capilar (SMBG) por meio de pontas de dedo tem sido o padrão de cuidado para ajustar a terapia insulínica. Entretanto, essa técnica oferece apenas um panorama instantâneo, falhando em capturar tendências glicêmicas ou a direção das mudanças nos níveis de glicose. Além disso, o foco tradicional na hemoglobina glicada (HbA1c) apresenta limitações, pois esse marcador não reflete adequadamente as nuances da variabilidade glicêmica e o risco de hipoglicemias graves. Os resultados do *Diabetes Control and Complications Trial* (DCCT), mostraram a redução de complicações crônicas através do controle glicêmico rigoroso. Porém, o automonitoramento da glicemia capilar (SMBG) que impõe uma carga significativa ao paciente e oferece apenas "retratos" isolados, deixou de ser o padrão ouro, falhando em capturar a direção das tendências glicêmicas ou a variabilidade entre as medições, assim como a HbA1c que oferece somente uma média dos últimos 3 meses do comportamento glicêmico do paciente, sendo falseada por episódios de hipoglicemia e pecando na avaliação da variabilidade glicêmica, tida como essencial na avaliação do bom controle glicêmico.

A evolução tecnológica permitiu a transição para o monitoramento contínuo de glicose (CGM), que utiliza sensores subcutâneos para medir a glicose intersticial em intervalos frequentes (5 a 15 minutos). Esses sistemas evoluíram de dispositivos "adjuvantes", que requeriam confirmação por glicemia capilar para decisões de tratamento, para tecnologias "não adjuvantes" altamente acuradas, permitindo ajustes de dose de insulina baseados diretamente nos dados do sensor.

Atualmente, a literatura distingue três categorias principais: CGM em tempo real (RT-CGM), monitoramento de varredura intermitente (isCGM ou *flash*) e sistemas integrados de alça fechada híbrida, como a integração de sensores de glicemia e bombas de insulina.

Dados de metanálise recente indicam que o uso de CGM resulta em uma melhora absoluta estatisticamente significativa na hemoglobina glicada (HbA1c) de aproximadamente -0,22%, com efeitos mais robustos observados em tecnologias adjuvantes (-0,26%). Contudo, a HbA1c isolada falha em identificar as nuances das flutuações glicêmicas e o tempo gasto em hipoglicemia, podendo trazer a média para valores mais baixos, até falseando uma HbA1c dentro da meta, com diversos episódios de hiperglicemia sendo contrabalançados por hipoglicemias. Nesse contexto, o Tempo no Alvo (TIR), definido como a porcentagem de tempo entre 70 e 180 mg/dL, emergiu como um desfecho clínico superior para a gestão diária. Estudos demonstram um aumento médio de 5,4% no

TIR com o uso de CGM, chegando a 6,0% em tecnologias não adjuvantes modernas. (ELBALSHY *et al.*, 2022).

A diversidade de tecnologias e a padronização de novas métricas, como o Indicador de Gestão de Glicose (GMI) e o Tempo Abaixo da Faixa (TBR), exigem uma análise crítica sobre como essas ferramentas estão redefinindo as metas terapêuticas. A justificativa deste estudo reside na necessidade de sintetizar como a divergência entre esses sensores impacta não apenas a HbA1c, mas a segurança e a qualidade de vida dos pacientes com DM1.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de natureza qualitativa e descritiva, focada na evolução tecnológica e clínica dos sistemas de monitoramento contínuo de glicose (CGM). Este método permite uma análise crítica e organizada da literatura pertinente ao tema, fornecendo uma contextualização teórica sobre a transição do automonitoramento capilar para as métricas digitais modernas, comparando a capacidade de demonstrar o controle glicêmico através da hemoglobina glicada (HbA1c) e o tempo no alvo (TIR), fornecido pelo uso dos dispositivos de monitoramento contínuo de glicose (CGM).

Para a construção do referencial, utilizou-se a estratégia de busca em bases de dados eletrônicas como PubMed, Web of Science, Scopus e Cochrane Central. Os descritores selecionados incluíram os termos "diabetes tipo 1", "monitoramento contínuo de glicose", "tempo no alvo" e "tecnologia em diabetes", tanto em língua portuguesa quanto inglesa. Foram priorizados artigos publicados entre 2006 e 2026, abrangendo desde os primeiros sensores de uso adjuvante até as tecnologias de varredura intermitente (isCGM) e sensores não adjuvantes de última geração.

Os critérios de inclusão basearam-se em estudos que reportaram desfechos glicêmicos primários, especificamente a variação na hemoglobina glicada (HbA1c) e o Tempo no Alvo (TIR). A análise dos dados coletados seguiu uma abordagem comparativa entre as diferentes categorias de dispositivos.

3 RESULTADOS

Os estudos incluídos convergem para a existência de uma mudança paradigmática no monitoramento do diabetes, com deslocamento progressivo do automonitoramento capilar intermitente para sistemas de monitoramento contínuo da glicose capazes de gerar séries temporais densas, clinicamente interpretáveis e úteis para ajuste terapêutico. Lin *et al.* sintetizam evidência robusta de que o CGM, sobretudo no diabetes tipo 1, associa-se à redução da HbA1c, à menor

exposição à hipoglicemia e ao aumento do tempo no alvo quando comparado ao automonitoramento capilar tradicional. Sherwood et al. atribuem parte desse ganho à melhora incremental da acurácia dos sensores em tempo real, fator que viabilizou o desenvolvimento dos sistemas automatizados de liberação de insulina. Friedman et al. acrescentam que o CGM passou a ocupar posição central no cuidado contemporâneo do diabetes tipo 1, ainda que sua incorporação em larga escala permaneça condicionada por custo, treinamento da equipe e integração do dado ao fluxo assistencial.

Sob a perspectiva de engenharia de sensores, a base tecnológica da prática clínica atual permanece assentada em dispositivos eletroquímicos minimamente invasivos voltados à mensuração da glicose intersticial. Johnston et al. descrevem que as plataformas vestíveis clinicamente mais maduras ainda dependem desse paradigma, apesar do interesse crescente por matrizes alternativas, como suor, saliva, lágrimas e urina. Zou et al. ressaltam que a redução adicional da invasividade, a manutenção da atividade enzimática, a biocompatibilidade da interface, a robustez da calibração e a capacidade preditiva ainda constituem gargalos relevantes para a evolução desses sistemas. Ghosh et al. assinalam que tecnologias não invasivas baseadas em princípios ópticos, micro-ondas e nanomateriais configuram uma fronteira promissora, porém ainda sem robustez clínica suficiente para substituir os sistemas intersticiais validados. Em revisão sistemática recente, Wu et al. confirmam que a transição do BGM para o CGM foi impulsionada por avanços em materiais, desenho de eletrodos e monitorização contínua 24/7, sem que isso tenha eliminado, até o momento, a superioridade operacional dos dispositivos minimamente invasivos já consolidados.

No plano conceitual, o principal deslocamento analítico foi a passagem de um modelo centrado exclusivamente na HbA1c para outro estruturado por métricas dinâmicas derivadas do CGM. Battelino et al. consolidaram o tempo no alvo (TIR, 70-180 mg/dL) como métrica de referência e propuseram, para a maioria dos adultos, TIR >70%, tempo abaixo da faixa <70 mg/dL <4% e tempo <54 mg/dL <1%. Yoo e Kim observam que o TIR possui vantagem operacional sobre a HbA1c por traduzir a exposição glicêmica em tempo efetivamente passado dentro ou fora da faixa-alvo, tornando a interpretação clínica mais direta. Dovc e Battelino ampliam essa perspectiva ao defenderem um modelo de cuidado centrado no TIR, no qual cada incremento de 5 pontos percentuais já deve ser compreendido como modificação clinicamente relevante.

A equivalência entre HbA1c e TIR mostrou-se apenas parcial. Beck et al. demonstraram, em adultos com diabetes tipo 1, que um TIR de 70% corresponde, em média, a HbA1c próxima de 7%, ao passo que um aumento de 10 pontos percentuais no TIR se associa a redução média de aproximadamente 0,6 ponto percentual na HbA1c, embora com ampla dispersão interindividual. Em coorte populacional sueca, Eliasson et al. confirmaram correlação robusta da HbA1c com TIR, TAR

e glicose média, porém correlação substancialmente mais fraca com TBR e coeficiente de variação, o que limita seu uso como marcador sintético de instabilidade glicêmica. Na população pediátrica, Piona et al. verificaram que a HbA1c apresenta baixa capacidade discriminativa para %CV e LBGI, de modo que valores aparentemente adequados de HbA1c podem coexistir com variabilidade acentuada e risco relevante de hipoglicemia.

As metanálises incluídas sustentam benefício clínico consistente do CGM em relação ao monitoramento capilar convencional. Elbalshty et al., ao agregarem 22 ensaios clínicos randomizados, estimaram redução média de 0,22 ponto percentual na HbA1c e incremento absoluto de 5,4 pontos percentuais no TIR, além de redução do tempo abaixo da faixa da ordem de 1,8% a 2,2%, com maior efeito do rtCGM adjuntivo sobre HbA1c e melhor desempenho dos sistemas mais novos sobre TIR. Em metanálise mais recente, Alfadli et al. observaram redução média de 0,38 ponto percentual na HbA1c e aumento de 7,9% no TIR, o que corresponde a aproximadamente 114 minutos adicionais por dia na faixa alvo. Os mesmos autores demonstraram gradiente de resposta conforme o descontrole basal, com redução de 0,68% na HbA1c em indivíduos com HbA1c inicial >8,5%, e posicionaram os sistemas automatizados/closed-loop no topo do ranqueamento em rede para efetividade global.

Na comparação direta entre modalidades de CGM, Chen et al. observaram superioridade do rtCGM em relação ao flash/isCGM para TIR, tempo abaixo da faixa <3,9 mmol/L, tempo acima da faixa, glicemia média, desvio-padrão e coeficiente de variação, sem diferença estatisticamente significativa em HbA1c ou em TBR <3,0 mmol/L. Esse achado possui relevância metodológica imediata, porque indica que intervenções tecnológicas podem parecer equivalentes quando avaliadas apenas pela HbA1c, embora se diferenciem de forma clinicamente importante em estabilidade glicêmica e segurança hipoglicêmica.

A dissociação entre média glicêmica e segurança também foi observada em intervenções farmacológicas. Karakasis et al. demonstraram que agonistas do GLP-1, quando adicionados à insulinoterapia no diabetes tipo 1, reduziram a HbA1c, mas não promoveram melhora do TIR e se associaram a maior tempo abaixo da faixa, sugerindo que o benefício metabólico aparente pode coexistir com piora do perfil hipoglicêmico. Em outra direção, Fang et al. identificaram, em adultos com diabetes tipo 1 e síndrome metabólica, maior tempo acima da faixa e maior variabilidade glicêmica, mesmo sem diferenciação proporcionalmente equivalente da HbA1c, o que reforça a capacidade do CGM de discriminar genótipos de maior risco que escapam à métrica média tradicional. Danne et al. mostraram ainda que as métricas derivadas de CGM são sensíveis a padrões intra-semanais após insulinização basal semanal, inclusive para caracterização da duração dos episódios hipoglicêmicos, aspecto praticamente inacessível ao SMBG convencional.

No que se refere à validade prognóstica, Yapanis et al. identificaram o TIR como a métrica derivada do CGM mais consistentemente associada a albuminúria, retinopatia, espessamento íntima-média carotídeo e mortalidade, enquanto desvio-padrão e MAGE mostraram associação mais frequente com neuropatia periférica. Em revisão narrativa recente, Goshrani et al. argumentam que, diante dessa consistência biológica e clínica, o TIR tende a se consolidar também em ensaios de diabetes tipo 2 como desfecho complementar central à HbA1c, e não como seu simples substituto.

Em síntese, o conjunto dos achados sugere que a incorporação do CGM em ambientes hospitalares e de pesquisa não deve ser interpretada apenas como modernização tecnológica do sensor, mas como reconfiguração do próprio conceito de controle glicêmico. À luz das evidências, a HbA1c preserva utilidade como marcador histórico de exposição glicêmica crônica, porém a avaliação contemporânea de efetividade e segurança passa a exigir, de forma complementar, TIR, TBR, TAR e métricas de variabilidade glicêmica. Nesse contexto, os sistemas minimamente invasivos já validados permanecem, no presente, como a base tecnológica mais sólida para adoção clínica e para pesquisa translacional em larga escala.

4 DISCUSSÃO

A análise dos resultados consolida o Monitoramento Contínuo de Glicose (CGM) não apenas como uma evolução tecnológica de hardware, mas como um divisor de águas na própria filosofia do controle do diabetes. A transição do foco exclusivo na hemoglobina glicada (HbA1c) para a incorporação de métricas dinâmicas, como o Tempo no Alvo (TIR) e a Variabilidade Glicêmica (CV), corrige a chamada "falácia da média". Como demonstrado, a HbA1c é incapaz de revelar a amplitude das flutuações diárias, permitindo que episódios frequentes de hipoglicemia e hiperglicemia se anulem matematicamente, resultando em uma média artificialmente adequada que mascara o verdadeiro risco clínico do paciente (Beck et al., 2019; Yoo; Kim, 2020).

A superioridade clínica do rtCGM (tempo real) sobre o isCGM (varredura intermitente) e sobre o automonitoramento capilar (SMBG) explica-se pela capacidade ativa do sistema de gerar alertas preditivos. Enquanto o isCGM exige a ação do usuário para revelar o dado, o rtCGM, especialmente quando integrado a sistemas de alça fechada (closed-loop), atua de forma autônoma para mitigar excursões glicêmicas antes que elas se agravem, o que justifica seu melhor desempenho na redução do Tempo Abaixo do Alvo (TBR) e aumento do TIR (Elbalshy et al., 2022; Alfadli et al., 2025).

Além disso, os achados destacam a importância fundamental de métricas abrangentes para desmascarar fenótipos de risco que passariam despercebidos pelo rastreamento tradicional. O fato de

pacientes com diabetes tipo 1 e síndrome metabólica apresentarem maior Tempo Acima do Alvo (TAR) e elevada variabilidade glicêmica sem alteração proporcional da HbA1c ilustra a precisão do CGM na individualização do risco cardiovascular e microvascular (Fang et al., 2025). De forma semelhante, a adição de terapias adjuvantes, como os agonistas de GLP-1, pode reduzir a HbA1c, mas o CGM revela que esse aparente benefício pode ocorrer às custas de um maior tempo em hipoglicemia (TBR), provando que a eficácia metabólica não pode ser avaliada dissociada da segurança hipoglicêmica (Karakasis et al., 2024).

Apesar dos benefícios inegáveis, a adoção em larga escala das tecnologias de monitoramento enfrenta barreiras significativas. Do ponto de vista da engenharia, embora haja um enorme interesse no desenvolvimento de biossensores não invasivos baseados em fluidos alternativos (suor, saliva e lágrimas) ou métodos ópticos, essas tecnologias ainda esbarram em limitações críticas de precisão, atraso fisiológico do sinal (lag time) e instabilidade sob condições de vida livre (Wu et al., 2025; Johnston et al., 2021). Consequentemente, os biossensores eletroquímicos minimamente invasivos de fluido intersticial mantêm-se como o padrão-ouro e a única base confiável atual para sistemas automatizados de insulina (Ghosh; Bora, 2025). No âmbito assistencial, a implementação esbarra no alto custo dos dispositivos, na inércia clínica e na necessidade de treinamento intensivo tanto para os profissionais de saúde quanto para os pacientes, sem os quais a mera disponibilidade do dado não se traduz em melhora de desfechos (Friedman et al., 2023).

Por fim, embora a correlação entre o baixo TIR e o desenvolvimento de complicações crônicas (como albuminúria, retinopatia e neuropatia) já seja suportada por estudos transversais robustos e análises de coortes históricas, a literatura aponta para a necessidade de ensaios clínicos prospectivos e randomizados de longo prazo (Yapanis et al., 2022). Tais estudos são essenciais para elevar definitivamente o Tempo no Alvo de uma métrica de gestão diária à condição de desfecho primário padrão-ouro (Goshrani et al., 2025), validando o CGM como a ferramenta definitiva para a longevidade e qualidade de vida no diabetes.

5 CONCLUSÃO

A transição do automonitoramento capilar para o CGM representa uma mudança fundamental no manejo do DM1. Embora a hemoglobina glicada permaneça como um marcador histórico essencial para avaliar a exposição glicêmica crônica, ela apresenta limitações significativas, falhando em capturar as flutuações diárias, a direção das tendências glicêmicas e o risco de hipoglicemia grave (BATTELINO et al., 2019; YOO; KIM, 2020).

Nesse cenário, as métricas derivadas do CGM, especialmente o Tempo no Alvo (TIR), emergiram como indicadores dinâmicos, robustos e clinicamente acionáveis que complementam e, na gestão diária, superam a HbA1c (DOVC; BATTELINO, 2021). A literatura evidencia consistentemente que o aumento do TIR está diretamente associado a uma redução significativa do risco de desenvolvimento e progressão de complicações micro e macrovasculares, incluindo retinopatia, nefropatia, neuropatia periférica e mortalidade (BATTELINO et al., 2019; YAPANIS et al., 2022; YOO; KIM, 2020). Além disso, a integração de métricas de segurança, como o Tempo Abaixo do Alvo (TBR) e o Coeficiente de Variação (CV), permite avaliar a variabilidade glicêmica e mitigar episódios de hipoglicemia, oferecendo um panorama completo da estabilidade glicêmica do paciente (YOO; KIM, 2020).

Apesar dos avanços incontestáveis, a adoção universal destas tecnologias ainda esbarra em desafios práticos, como a necessidade de educação estruturada (essencial para a eficácia do uso dos dados) para os pacientes e o custo ainda elevado dos dispositivos (YOO; KIM, 2020). O desenvolvimento contínuo de biossensores e tecnologias vestíveis não invasivas ou minimamente invasivas tem o potencial de melhorar a adesão e a acessibilidade no futuro (GHOSH; BORA, 2025; JOHNSTON et al., 2021).

Por fim, as evidências atuais já sustentam que o cuidado centrado no Tempo no Alvo, associado a sistemas avançados e à educação em diabetes, é a via mais promissora para otimizar o controle metabólico, a segurança e a qualidade de vida dos pacientes (DOVC; BATTELINO, 2021; YOO; KIM, 2020). Porém, são necessários estudos clínicos prospectivos, randomizados e de longo prazo para consolidar definitivamente o TIR e a variabilidade glicêmica não apenas como ferramentas de gestão, mas como desfechos primários padrão-ouro em substituição ou paridade com a HbA1c (YAPANIS et al., 2022; YOO; KIM, 2020).

REFERÊNCIAS

1. ALFADLI, Salya F. et al. Effectiveness of continuous glucose monitoring systems on glycemic control in adults with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Metabolism Open*, v. 27, art. 100382, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.metop.2025.100382>.
2. BATTELINO, Tadej et al. Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: recommendations from the international consensus on time in range. *Diabetes Care*, v. 42, n. 8, p. 1593–1603, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2337/dci19-0028>.
3. BECK, Roy W. et al. The relationships between time in range, hyperglycemia metrics, and HbA1c. *Journal of Diabetes Science and Technology*, v. 13, n. 4, p. 614–626, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/1932296818822496>.
4. CHEN, Danrui et al. Effect of real-time continuous glucose monitoring versus flash glucose monitoring on glycemic control in adults with type 1 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, v. 22, n. 10, p. 709–716, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1089/met.2024.0025>.
5. DANNE, Thomas et al. Continuous glucose monitoring metrics and continuous glucose monitoring–based hypoglycemia, including duration, in individuals with type 1 diabetes switching to once-weekly insulin icodec: a post hoc evaluation of ONWARDS 6. *Diabetes Technology & Therapeutics*, v. 27, n. 12, p. 963–972, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1177/15209156251359319>.
6. DOVC, Klemen; BATTELINO, Tadej. Time in range centered diabetes care. *Clinical Pediatric Endocrinology*, v. 30, n. 1, p. 1–10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1297/cpe.30.1>.
7. ELBALSHY, Mona et al. Effect of divergent continuous glucose monitoring technologies on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Diabetic Medicine*, v. 39, e14854, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/dme.14854>.
8. ELIASSON, Björn et al. Associations between HbA1c and glucose time in range using continuous glucose monitoring in type 1 diabetes: cross-sectional population-based study. *Diabetes Therapy*, v. 15, p. 1301–1312, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13300-024-01572-z>.
9. FANG, Yayu et al. Metabolic syndrome in type 1 diabetes: higher time above range and glycemic variability revealed by continuous glucose monitoring (CGM). *Diabetology & Metabolic Syndrome*, v. 17, art. 49, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01602-1>.
10. FRIEDMAN, Jared G. et al. Use of continuous glucose monitors to manage type 1 diabetes mellitus: progress, challenges, and recommendations. *Pharmacogenomics and Personalized Medicine*, v. 16, p. 263–276, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2147/PGPM.S374663>.
11. GHOSH, Manthan; BORA, Vibha Rajesh. Evolution in blood glucose monitoring: a comprehensive review of invasive to non-invasive devices and sensors. *Discover Medicine*, v. 2, art. 74, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44337-025-00273-1>.

12. GOSHRANI, Ashni et al. Time in range—A new gold standard in type 2 diabetes research? *Diabetes, Obesity and Metabolism*, v. 27, p. 2342–2362, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1111/dom.16279>.
13. JOHNSTON, Lucy et al. Advances in biosensors for continuous glucose monitoring towards wearables. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 9, art. 733810, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.733810>.
14. KARAKASIS, Paschalis et al. Effects of glucagon-like peptide-1 receptor agonists on glycated haemoglobin and continuous glucose monitoring metrics as adjunctive therapy to insulin in adults with type 1 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, v. 26, p. 6043–6054, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/dom.15979>.
15. LIN, Rose et al. Continuous glucose monitoring: a review of the evidence in type 1 and 2 diabetes mellitus. *Diabetic Medicine*, v. 38, e14528, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/dme.14528>.
16. PIONA, Claudia et al. Relationships between HbA1c and continuous glucose monitoring metrics of glycaemic control and glucose variability in a large cohort of children and adolescents with type 1 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, v. 177, art. 108933, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108933>.
17. SHERWOOD, Jordan S.; RUSSELL, Steven J.; PUTMAN, Melissa S. New and Emerging Technologies in Type 1 Diabetes. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2020.07.006>.
18. WU, Xinying et al. A systematic review of continuous glucose monitoring sensors: principles, core technologies and performance evaluation. *Sensors and Actuators Reports*, v. 10, art. 100361, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snr.2025.100361>.
19. YAPANIS, Michael et al. Complications of diabetes and metrics of glycemic management derived from continuous glucose monitoring. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, v. 107, p. e2221–e2236, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1210/clinem/dgac034>.
20. YOO, Jee Hee; KIM, Jae Hyeon. Time in Range from Continuous Glucose Monitoring: A Novel Metric for Glycemic Control. *Diabetes & Metabolism Journal*, v. 44, p. 828–839, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4093/dmj.2020.0257>.
21. ZOU, Yuanyuan et al. Minimally invasive electrochemical continuous glucose monitoring sensors: recent progress and perspective. *Biosensors and Bioelectronics*, v. 225, art. 115103, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115103>.