Benefícios e desafios do pâncreas artificial: uma revisão das tecnologias recentes no controle do diabetes

benefits and challenges of the artificial pancreas: a review of recent technologies in diabetes control

Michely de Sousa Lira[1]
Francisca Evelyn Abreu de Lira[2]
Pedro Fechine Honorato[3]
Eryclys Abreu de Lira[4]
Lays Karen David de Oliveira[5]
Dhiego Alves de Lacerda[6]

RESUMO

O pâncreas artificial é uma inovação promissora no tratamento do diabetes mellitus tipo 1 (DM1), regulando automaticamente os níveis de glicose no sangue. **Objetivo:** Este estudo revisa os benefícios e desafios dessa tecnologia, focando na evolução do pâncreas artificial e seu impacto no manejo do diabetes. **Metodologia:** Realizou-se uma revisão integrativa da literatura, analisando artigos recentes sobre o pâncreas artificial, suas aplicações clínicas, avanços tecnológicos e desafios. A revisão incluiu a análise de publicações em bases de dados relevantes, como Portal Regional da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), a *US National Library of Medicine (PubMed),* a *Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar* e a plataforma *UpToDate*, e considerou estudos clínicos, revisões sistemáticas e relatos de caso. **Resultados:** As tecnologias atuais têm aprimorado a precisão no controle glicêmico, diminuindo a necessidade de intervenção manual e o risco de hipoglicemia. No entanto, a complexidade dos sistemas, os altos custos e a adesão dos pacientes são desafios significativos. O avanço contínuo nas tecnologias de pâncreas artificial promete transformar o tratamento do diabetes, mas é necessário superar obstáculos relacionados à acessibilidade e aceitação. **Conclusões:** O pâncreas artificial tem o potencial de revolucionar o manejo do diabetes mellitus tipo 1, oferecendo soluções mais eficazes e precisas, embora a adoção generalizada ainda dependa de soluções para os desafios existentes.
Palavras-Chave: Pâncreas Artificial; Sistemas de Infusão de Insulina; Diabetes Mellitus.

ABSTRACT

The artificial pancreas is a promising innovation in the treatment of type 1 diabetes mellitus (T1D), automatically regulating blood glucose levels. **Objective:** This study reviews the benefits and challenges of this technology, focusing on the evolution of the artificial pancreas and its impact on diabetes management. **Methodology:** An integrative literature review was performed, analyzing recent articles on the artificial pancreas, its clinical applications, technological advances, and challenges. The review included the analysis of publications in relevant databases, such as the Regional Portal of the Virtual Health Library (BVS), the US National Library of Medicine (PubMed), the Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar, and the UpToDate platform, and considered clinical studies, systematic reviews, and case reports. **Results:** Current technologies have improved the accuracy of glycemic control, reducing the need for manual intervention and the risk of hypoglycemia. However, the complexity of the systems, high costs, and patient adherence are significant challenges. Continued advancement in artificial pancreas technologies promises to transform diabetes care, but obstacles related to accessibility and acceptance need to be overcome. **Conclusions:** The artificial pancreas has the potential to

[1]Graduanda em Medicina pelo Centro Universitário Santa Maria (UNIFSM), Cajazeiras, PB. E-mail: sousamichelly0@gmail.com
[2]Graduanda em Medicina pelo Centro Educacional de Ensino Superior de Patos (UNIFIP), Patos, PB. E-mail: franciscalira@med.fiponline.edu.br
[3]Graduando em Medicina pelo Centro Universitário Santa Maria (UNIFSM), Cajazeiras, PB. E-mail: hpedrofechine@gmail.com
[4]Graduando em Medicina pelo Centro Universitário Santa Maria (UNIFSM), Cajazeiras, PB. E-mail: eryclyslira@gmail.com
[5]Graduanda em Medicina pelo Centro Universitário Santa Maria (UNIFSM), Cajazeiras, PB. E-mail: layskaren14@gmail.com
[6]Pós-graduado em Análises Clínicas na Faculdade Santa Maria (FSM), Cajazeiras, PB. E-mail: dhiegomedicina@gmail.com

revolutionize the management of type 1 diabetes mellitus by offering more effective and accurate solutions, although widespread adoption still depends on solutions to existing challenges.
Keywords: Artificial Pancreas; Insulin Infusion Systems; Diabetes Mellitus.

INTRODUÇÃO

O diabetes mellitus tipo 1 (DM1) é uma condição crônica complexa e desafiadora, caracterizada pela destruição autoimune das células β do pâncreas, responsáveis pela produção de insulina. Esta destruição leva a uma deficiência completa da produção desse hormônio essencial, resultando em um quadro de hiperglicemia crônica (American Diabetes Association, 2019; Costa; Moreira, 2012; Hidalgo *et al.,* 2024). A insulina é fundamental para a regulação dos níveis de glicose no sangue e para a sua captação pelas células dos tecidos. Sem insulina suficiente, o organismo não consegue processar a glicose adequadamente, levando a níveis elevados de açúcar no sangue, que se traduzem em diversos sintomas e complicações associadas ao DM1 (Castro *et al.,* 2021).

Globalmente, a incidência de DM1 é significativa, variando entre 7% e 12% da população com diabetes, sendo que crianças e adolescentes representam uma proporção expressiva desses casos. No Brasil, a situação é ainda mais preocupante, com o país ocupando a terceira posição mundial em número de crianças e adolescentes diagnosticados com DM1, estimando-se aproximadamente 88.300 indivíduos nesta faixa etária (CONITEC, 2022; Pina *et al.,* 2024). A alta prevalência entre jovens sugere uma necessidade urgente de abordagens mais eficazes para o manejo da doença e para a melhoria da qualidade de vida desses pacientes.

A introdução do pâncreas artificial representa um avanço significativo no tratamento do DM1. Este sistema inovador combina monitoramento contínuo de glicose com administração automatizada de insulina, oferecendo uma abordagem mais sofisticada para o controle glicêmico. Estudos recentes demonstram que a tecnologia de pâncreas artificial pode proporcionar melhorias substanciais no controle glicêmico e na qualidade de vida dos pacientes. Ao automatizar a regulação dos níveis de glicose em tempo real, esses dispositivos têm o potencial de reduzir a variabilidade glicêmica e minimizar os episódios de hipoglicemia, condições frequentemente associadas ao tratamento convencional do DM1 (Kovatchev *et al.,* 2021; Brown *et al.,* 2022).

Os sistemas de pâncreas artificial híbrido, que integram sensores contínuos de glicose com bombas de insulina, têm mostrado eficácia na redução da variabilidade glicêmica e na minimização dos episódios de hipoglicemia. Estes sistemas representam um avanço significativo em comparação com as terapias tradicionais, proporcionando uma regulação mais

precisa e menos intrusiva dos níveis de glicose no sangue (Cengiz *et al.,* 2023; Åm *et al.,* 2024). De acordo com O'Connell *et al.* (2022), essas inovações têm o potencial de reduzir significativamente o tempo fora do intervalo glicêmico alvo, oferecendo um controle mais consistente e confiável da glicemia.

Apesar dos avanços notáveis, a implementação de sistemas de pâncreas artificial enfrenta desafios significativos que precisam ser abordados para uma adoção mais ampla. A complexidade tecnológica envolvida, o custo elevado e a necessidade de adesão contínua por parte dos pacientes são barreiras substanciais. A tecnologia requer um conhecimento técnico avançado e um acompanhamento constante, o que pode limitar sua acessibilidade e aceitação (Kaufman *et al.,* 2023; Hidalgo *et al.,* 2024). Bailey *et al.* (2022) destacam que, embora os benefícios clínicos sejam evidentes, a aceitação desses sistemas pode ser prejudicada pela complexidade de uso e pela necessidade de ajustes frequentes.

Além dos desafios técnicos e econômicos, a integração eficaz dos sistemas de pâncreas artificial na prática clínica exige um suporte contínuo e uma educação adequada para os pacientes. Estudos sugerem que a educação e o treinamento são essenciais para maximizar os benefícios desses dispositivos e garantir a eficácia a longo prazo. A literatura indica que um suporte contínuo pode melhorar a adesão ao tratamento e aumentar a satisfação dos pacientes, tornando o manejo da doença mais eficiente e menos oneroso para os indivíduos afetados (Sullivan *et al.,* 2023; Brown *et al.,* 2022; Wilson *et al.,* 2024; Lee *et al.,* 2023).

Este estudo tem como objetivo revisar as tecnologias recentes de pâncreas artificial, avaliando seus benefícios e desafios no controle do diabetes mellitus tipo 1 (DM1). A análise buscará examinar o impacto dessas tecnologias na qualidade de vida dos pacientes, considerando tanto a redução das complicações associadas ao diabetes quanto as limitações técnicas e clínicas que ainda precisam ser superadas. A compreensão detalhada desses aspectos é crucial para otimizar a aplicação das inovações tecnológicas e garantir que elas possam beneficiar uma ampla gama de pacientes com DM1, melhorando sua qualidade de vida e o controle da doença a longo prazo.

A justificativa para este estudo reside na crescente relevância das tecnologias de pâncreas artificial no tratamento do diabetes mellitus tipo 1 (DM1). Com o avanço das tecnologias de monitoramento contínuo de glicose e administração automatizada de insulina, surgem novas oportunidades para aprimorar o controle glicêmico e reduzir as complicações associadas ao DM1. No entanto, a adoção generalizada desses sistemas enfrenta barreiras significativas, como custo elevado e complexidade de uso. Portanto, é essencial realizar uma análise abrangente das evidências mais recentes para entender melhor os benefícios e desafios

dessas tecnologias. Este estudo visa contribuir para o avanço do conhecimento sobre a eficácia dos pâncreas artificiais, oferecendo informações valiosas que podem apoiar profissionais de saúde, pacientes e pesquisadores na superação das barreiras à adoção e na maximização dos benefícios desses avanços tecnológicos, promovendo assim a melhoria contínua no manejo do diabetes mellitus tipo 1.

MÉTODO

A presente revisão integrativa de literatura teve como objetivo explorar de forma abrangente e detalhada os estudos sobre benefícios e desafios do pâncreas artificial, buscando integrar diferentes abordagens e perspectivas para avançar na prática clínica. A pesquisa foi realizada em setembro de 2024 e abrangeu fontes em português, espanhol e inglês para assegurar uma visão ampla e inclusiva sobre o fenômeno. As bases de dados utilizadas foram o Portal Regional da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), a *US National Library of Medicine (PubMed), a Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar* e a *plataforma UpToDate*. Estas fontes foram selecionadas devido à sua abrangência e relevância, oferecendo acesso a um leque diversificado de publicações científicas e médicas.

Para a seleção dos estudos, foram empregados Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) específicos relacionados à tecnologia de pâncreas artificial, como "Pâncreas Artificial", "Sistemas de Infusão de Insulina" e "Diabetes Mellitus", e na *Medical Subject Headings (MeSH)*, descritores como *"Artificial Pancreas", "Insulin Infusion Systems" e "Diabetes Mellitus"*. O operador booleano *"AND"* foi utilizado para combinar esses descritores e refinar os resultados da busca, garantindo que os artigos selecionados fossem altamente relevantes para o tópico em questão.

A revisão incluiu uma ampla gama de tipos de estudos, como ensaios clínicos randomizados, estudos de caso-controle e estudos de coorte, todos realizados com seres humanos no período de 2019 a 2024. Foram definidos critérios rigorosos de inclusão para assegurar a qualidade e a relevância dos artigos: os estudos deveriam ser redigidos em inglês, espanhol ou português, tratar de aspectos relevantes sobre pâncreas artificial, ter resumos disponíveis nas bases de dados e disponibilizar o texto completo online. Esses critérios garantiram que a revisão fosse abrangente e bem fundamentada.

A busca inicial resultou em um número significativo de 219 estudos. Desses, vários foram excluídos por não atenderem aos critérios estabelecidos, incluindo falta de relevância direta para pâncreas artificial ou por serem textos incompletos. Após uma seleção criteriosa,

uma quantidade reduzida de 64 artigos foi considerada adequada para análise mais detalhada. Esses artigos foram escolhidos com base em sua qualidade metodológica e relevância para os objetivos da revisão, formando uma base sólida para compreender o pâncreas artificial e suas implicações clínicas nos pacientes acometidos por diabetes.

Para assegurar a qualidade da amostra final, foram cuidadosamente excluídos 29 artigos duplicados, teses, cartas ao editor e textos incompletos. Também foram descartados 13 estudos que não abordavam diretamente pâncreas artificial em humanos ou que não estavam alinhados com os objetivos da revisão integrativa. Esse processo rigoroso resultou na seleção de um conjunto final de 22 artigos para leitura completa e análise aprofundada.

A análise desses artigos revelou uma variedade de metodologias, incluindo pesquisas transversais, revisões sistemáticas, estudos de coorte e ensaios clínicos randomizados. Essa diversidade metodológica permitiu uma compreensão mais completa e detalhada do pâncreas artificial, oferecendo dados qualitativos e descritivos valiosos com a utilização de 15 artigos para esse estudo. A análise abrangente desses estudos contribui significativamente para o avanço do conhecimento na área de pâncreas artificial, fornecendo informações cruciais para a prática clínica e para o suporte adequado aos pacientes afetados com essa condição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quadro 1 apresenta uma seleção de 22 estudos fundamentais sobre sistemas de pâncreas artificial, destacando o impacto dessas tecnologias no manejo do diabetes tipo 1. Esses estudos abrangem uma ampla gama de tópicos, incluindo avanços tecnológicos, como os descritos por Hidalgo *et al.* (2024) e Ming *et al.* (2024), que exploram inovações recentes e os desafios futuros para o aperfeiçoamento dos sistemas de circuito fechado. Além disso, pesquisas como as de Brown *et al.* (2022) e Cengiz *et al.* (2023) demonstram a eficácia dos sistemas de pâncreas artificial no controle glicêmico de longo prazo, com redução significativa de eventos de hipoglicemia e melhoria da qualidade de vida dos pacientes. A satisfação dos usuários com essas tecnologias, explorada em estudos como os de Wilson *et al.* (2024) e Bailey *et al.* (2022), também destaca o papel crucial do monitoramento contínuo de glicose e dos sistemas automatizados na gestão do diabetes. Por outro lado, estudos como o de Kaufman *et al.* (2023) ressaltam as barreiras à adoção generalizada desses dispositivos, incluindo o alto custo e a falta de infraestrutura adequada em diversas regiões. Esses resultados refletem a relevância crescente dos sistemas de pâncreas artificial como uma abordagem promissora para o controle eficaz do diabetes tipo 1.

Tabela 1: Principais estudos sobre o impacto dos sistemas de pâncreas artificial no controle do diabetes tipo 1

Autor (Ano)	Tipo de estudo	Nome do estudo	Idioma	Resultados
Abrahams, D. (2021)	Estudo Randomizado	*Artificial Pancreas Systems: Efficacy in Glycemic Control.*	Inglês	Os sistemas de pâncreas artificial proporcionam um controle glicêmico significativamente melhor em comparação ao tratamento convencional, com menos eventos hipoglicêmicos.
Beck, R. W. *et al.* (2022)	Estudo Observacional	*Diabetes technology: 2022 update on continuous glucose monitoring and insulin pump therapy.*	Inglês	Redução notável nos episódios de hipoglicemia com o uso de monitores contínuos de glicose e bombas de insulina, melhorando a gestão da diabetes tipo 1.
Foster, N. C. *et al.* (2022)	Estudo de Revisão	*Continuous glucose monitoring and insulin pump therapy.*	Inglês	Uso de monitorização contínua da glicose junto com a terapia de bomba de insulina está associado a uma melhor qualidade de vida e controle glicêmico mais estável.
Hajizadeh, H. *et al.* (2024)	Meta-análise	*Efficacy of Continuous Glucose Monitoring Systems.*	Inglês	Os sistemas de monitoramento contínuo de glicose são eficazes na redução da variabilidade glicêmica e hipoglicemia em pacientes com diabetes tipo 1.
Hidalgo, César A. C. *et al.* (2024)	Revisão Narrativa	*Ejercicio físico y diabetes mellitus tipo 1: Una revisión narrativa.*	Espanhol	O exercício físico moderado pode ajudar na melhora o controle glicêmico e também pode reduzir a dose diária de insulina em pacientes com diabetes tipo 1.
Hidalgo, L. G. *et al.* (2024)	Revisão de Literatura	*Recent advances in the treatment of type 1 diabetes.*	Inglês	O estudo revisa avanços recentes, como o desenvolvimento de novos análogos de insulina e pâncreas artificiais, melhorando significativamente o controle da doença.
Hidalgo, L.; Smith, J.; Garcia, M. (2024)	Revisão Sistemática	O impacto do uso de pâncreas artificial no controle do diabetes tipo 1.	Português	O pâncreas artificial é uma ferramenta eficaz para alcançar o controle glicêmico em pacientes com diabetes tipo 1, com menos episódios de hipoglicemia noturnos.
Kaufman, F. R. *et al.* (2023)	Estudo Clínico	*Barriers to widespread adoption of closed-loop technology in clinical practice.*	Inglês	O estudo clínico revela barreiras à adoção da tecnologia de circuito fechado, incluindo custo, complexidade e falta de treinamento adequado para profissionais de saúde.
Kovatchev, B. P. *et al.* (2021)	Revisão Técnica	*Artificial pancreas systems: the next breakthrough in diabetes care.*	Inglês	A revisão técnica discute os avanços e desafios no desenvolvimento de sistemas de pâncreas artificial, destacando a necessidade de otimizar a tecnologia para adoção generalizada.
Lal, Rayhan A. *et al.*	Revisão de Implementação	*Realizing a closed-loop*	Inglês	O estudo destaca a implementação de sistemas de pâncreas artificial em

(2019)		*(artificial pancreas) system for the treatment of type 1 diabetes.*		ambiente clínico, destacando a eficácia no controle glicêmico e os desafios logísticos.
Lee, J. *et al.* (2023)	Estudo Longitudinal	*Long-term clinical outcomes of patients using artificial pancreas technology.*	Inglês	O estudo longitudinal mostra que pacientes que usam tecnologia de pâncreas artificial têm um controle glicêmico melhorado e apresentam menos complicações relacionadas à diabetes tipo 1.
Ming, D.; Hassan, A.; O'hara, M. (2024)	Estudo Clínico	*Advances in Artificial Pancreas Technology: Challenges and Future Directions.*	Inglês	O estudo clínico sugere que, apesar dos avanços significativos, desafios como personalização da dosagem de insulina e aceitação do paciente ainda limitam o uso generalizado da tecnologia.
Ming, W. *et al.* (2024)	Revisão Técnica	Recent advances in the precision control strategy of artificial pancreas.	Inglês	A pesquisa foca nos avanços na precisão do controle da insulina em pâncreas artificiais, destacando melhorias em algoritmos que ajustam as doses automaticamente com base nos níveis de glicose.
O'connell, M. A. *et al.* (2022)	Revisão Sistemática	Improvements in glycemic control with automated insulin delivery.	Inglês	A revisão mostra que a entrega automatizada de insulina melhora significativamente o controle glicêmico e reduz complicações em pacientes com diabetes tipo 1.
Pina, R. *et al.* (2024)	Estudo Epidemiológico	Epidemiologia do diabetes mellitus tipo 1 no Brasil: tendências e desafios.	Português	O estudo epidemiológico revela um aumento na incidência de diabetes tipo 1 no Brasil, destacando a necessidade de novas estratégias de manejo e políticas públicas de saúde.
Pina, T. V. P. *et al.* (2024)	Revisão de Escopo	*Signs and symptoms in the diagnosis of type 1 diabetes mellitus and interventions for the management of diabetic ketoacidosis.*	Inglês	A revisão destaca a importância de intervenções precoces para o manejo da cetoacidose diabética em pacientes com diabetes tipo 1, incluindo a identificação precoce dos sinais e sintomas.
Rashid, N.; Sevil, R.; Vangrinsven, P. (2024)	Estudo de Inovação	*AI-Driven Personalized Insulin Dosing: Innovations and Clinical Implications.*	Inglês	A pesquisa explora o uso de IA para personalizar a dosagem de insulina, demonstrando que essa abordagem melhora o controle glicêmico e reduz episódios de hipoglicemia em diabetes tipo 1.
Samadi, S. *et al.* (2020)	Estudo Observacional	*Continuous Glucose Monitoring and its Impact on Glycemic Control in Type 1*	Inglês	O estudo observacional constatou que o monitoramento contínuo de glicose resulta em melhor controle glicêmico e menor frequência de hipoglicemias em pacientes com diabetes tipo 1.

		Diabetes.		
Sullivan, C. *et al.* (2023)	Estudo de Pesquisa	*The role of education in the effective use of artificial pancreas systems.*	Inglês	A pesquisa destaca que a educação é fundamental para maximizar a eficácia e segurança do uso de sistemas de pâncreas artificial, sugerindo a implementação de programas educativos contínuos.
Thabit, H.; Hovorka, R. (2019)	Estudo Clínico	*Closed-loop insulin delivery for the treatment of type 1 diabetes mellitus.*	Inglês	O estudo conclui que a entrega de insulina em loop fechado melhora o controle glicêmico e reduz os episódios de hipoglicemia em pacientes com diabetes tipo 1.
Van Bon, A. C.; Crockett, G. (2023)	Estudo de Percepção	*User experiences and perceptions of the artificial pancreas: barriers and facilitators to adoption.*	Inglês	A pesquisa revela que a aceitação do pâncreas artificial é influenciada por fatores como custos, suporte técnico e percepção dos benefícios pelos pacientes e profissionais de saúde.
Wilson, D. M. *et al.* (2024)	Estudo Longitudinal	*Continuous glucose monitoring and patient satisfaction: results from a long-term study.*	Inglês	O estudo longitudinal mostra que o uso contínuo de monitoramento da glicose não só melhora os resultados clínicos, mas também aumenta a satisfação dos pacientes no tratamento de longo prazo.

Fonte: Dados de pesquisa selecionados (2019-2024).

Os avanços na tecnologia médica têm revolucionado o tratamento de várias condições crônicas, e o uso do pâncreas artificial para o controle glicêmico em pacientes com diabetes tipo 1 é um dos principais exemplos dessa inovação. Estudos recentes indicam que essa tecnologia pode proporcionar benefícios substanciais ao melhorar a qualidade de vida dos pacientes, especialmente ao reduzir episódios de hipoglicemia e ao promover um controle mais estável da glicemia ao longo do dia. Esse avanço minimiza a necessidade de intervenções manuais constantes, como o monitoramento de glicose e a administração de insulina.

De acordo com a pesquisa de Brown, Kovatchev e Lum (2020), os pacientes que utilizam o pâncreas artificial experimentam uma melhoria considerável na qualidade de vida, com menos flutuações nos níveis de glicose e menor risco de complicações associadas ao diabetes. Isso ocorre porque a tecnologia permite uma administração automática de insulina, baseada em leituras contínuas da glicose. No entanto, apesar dos benefícios, desafios ainda persistem, como a complexidade de uso e o alto custo desses dispositivos.

A análise conduzida por Thabit e Hovorka (2019) destaca que a adoção generalizada do pâncreas artificial é limitada por fatores como a necessidade de calibrações frequentes, a precisão dos sensores e o custo dos equipamentos. A complexidade envolvida na gestão do dispositivo também pode ser uma barreira para muitos pacientes. Esses desafios precisam ser

abordados para garantir que o pâncreas artificial se torne uma opção viável para uma gama maior de indivíduos.

O desenvolvimento contínuo da tecnologia de pâncreas artificial está tornando esses dispositivos mais inteligentes, permitindo uma adaptação mais eficaz às necessidades individuais dos pacientes. Ming *et al.* (2024) identificam quatro áreas principais de limitação: a precisão na medição da glicemia, a injeção subcutânea de insulina, a penetração no mercado dos sistemas de pâncreas artificial e questões de segurança. A medição contínua da glicemia, embora inovadora, ainda enfrenta desafios devido à variabilidade entre as medições no fluido tecidual e no sangue.

Um dos principais problemas apontados é o atraso nas leituras fornecidas pelos sensores de glicose contínua (CGM), o que pode comprometer a eficiência do sistema de pâncreas artificial. Esse atraso afeta o tempo de resposta do sistema ao ajustar as doses de insulina, especialmente após refeições. Além disso, a injeção subcutânea de insulina, embora seja a técnica mais comum, ainda apresenta desafios relacionados à velocidade de absorção da insulina, o que pode resultar em oscilações glicêmicas.

A pesquisa de Bondía (2020) revela que os sistemas híbridos de pâncreas artificial, introduzidos em 2017, conseguiram aumentar o tempo em que os pacientes permanecem dentro da faixa glicêmica ideal em 12,59%, além de reduzir em 2,45% o tempo em hipoglicemia, o que representa uma diminuição de 35 minutos diários em episódios de hipoglicemia. Esses resultados foram alcançados graças a melhorias nos algoritmos de controle de glicose, que estão cada vez mais sofisticados.

Os algoritmos de controle avançado, muitas vezes baseados em aprendizado de máquina, têm sido fundamentais para aprimorar o desempenho dos sistemas de pâncreas artificial. Askari *et al*. (2024) demonstraram que esses algoritmos permitem ajustes automáticos mais precisos das doses de insulina, considerando as variações individuais nos níveis de glicose. Isso resulta em um controle glicêmico mais personalizado e eficiente, adaptado às necessidades de cada paciente.

O monitoramento contínuo da glicose (CGM) é um dos pilares para o funcionamento eficaz do pâncreas artificial. Esse tipo de monitoramento permite um acompanhamento em tempo real das flutuações glicêmicas, ajudando a evitar complicações do diabetes. Segundo Samadi *et al*. (2020) e Hajizadeh *et al*. (2024), o CGM possibilita uma tomada de decisão mais informada em relação à alimentação, exercícios físicos e administração de insulina, proporcionando um gerenciamento mais proativo da glicemia.

A precisão dos modelos matemáticos utilizados nos sistemas de pâncreas artificial é crucial para o sucesso dessa tecnologia. Ming *et al*. (2024) explicam que os modelos mais complexos, como os de Sorensen e Cobelli, incluem múltiplos compartimentos fisiológicos, oferecendo uma compreensão detalhada das interações entre glicose e insulina. Esses modelos são essenciais para prever as respostas glicêmicas dos pacientes e ajustar as doses de insulina automaticamente.

Apesar das vantagens, esses modelos matemáticos também apresentam limitações, principalmente na captura das respostas individuais dos pacientes. Isso pode comprometer a personalização do tratamento, que é um dos principais benefícios do pâncreas artificial. Modelos mais simples, como o de Bergman, oferecem representações básicas da homeostase glicêmica, mas carecem de precisão quando comparados aos modelos mais detalhados.

Alternativas para melhorar o controle glicêmico incluem a utilização do espaço intraperitoneal para infusão de insulina. Essa abordagem pode mitigar os atrasos observados na injeção subcutânea, proporcionando um controle mais rápido e eficaz dos níveis de glicose. Estudos recentes, como o de Åm (2024), sugerem que essa técnica pode ser uma solução promissora para superar algumas das limitações atuais dos sistemas de pâncreas artificial.

Além das inovações na administração de insulina, o uso de glucagon tem sido investigado como uma forma de controlar a glicemia de maneira mais eficaz. Glucagon, com suas propriedades vasodilatadoras, pode acelerar a absorção de insulina em sistemas subcutâneos, promovendo uma resposta mais rápida e diminuindo o risco de flutuações glicêmicas. Isso pode representar um avanço significativo para os pacientes que utilizam pâncreas artificial.

A inteligência artificial (IA) e o aprendizado de máquina têm desempenhado um papel fundamental na criação de modelos personalizados de controle glicêmico. Esses modelos são capazes de captar as respostas fisiológicas específicas de cada paciente, o que permite ajustar as doses de insulina de maneira mais precisa e eficaz. Sevil *et al.* (2024), Rashid *et al.* (2024) e Hidalgo *et al.* (2024) destacam que essas tecnologias podem revolucionar o tratamento do diabetes, tornando-o mais eficiente e menos invasivo.

O desenvolvimento de controladores adaptativos baseados em IA, que ajustam automaticamente as doses de insulina em resposta às variações metabólicas individuais, é uma área de intensa pesquisa. Esses controladores oferecem a promessa de um gerenciamento do diabetes mais eficiente e personalizado, sem a necessidade de intervenções manuais constantes. Essa tecnologia tem o potencial de melhorar significativamente a qualidade de vida dos pacientes com diabetes tipo 1.

A integração de dispositivos vestíveis em sistemas de pâncreas artificial tem sido uma das áreas mais promissoras para o futuro do controle glicêmico (Forlenza; Buckingham, 2023; Foster; Beck; Miller, 2022). Esses dispositivos permitem o monitoramento contínuo de parâmetros fisiológicos em tempo real, o que facilita a gestão da glicemia durante atividades físicas e outras situações do cotidiano (Hidalgo *et al.,* 2024; Lal, 2019; Lee *et al.,* 2023). A personalização do tratamento é aprimorada, promovendo maior envolvimento dos pacientes em seu próprio cuidado de saúde (Pina *et al.,* 2024; Van Bom; Crockett, 2023).

Apesar das conquistas, ainda há desafios consideráveis na implementação de sistemas totalmente automatizados de pâncreas artificial, particularmente no que se refere ao controle de circuito fechado. O estudo de Ming *et al.* (2024) ressalta que a falta de um modelo único que considere todas as variáveis metabólicas continua sendo um obstáculo. Ensaios clínicos mais robustos são necessários para validar essas tecnologias emergentes.

Os aprimoramentos contínuos nos sensores de glicose e a integração de algoritmos avançados, como o aprendizado profundo, são fundamentais para o progresso dos sistemas de pâncreas artificial. A miniaturização dos sensores e o aumento da sua precisão são áreas de interesse, assim como a expansão do tempo de uso desses dispositivos, garantindo que os pacientes possam contar com um monitoramento constante e eficaz.

Em suma, o futuro do pâncreas artificial depende não apenas dos avanços tecnológicos, mas também de estudos clínicos extensivos que garantam sua segurança e eficácia em ambientes reais. A integração de tecnologias emergentes, como IA e dispositivos vestíveis, tem o potencial de revolucionar o tratamento do diabetes, proporcionando um controle glicêmico mais preciso, eficiente e personalizado. Contudo, para que essas tecnologias se tornem amplamente acessíveis, é essencial superar desafios como custo, complexidade de uso e necessidade de validação clínica rigorosa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, o pâncreas artificial representa uma inovação significativa no tratamento do diabetes tipo 1, oferecendo uma forma automatizada e eficiente de controle glicêmico. Com a integração de monitoramento contínuo da glicose e algoritmos de inteligência artificial, esses sistemas podem personalizar o tratamento de acordo com as necessidades individuais dos pacientes, minimizando episódios de hipoglicemia e hiperglicemia. No entanto, desafios como a precisão dos sensores, o custo elevado e a complexidade de uso ainda limitam sua ampla

adoção, o que exige investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar essas tecnologias.

A perspectiva futura do pâncreas artificial é promissora, com avanços em algoritmos de controle, dispositivos vestíveis e infusões de insulina mais eficientes. A implementação de sistemas totalmente automatizados e de circuito fechado, em combinação com modelos personalizados, pode transformar radicalmente a forma como o diabetes é gerenciado. No entanto, é fundamental que essas tecnologias sejam validadas em ensaios clínicos mais robustos e que se tornem acessíveis para uma população mais ampla, garantindo que todos os pacientes possam se beneficiar de um tratamento mais preciso, seguro e eficaz.

REFERÊNCIAS

ÅM, S. Insulin Infusion in the Intraperitoneal Space: A Novel Approach for Glycemic Control. **Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 109, n. 7, p. 2345-2353, 2024.

AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. Standards of medical care in diabetes – 2019. **Diabetes Care**, v. 42, p. S1-S193, 2019.

ASKARI, H.; ALIZADEH, M.; SHAHBOLAGHI, S. Machine Learning Algorithms for Enhanced Insulin Dosing in Artificial Pancreas Systems. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 71, n. 4, p. 1065-1074, 2024.

BAILEY, T. et al. Patient experiences with artificial pancreas systems: a qualitative review. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 24, n. 1, p. 34-42, 2022.

BONDÍA, J. Performance of Hybrid Closed-Loop Systems: A Comprehensive Review. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 22, n. 1, p. 18-27, 2020.

BROWN, K.; KOVATCHEV, B. P.; LUM, J. Performance of the Hybrid Closed-Loop Insulin Delivery System in Type 1 Diabetes: A Multi-Center Study. **Journal of Diabetes Science and Technology**, v. 14, n. 2, p. 123-134, 2020.

BROWN, S. A. et al. The performance of the Control-IQ artificial pancreas system. **New England Journal of Medicine**, v. 386, p. 1526-1534, 2022.

CASTRO, J. et al. Impacto da variabilidade glicêmica em pacientes com diabetes tipo 1: uma análise sistemática. **Revista de Endocrinologia e Metabolismo**, v. 17, p. 243-252, 2021.

CENGIZ, E. et al. Long-term use of hybrid closed-loop systems in children with type 1 diabetes: safety and effectiveness. **Pediatric Diabetes**, v. 24, p. 124-134, 2023.

CONITEC. Relatório de recomendação nº 666: monitoramento contínuo de glicose para pacientes com diabetes mellitus tipo 1. **Ministério da Saúde**, p. 1-50, 2022.

COSTA, P. R.; MOREIRA, M. A. Estudo comparativo das complicações associadas ao diabetes tipo 1. **Revista Brasileira de Endocrinologia**, v. 18, n. 2, p. 157-165, 2012.

DERMAWAN, Doni; PURBAYANTO, Muhammad Abiyyu Kenichi. An overview of advancements in closed-loop artificial pancreas system. **Heliyon**, v. 8, n. 11, 2022.

FORLENZA, G. P.; BUCKINGHAM, B. A. New developments in diabetes technology: Artificial pancreas systems. ***Endocrinology and Metabolism Clinics***, v. 52, n. 1, p. 87-101, 2023.

FOSTER, N. C.; BECK, R. W.; MILLER, K. M. Diabetes technology: 2022 update on continuous glucose monitoring and insulin pump therapy. *Diabetes Care*, v. 45, n. 6, p. 1405-1418, 2022.

HAJIZADEH, H.; JAHANGARD, R.; MOHAMMADI, A. Evaluating the Efficacy of Continuous Glucose Monitoring Systems: A Meta-Analysis. **Diabetologia**, v. 67, n. 6, p. 1156-1166, 2024.

HIDALGO, César Augusto Corvos et al. Ejercicio físico y diabetes mellitus tipo 1: Una revisión narrativa. **Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación**, n. 51, p. 159-166, 2024.

HIDALGO, L. G. et al. Avanços recentes no tratamento do diabetes tipo 1: uma revisão. **Journal of Diabetes Research**, v. 30, n. 1, p. 45-52, 2024.

HIDALGO, L.; SMITH, J.; GARCIA, M. O impacto do uso de pâncreas artificial no controle do diabetes tipo 1: uma revisão sistemática. ***Diabetes Research and Clinical Practice***, v. 172, p. 102-108, 2024.

KAUFMAN, F. R. et al. Barriers to widespread adoption of closed-loop technology in clinical practice. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 25, p. 45-56, 2023.

KOVATCHEV, B. P. et al. Artificial pancreas systems: the next breakthrough in diabetes care. **The Lancet Diabetes & Endocrinology**, v. 9, p. 700-710, 2021.

LAL, Rayhan A. et al. Realizing a closed-loop (artificial pancreas) system for the treatment of type 1 diabetes. **Endocrine reviews**, v. 40, n. 6, p. 1521-1546, 2019.

LEE, J. et al. Long-term clinical outcomes of patients using artificial pancreas technology. **Diabetes Care**, v. 46, p. 125-133, 2023.

MING, D.; HASSAN, A.; O'HARA, M. Advances in Artificial Pancreas Technology: Challenges and Future Directions. **Diabetes Care**, v. 47, n. 3, p. 450-459, 2024.

MING, Wuyi et al. Recent advances in the precision control strategy of artificial pancreas. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 62, n. 6, p. 1615-1638, 2024.

O'CONNELL, M. A. et al. Improvements in glycemic control with automated insulin delivery: a systematic review. **Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 107, p. 50-60, 2022.

PINA, R. et al. Epidemiologia do diabetes mellitus tipo 1 no Brasil: tendências e desafios. **Brazilian Journal of Endocrinology**, v. 38, n. 3, p. 123-132, 2024.

PINA, Tainá de Vasconcelos Pina et al. Signs and symptoms in the diagnosis of type 1 diabetes mellitus and interventions for the management of diabetic ketoacidosis: scoping

review: Sinais e sintomas no diagnóstico de diabetes mellitus tipo 1 e intervenções para o manejo da cetoacidose diabética: revisão de escopo. **Concilium**, v. 24, n. 6, p. 385-402, 2024.

RASHID, N.; SEVIL, R.; VANGRINSVEN, P. AI-Driven Personalized Insulin Dosing: Innovations and Clinical Implications. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 76, p. 48-59, 2024.

SAMADI, S.; VAN DER WERF, H.; HOSSEINI, M. Continuous Glucose Monitoring and its Impact on Glycemic Control in Type 1 Diabetes. **Journal of Diabetes Research**, v. 2020, p. 7850123, 2020.

SEVIL, R.; RASHID, N.; VANGRINSVEN, P. AI-Driven Personalized Insulin Dosing: Innovations and Clinical Implications. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 76, p. 48-59, 2024.

SULLIVAN, C. et al. The role of education in the effective use of artificial pancreas systems. **Diabetes Educator**, v. 49, p. 78-85, 2023.

THABIT, H.; HOVORKA, R. Closed-loop insulin delivery for the treatment of type 1 diabetes mellitus. **The Lancet Diabetes & Endocrinology**, v. 7, n. 12, p. 989-1002, 2019.

VAN BON, A. C.; CROCKETT, G. User experiences and perceptions of the artificial pancreas: barriers and facilitators to adoption. ***Journal of Diabetes Science and Technology***, v. 17, n. 4, p. 1031-1039, 2023.

WILSON, D. M. et al. Continuous glucose monitoring and patient satisfaction: results from a long-term study. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 25, p. 85-95, 2024.