

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS AUTOMATIZADOS E MANUAIS NA ANÁLISE BIOQUÍMICA DA GLICOSE: HÁ DIFERENÇAS?



Nahyra Lancetti Daher da Silva Oliveira¹; Gabrielle Beatriz Pereira Pessamili¹; Larissa Vitória de Oliveira Mendes¹; Leonardo José Maia de Moraes¹; João Victor Gonçalves Barbosa¹; Luara Moreira Marques¹; Elizângela Rodrigues Assunção Silva²; Pedro Thadeu Rocha Sales³; Patricia Nessralla Alpoim⁴; Marina Rodrigues Chagas⁵; Aislander Junio da Silva^{6,B}

¹Acadêmicos do Curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Lourdes.

²Biomédica, Graduanda em Enfermagem. Técnica de Laboratório no Ensino Superior na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Lourdes.

³Biomédico e Graduando em Ciência da Computação. Assessor Científico da Central de Artigos para Laboratórios, Belo Horizonte.

⁴Professora de Bioquímica Clínica do Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha.

⁵Biotechnologista e Mestre em Análises Clínicas e Toxicológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha. Analista de Pesquisa e Desenvolvimento na Vida Biotecnologia, Belo Horizonte.

⁶Professor de Bioquímica Clínica do Departamento de Biomedicina do Instituto de Ciências Biológicas e Saúde da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Lourdes. Doutorando em Análises Clínicas e Toxicológicas na Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha.

RESUMO

A realização de análises bioquímicas em laboratórios pode ser conduzida por métodos manuais e/ou automatizados, cada um desses apresentando características específicas relacionadas ao desempenho analítico e operacional, que podem afetar a qualidade e confiabilidade dos resultados. Este estudo teve como objetivo comparar duas metodologias, avaliando a precisão, exatidão e reprodutibilidade na dosagem de glicose, e como as variações entre esses métodos podem impactar a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados. Este trabalho foi conduzido a partir da análise em espectrofotômetro UV-Vis e o analisador bioquímico Audmax 240i, de 55 amostras obtidas durante as aulas práticas da disciplina de bioquímica clínica. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística para verificação de diferenças significativas entre os métodos avaliados. A comparação entre os métodos demonstrou diferenças significativas ($p=0,0408$) nos resultados das análises. O método manual apresentou maior dispersão dos resultados, com coeficiente de variação de 32,88%, enquanto o automatizado apresentou menor variabilidade analítica, com coeficiente de variação de 16,46%. O método automatizado apresentou também menor tempo na execução, reduzindo o risco de erros humanos e variabilidade analítica. Já o processo manual retratou maior tempo de processamento e se apresentou mais sujeito à variabilidade associada à execução das etapas analíticas e operacionais. Conclui-se que, embora ambos os métodos sejam aplicáveis à determinação da glicose plasmática, a automação laboratorial contribui para a melhoria da qualidade analítica e da confiabilidade dos exames de glicose.

Palavras-chave: Glicose; método automatizado; método manual.

^BAutor Correspondente: Aislander Junio da Silva - E-mail: aislander@live.com - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8939-0679>

DOI: <https://doi.org/10.46675/rbcm.v7i1.117>. Artigo recebido em: 11 de junho de 2026; aceito em 15 de junho de 2026; publicado 19 de junho de 2026 na Revista Brasileira de Ciências Biomédicas, disponível online em www.rbcm.com.br. Todos os autores contribuíram igualmente o artigo. Os autores declaram não haver conflito de interesse Este é um artigo de acesso aberto sob a licença CC - BY: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

ABSTRACT

The performance of biochemical analyses in laboratories may be conducted through manual and/or automated methods, each presenting specific characteristics related to analytical and operational performance, which may affect the quality and reliability of the results. This study aimed to compare two methodologies, evaluating precision, accuracy, and reproducibility in glucose measurement, and how variations between these methods may impact the reliability and comparability of the results. The work was carried out using UV-Vis spectrophotometry and the Audmax 240i biochemical analyzer, analyzing 55 samples obtained during practical classes of the clinical biochemistry course. The data collected were subjected to statistical analysis to verify significant differences between the evaluated methods. The comparison revealed significant differences ($p = 0.0408$) in the analytical results. The manual method showed greater dispersion of results, with a coefficient of variation of 32.88%, whereas the automated method demonstrated lower analytical variability, with a coefficient of variation of 16.46%. The automated method also required less execution time, thereby reducing the risk of human error and analytical variability. Conversely, the manual process entailed longer processing time and proved more susceptible to variability associated with the execution of analytical and operational steps. It is concluded that, although both methods are applicable to the determination of plasma glucose, laboratory automation contributes to the enhancement of analytical quality and the reliability of glucose testing.

Keywords: Glucose; automated method; manual method.

INTRODUÇÃO

Historicamente, as análises bioquímicas dependiam quase exclusivamente de técnicas manuais. Etapas essenciais, como pipetagem, homogeneização, preparo de reagentes e controle do tempo de reação, ficavam totalmente a cargo do operador. Embora esses métodos tenham sido a base do avanço da bioquímica clínica e ainda resistam em diversos laboratórios, essa forte dependência humana traz um desafio: a alta variabilidade e a maior vulnerabilidade a erros na fase analítica. Em contrapartida, a automação laboratorial transformou esse cenário ao introduzir analisadores bioquímicos equipados com pipetagem automatizada, calibração eletrônica e sistemas rigorosos de controle interno de qualidade, elevando os patamares de padronização, rastreabilidade e reprodutibilidade [1].

Essa evolução fica evidente nas metodologias de dosagem glicêmica. Revisões recentes mostram que os testes de glicose acompanharam o ritmo da automação, resultando em análises muito mais precisas e reprodutíveis [2]. Contudo, a convivência entre as duas realidades revela que diferenças operacionais sutis, na calibração, no tempo de reação ou no manuseio das amostras, ainda geram discrepâncias nos resultados, com potenciais impactos nas decisões clínicas [3-4]. Por isso, entender as particularidades, as limitações e o alcance de cada método são indispensáveis para interpretar os laudos com segurança e garantir a qualidade no laboratório.

Mais do que apenas cruzar dados estatísticos, os estudos de comparação metodológica servem para entender na prática como a interferência humana, a calibração dos equipamentos e a rotina operacional afetam o diagnóstico, como apontam Putri et al. [5]. Vale lembrar que a confiabilidade de um exame não termina na bancada; ela começa bem antes, sendo profundamente influenciada por fatores pré-analíticos, como a coleta correta, o armazenamento e o processamento das amostras biológicas.

A análise comparativa constitui uma importante ferramenta metodológica para identificar semelhanças, diferenças e relações entre objetos ou processos estudados, contribuindo para a geração de conhecimento científico [6]. Diante disso, este estudo realiza uma análise comparativa entre o método manual e o automatizado na determinação da glicose plasmática, avaliando critérios de precisão, fidedignidade, variabilidade e desempenho prático. Para além dos números, busca-se compreender os pontos fortes e os gargalos de cada metodologia, abordando uma visão clara sobre o papel e a aplicabilidade de cada ferramenta na rotina da bioquímica clínica atual.

OBJETIVOS

Objetivo geral:

Comparar o desempenho analítico e operacional dos métodos automatizados e manuais na dosagem de glicose sanguínea, considerando as variações apresentadas.

Objetivos específicos:

Avaliar a fidedignidade e a precisão analítica dos métodos, por meio da comparação de parâmetros analíticos como média, mediana, desvio padrão, intervalo interquartil e coeficiente de variação (CV%);

Comparar os resultados obtidos pelos métodos analisados, observando possíveis diferenças na reprodutibilidade e correlação dos valores, avaliando a normalidade pelo método de D'Agostino e Pearson e aplicando o teste de Wilcoxon para avaliação de dois grupos pareados;

Avaliar a concordância e variabilidade analítica entre os resultados obtidos pelos métodos manual e automatizado;

Analisar a influência de fatores operacionais relacionados ao

fator humano e à calibração dos equipamentos;

Comparar o tempo médio de processamento das amostras entre os métodos, a fim de avaliar a eficiência operacional de cada técnica;

METODOLOGIA

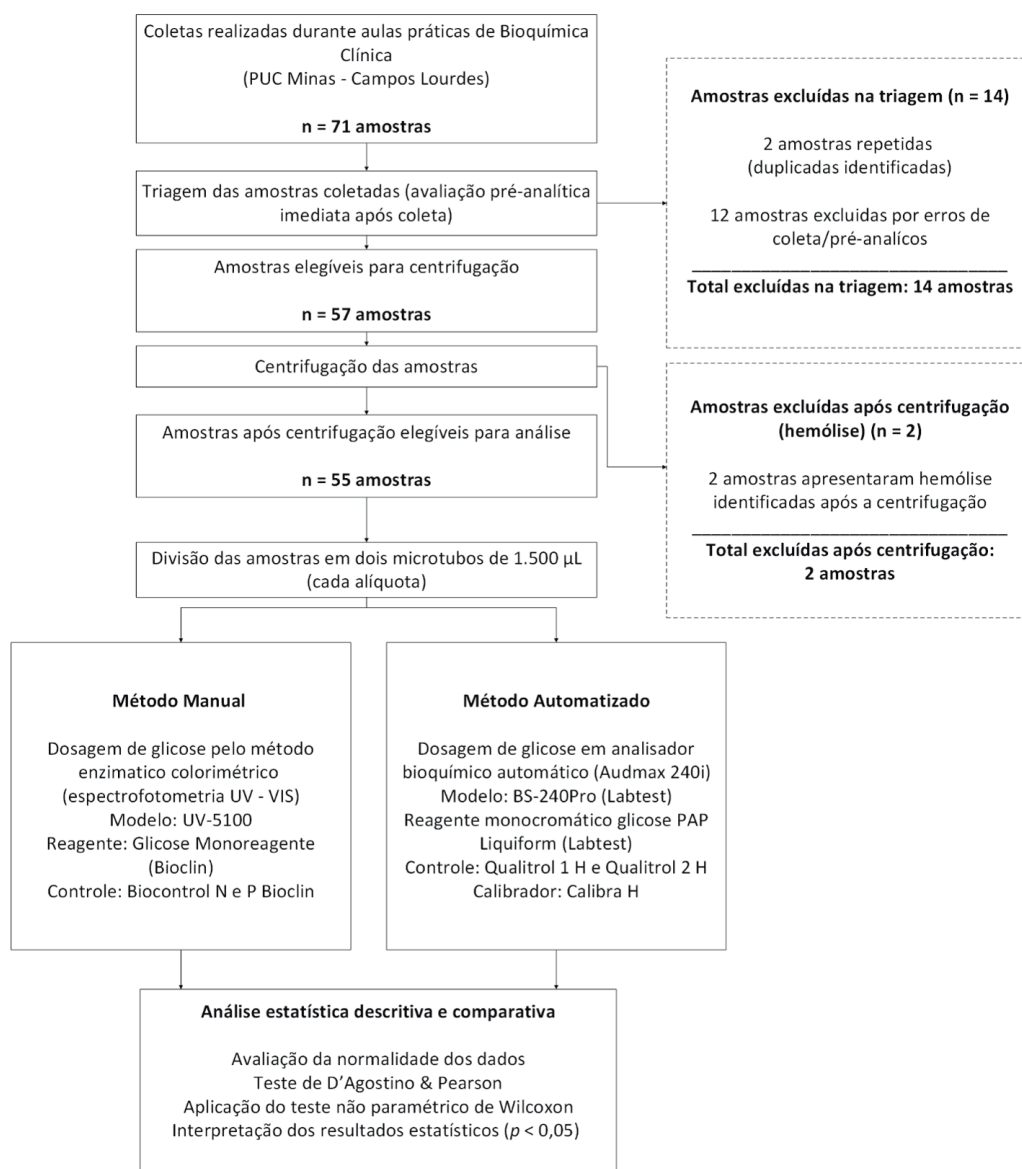
Amostras do estudo

O presente trabalho conta com uma análise comparativa e analítica dos dados obtidos entre métodos automatizados e manuais nos índices plasmáticos da glicose. 71 amostras foram obtidas (**Figura 1**) durante as aulas práticas do curso de

Biomedicina da PUC Minas, no *Campus Lourdes*, especificamente na disciplina de Bioquímica Clínica. As coletas ocorreram em um intervalo de 12 meses em tubos contendo fluoreto de sódio e EDTA, com o objetivo de evitar a glicólise.

Após a coleta, o material biológico foi centrifugado e aliquotado em dois microtubos de 1.500 µL, sendo uma alíquota destinada ao exame manual e a outra ao automatizado. As alíquotas foram nomeadas em TA (Técnica automatizada) e TM (Técnica manual). Em seguida, as amostras foram registradas e controladas por meio de uma planilha, assegurando a rastreabilidade e o monitoramento de variáveis como data da coleta, tipo de material, método empregado, dentre outras condições. Todas as amostras foram mantidas em freezer -20°C.

Figura 1: Fluxograma da metodologia



Fonte: Dos autores

Aspectos Éticos

Enfatizamos, para os devidos fins, que o presente estudo não requer submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), por tratar-se de uma pesquisa de caráter metodológico e comparativo, baseada exclusivamente na comparação de resultados obtidos por diferentes técnicas laboratoriais.

As análises foram realizadas utilizando amostras de sangue previamente coletadas para fins estudantis, durante aulas de bioquímica clínica do curso de biomedicina da PUC Minas Campus Lourdes. Dessa forma, o presente estudo está conforme no que tange a situação de dispensa de apreciação ética prevista na Resolução CNS nº 510/2016 e nos princípios estabelecidos pela Resolução CNS nº 466/2012.

Método manual

O método manual foi realizado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Lourdes, no Laboratório Integrado, utilizando reagentes da empresa Bioclin®. A técnica consistiu na realização de um teste enzimático colorimétrico para determinação da glicose, utilizando espectrofotômetro UV-Vis modelo UV-5100 (*Metash, Shanghai Metash Instruments Co., Ltd., China*), kit reagente glicose monoreagente, banho-maria a 37°C, além de materiais laboratoriais como micropipetas, ponteiras, tubos de ensaio e cronômetro.

Para a realização da dosagem de glicose, foram identificados três tubos de ensaio como branco, padrão e amostra/teste. Inicialmente, foram pipetados 3,0 mL do reagente enzimático em cada tubo, volume este utilizado devido à limitação do espectrofotômetro, que aceitava apenas leituras com volume mínimo de 3 mL. Em seguida, foram adicionados 30 µL da solução padrão ao tubo identificado como padrão e 30 µL da amostra ao respectivo tubo de amostra, mantendo a proporção original do teste por meio da triplicação dos volumes descritos pelo fabricante.

Após a adição dos componentes, foi realizada a homogeneização manual das soluções. Os tubos foram incubados em banho-maria a 37 °C por 10 minutos. Após o período de incubação, as soluções foram transferidas para cubetas específicas para leitura em espectrofotômetro.

O equipamento foi configurado em comprimento de onda de 505 nm (faixa de 490 a 550 nm), preconizada pela fabricante, utilizando o tubo branco para calibração do equipamento. Em seguida, foram realizadas as leituras das absorvâncias, e os resultados obtidos foram registrados para posterior realização dos cálculos. Os cálculos foram realizados através do programa excel® da Microsoft. Ressalta-se que a coloração formada na solução apresenta estabilidade de 30 minutos, devendo a leitura ser realizada dentro desse intervalo para garantir a confiabilidade dos resultados.

Método automatizado

O método automatizado foi realizado na Universidade Federal

de Minas Gerais, na Faculdade de Farmácia, no Laboratório de Bioquímica Clínica, utilizando reagente monocromático glicose PAP Liquiform, referência 84-2/250, lote 202510; calibrador Calibra H, referência 80-1, lote 202501; controle não patológico Qualitrol 1H, referência 71-1, lote 202501; controle patológico Qualitrol 2H, referência 72-1, lote 202201; todos da empresa Labtest® e distribuídos pela Centerlab (Central de Artigos para Laboratórios CD - Belo Horizonte).

A técnica consistiu na utilização do Audmax 240i modelo BS-240 Pro (*Mindray, Shenzhen Mindray Bio-medical Electronics CO., LTD., China*), um analisador bioquímico automático. O processo é totalmente computadorizado e randômico, projetado para a determinação quantitativa de analitos para diagnóstico *in vitro* em diversas amostras biológicas. Seu princípio de medição é através de um sistema fotométrico que converte a intensidade luminosa em um sinal elétrico e calcula a absorvância ou a taxa de variação dessa absorvância.

Inicialmente, foi realizada a reconstituição com água deionizada dos materiais utilizados no ensaio: o calibrador foi reconstituído com 3 mL e, tanto o Qualitrol 1H quanto o Qualitrol 2H foram reconstituídos com 5 mL; diluímos também a solução desproteinizante com água deionizada na proporção de 1:100 (essa é utilizada para limpeza interna do equipamento, incluindo cubetas e linhas do sistema). Em seguida, realizamos a configuração do software no computador acoplado à máquina.

O equipamento utiliza o sistema de carrossel de amostras, seu software conta com o conceito de “carrossel virtual”, disponível no sistema da Labtest, no qual determinadas posições são reservadas para calibradores e reagentes. O software contém informações pré-programadas sobre a composição dos reagentes e controles e as determinações analíticas da substância a ser dosada. Na calibração bioquímica, o sistema realiza inventário automático dos reagentes e, sempre que ocorre troca de lote, é necessário cadastrar os novos valores de referência devido às alterações nas concentrações. Como o lote de nosso kit não estava cadastrado na máquina, foi realizado cadastro, por conseguinte, o experimento.

O próximo passo consistiu no processamento do reagente glicose PAP, de lote 202510. Para isso, utilizamos um frasco novo e fizemos a ambientação do mesmo com o reagente descartando o conteúdo inicial despejado. Em seguida, enchemos o frasco com 20 mL do reagente. Após isso, iniciou-se a preparação das amostras e controles. O calibrador e os controles 1 e 2 foram vertidos em tubos de ensaio previamente identificados e as amostras permaneceram nos microtubos inicialmente utilizados para a alíquotagem após coleta.

Antes do processamento, todas as amostras foram homogeneizadas no vórtex para eliminar possíveis sedimentações. Os controles internos foram testados e precisaram permanecer dentro da faixa de aceitabilidade estabelecida pelo fabricante para validação da corrida analítica. As amostras foram simultaneamente cadastradas no sistema e posicionadas nas mesmas posições físicas do equipamento, garantindo rastreabilidade e correta identificação. O equipamento possui capacidade total para 50 amostras por corrida analítica.

Análises Estatísticas

A análise estatística foi realizada utilizando o programa GraphPad Prism® (2021). A normalidade dos dados foi testada pelo método de D'Agostino & Pearson. Os dados paramétricos foram apresentados como média e desvio padrão. Os dados não paramétricos foram apresentados como mediana e intervalo interquartil.

A comparação dos resultados entre dois grupos independentes foi realizada pelo teste de Mann-Whitney para variáveis não paramétricas. As variáveis com distribuição normal foram analisadas pelo teste t de Student não pareado. Para comparações entre amostras pareadas, foi utilizado o teste de Wilcoxon para dados não paramétricos e o teste t de Student pareado para dados paramétricos.

RESULTADOS

A avaliação da normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de D'Agostino & Pearson, uma vez que a amostragem foi superior a 50 unidades. Os resultados demonstraram distribuição normal para o método TM ($p = 0,1217$), enquanto o método TA apresentou distribuição não normal ($p < 0,0001$) (Tabela 1). Considerando a ausência de normalidade em uma das variáveis analisadas considerou-se a aplicação de testes não paramétricos. Como se trata de grupos pareados optou-se pela utilização do teste não paramétrico de Wilcoxon na comparação entre os métodos.

Tabela 1. Teste de normalidade de D'Agostino-Pearson para os níveis de glicose sanguínea apurados pelos métodos manual e automatizado.

Teste de D'Agostino & Pearson	TM	TA
Valor de P	0,1217	<0,0001
Passou no teste de normalidade ($\alpha = 0,05$)?	Yes	No

Legenda: TM para Técnica Manual e TA para Técnica Automatizada.

Na análise descritiva, o método TM apresentou média e desvio padrão de $103,5 \pm 34,03$, uma mediana de 95,4 e coeficiente de variação de 32,88%, evidenciando maior dispersão dos resultados. O método TA apresentou média e desvio padrão de $91,71 \pm 15,09$, mediana de 90,0 e coeficiente de variação de 16,46%, demonstrando menor variabilidade entre as medidas obtidas (Tabela 2).

A comparação entre os métodos pelo teste de Wilcoxon revelou diferença estatisticamente significativa entre os resultados obtidos ($p = 0,0408$) (Figura 2), considerando nível de significância de 5%. Esses achados indicam que os métodos TM e TA apresentam desempenho analítico distinto para a variável avaliada, sugerindo que diferenças metodológicas podem influenciar os valores obtidos nas análises.

Tabela 2. Análise estatística descritiva comparativa dos níveis de glicose sanguínea (mg/dL) registrados pelos métodos manual e automatizado.

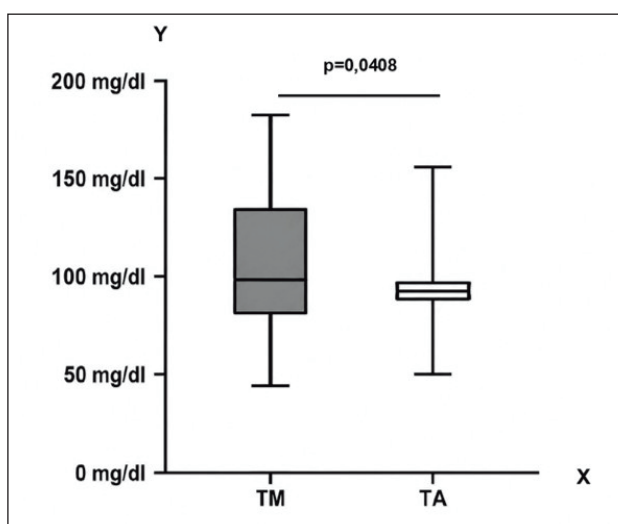
Estatísticas descritivas	TM	TA
Quantidade de valores	55	55
Mínimo	42.80	47.00
Percentil 25%	77.90	85.00
Mediana	95.40	90.00
Percentil 75%	132.9	95.00
Máximo	177,6	154.0
Amplitude	134.8	107.0
Média	103.5	91.71
Desvio padrão	34.03	15.09
Erro padrão da média	4.589	2.035
Coefficiente de variação	32.88%	16.46%

Legenda: TM para Técnica Manual e TA para Técnica Automatizada.

Tabela 3. Teste de Wilcoxon para pares pareados na comparação dos métodos manual e automatizado do nível de glicose sanguínea.

Teste de Wilcoxon para pares pareados	
Valor de p	0,0408

Figura 2: Gráfico representativos dos grupos TM e TA



Fonte: Autoria própria.

Legenda: TM (Técnica manual); TA (Técnica automatizada). O eixo Y representa a concentração de glicose em mg/dl e o eixo X os grupos TM e TA.

Além da comparação estatística entre os métodos TM e TA, também foi realizada a análise do tempo operacional envolvido em cada metodologia. O método manual apresentou tempo médio de preparação de aproximadamente 47 minutos e 51 segundos, enquanto o método automático apresentou tempo de 29 minutos e 25 segundos. Em relação ao processamento analítico das amostras, o tempo médio por análise foi de 16 minutos e 06 segundos no método manual (TM) e 33 segundos no método automático (TA). Totalizando para as 55 amostras 17 horas e 54 minutos para o TM; que foi feito em 3 dias separados; enquanto para o TA foram apenas 59 minutos e 40 segundos.

DISCUSSÃO

Atualmente, os métodos automatizados e manuais coexistem no ambiente laboratorial e atendem a diferentes demandas, a depender da necessidade de cada análise. A comparação entre essas metodologias permitiu constatar diferenças importantes relacionadas à precisão e eficiência operacional das análises bioquímicas da glicose. Estudos realizados por Aldhafeeri et al. [7] e Kumari et al. [1] demonstraram que diferentes técnicas analíticas podem gerar variações nos resultados, em razão das diferenças nos processos e nas calibrações dos equipamentos utilizados. Esses achados reforçam a importância de uma avaliação criteriosa da precisão e confiabilidade de cada método empregado na rotina laboratorial.

De acordo com Naing, Winn e Rusli [8] recomenda-se um acréscimo de 10% a 20% do tamanho amostral, a exemplo disso, foi definida uma quantidade inicial de 71 amostras com previsão de perdas ao longo do processo, sendo o objetivo final a obtenção de um número amostral entre 40 e 60, intervalo considerado frequentemente suficiente para estimativas estáveis, quando a variabilidade pré-analítica é bem controlada, como afirmado por Linnert [9]. Esse número se deu por ser metodologicamente adequado para estudos comparativos de métodos, especialmente quando se utilizam medidas pareadas. Conforme demonstrado por Serdar et al. [10], tamanhos amostrais moderados são suficientes para garantir poder estatístico adequado em estudos laboratoriais, desde que haja controle da variabilidade.

Destaca-se a importância de precauções com a estabilidade da glicose plasmática entre as etapas do processo, uma vez que, após a coleta sanguínea, as células presentes na amostra permanecem metabolicamente ativas e continuam consumindo glicose por meio da glicólise, podendo ocasionar redução considerável da concentração glicêmica quando não há adequado controle das condições de armazenamento e processamento. Dessa forma, conforme destacam Mikesh e Bruns [11] o uso de fluoreto de sódio associado ao EDTA representa uma importante estratégia para preservação da estabilidade da amostra, uma vez que o fluoreto atua inibindo a enzima chamada enolase, cuja função é converter (de forma reversível) o 2-fosfoglicerato em fosfoenolpiruvato, processo importante da glicólise. Além disso, de acordo com Picheth et al. [12], o uso de fluoreto de sódio como inibidor de glicólise é um método amplamente aceito. Complementarmente, o armazenamento das amostras sob congelamento a -20 °C contribui

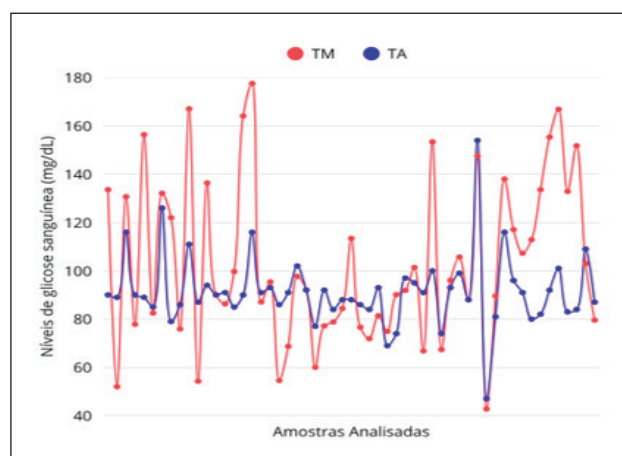
para a manutenção da estabilidade da glicose durante o período de conservação, conforme demonstrado por Pleus et al. [13]. A associação dessas medidas reduz interferências pré-analíticas e contribui para maior confiabilidade dos resultados laboratoriais.

As coletas não foram feitas com participantes em jejum, pois este fator não influencia diretamente a pesquisa. De acordo com Luppá et al. [14], o jejum pode ser relevante em algumas análises bioquímicas, mas não é um critério fundamental para a comparação dos métodos de glicose neste estudo, uma vez que, neste trabalho, o foco principal reside na comparação entre os métodos empregados, sendo o resultado do exame apenas um meio para essa análise, e não o objeto central do estudo.

Ambos os métodos avaliados foram realizados em laboratórios validados e com controles de qualidade. A padronização dos mesmos é essencial para garantir a precisão dos resultados, conforme Lin et al. [15], que afirmam que apenas 57,6% dos laboratórios que utilizam materiais de referência apresentaram erro total dentro dos limites aceitáveis. Ademais, para a comparação, os resultados foram analisados com base nas normas estabelecidas, como sugerido também por Lin et al. [15], e com base nos parâmetros descritos nos objetivos específicos deste trabalho. A análise foi realizada por meio de uma abordagem quali-quantitativa e, para isso, foram utilizadas literaturas científicas como referência, proporcionando uma compreensão aprofundada dos conceitos e das variações entre os métodos de análise bioquímica.

Com o teste de Wilcoxon, denota-se diferença estatística significativa entre os resultados do método manual e automatizado ($p = 0,0408$). Tal diferença pode ser justificada devido à suscetibilidade da técnica convencional às variáveis operacionais e analíticas, como pipetagem, tempo de estabilidade do reagente e homogeneização. Esses resultados mostram que o método manual apresentou maior variação entre as análises, indicando que etapas realizadas pelo operador podem influenciar diretamente os resultados obtidos (**Figura 3**).

Figura 3: Variações pontuais dos grupos



Fonte: Autoria própria.

Legenda: TM (Técnica manual); TA (Técnica automatizada).

Similarmente, no estudo comparativo de Putri et al. [5] foi observada maior consistência e padronização dos resultados com o analisador automatizado bioquímico quando comparado ao método manual. Um fator crítico que também justifica a oscilação excessiva dos resultados na espectrofotometria manual foi a necessidade de preparação de múltiplos tubos branco e padrão durante um mesmo dia de trabalho, devido à baixa estabilidade dos reagentes. Cada nova pipetagem manual por mais criteriosa que seja, ainda apresenta possibilidade de erro volumétrico decorrente do manuseio do operador, como evidenciado por Özcan et al. [16] a experiência do operador influencia significativamente o desempenho da pipetagem manual, além de pequenas variações relacionadas ao tempo reacional e à homogeneização das amostras. Este cenário difere das análises realizadas no Audmax 240i, que estabelece uma curva de calibração estável durante todo o processamento analítico, reduzindo interferências operacionais e aumentando a rastreabilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos. Outro ponto relevante observado neste estudo é a tendência do método manual em apresentar resultados mais extremos em algumas amostras, o que pode ser percebido pelo maior coeficiente de variação encontrado nesse método (32,88%) quando comparado ao automatizado (16,46%). Em algumas amostras do estudo, conforme oscilação apresentada na Figura 3, foram observadas diferenças expressivas entre os resultados obtidos pelos dois métodos, sendo que o método manual apresentou valores mais elevados. Resultados semelhantes também são descritos na literatura, como no estudo comparativo realizado por Fachinelli et al. [17], que demonstrou diferenças entre os valores glicêmicos obtidos por métodos distintos de dosagem.

Além disso, o uso das amostras controle Qualitrol 1H e Qualitrol 2H da Labtest possibilitou a verificação da precisão dos analitos em diferentes níveis de concentração, permitindo a aplicação das Regras de Westgard para delimitação dos limites aceitáveis e validação da corrida analítica, possibilitando a identificação prévia de possíveis erros sistemáticos ou aleatórios antes da liberação dos exames. Segundo Lin et al. [15], a realização contínua do controle interno de qualidade e a calibração adequada dos sistemas automatizados são fundamentais para garantir maior padronização analítica e redução da variabilidade entre resultados laboratoriais.

A automação reduz erros associados à execução manual, mas falhas operacionais ainda podem comprometer simultaneamente um grande número de amostras. Problemas relacionados à calibração, preparo e diluição dos reagentes, falhas no pipetador automático ou até configurações inadequadas do sistema podem gerar erros sistemáticos e impactar diretamente os resultados liberados. Diferentemente do método manual, em que o erro geralmente afeta apenas uma ou poucas amostras, no sistema automatizado uma falha pode comprometer toda a corrida analítica. Nesse contexto, estudos recentes destacam que a variabilidade entre sistemas reforça a necessidade de controle de qualidade contínuo [18], evidenciando que, mesmo com os avanços da automação, a confiabilidade analítica depende diretamente da

supervisão constante dos processos e da validação contínua do desempenho dos sistemas utilizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa é uma ferramenta essencial na pesquisa científica, pois permite identificar semelhanças e diferenças entre métodos a partir de critérios previamente estabelecidos, podendo ser qualitativa, quantitativa ou ambos. A comparação quali-quantitativa possibilita uma avaliação mais abrangente, ao considerar diferentes aspectos de desempenho simultaneamente, permitindo identificar tanto padrões gerais quanto características específicas de cada método. Dessa forma, a utilização de critérios bem definidos e padronizados é indispensável para garantir a confiabilidade dos resultados e apoiar a escolha do método mais adequado na prática laboratorial.

Embora a automação reduza significativamente a interferência humana em etapas como pipetagem, homogeneização e controle do tempo reacional, ela não elimina totalmente a possibilidade de erro humano. Conforme realizado na metodologia deste estudo, ainda existem diversas etapas condicionadas à atuação do operador, como preparo e reconstituição dos controles e calibradores, cadastro de lotes no sistema, posicionamento das amostras no equipamento, inserção dos reagentes e validação do controle interno de qualidade. Dessa forma, o erro humano continua presente também nos métodos automatizados, porém relacionado principalmente à configuração, supervisão e monitoramento do sistema analítico.

Outro aspecto relevante a ser citado foi o melhor desempenho operacional do método automatizado em relação ao tempo de processo, em conformidade com o estudo de Pleus et al. [13], que evidencia que os fatores operacionais devem ser considerados na interpretação de resultados, corroborando a superioridade dos métodos automatizados em termos de padronização. Conforme abordado, esse método apresentou menor tempo médio de preparo dos insumos e de processamento das amostras, demonstrando uma maior eficiência e capacidade analítica quando comparado ao método manual.

Apesar do método automatizado ter apresentado menor variabilidade e maior padronização dos resultados, sua implementação também possui limitações importantes que devem ser consideradas na rotina laboratorial. A automação bioquímica exige altos investimentos relacionados à aquisição e manutenção dos equipamentos, calibração periódica, infraestrutura adequada e treinamento da equipe. Além disso, esses sistemas dependem diretamente de softwares e configurações específicas para manter um desempenho analítico adequado, o que torna o processo mais complexo e exigindo monitoramento constante.

CONCLUSÃO

A análise comparativa entre os métodos possibilitou uma avaliação mais ampla, trazendo uma análise mais robusta sobre o desempenho e variação de cada método na rotina

laboratorial. Enquanto a TM ainda é uma alternativa viável para determinados cenários, a TA se destacou por apresentar menor suscetibilidade a erros operacionais e menor tempo de preparo. Os achados deste estudo reforçam a importância da automação laboratorial de acordo com a demanda no contexto laboratorial e, concomitantemente, não anulam a aplicabilidade do método manual na rotina laboratorial.

REFERÊNCIAS

1. Kumari S, Bahinipati J, Pradhan T, Sahoo DP. Comparison of test performance of biochemical parameters in semiautomatic method and fully automatic analyzer method. *J Fam Med Prim Care*. 2020;9(8):3994-4000. doi:10.4103/jfmpc.jfmpc_94_20.
2. Fiedorova K, Augustynek M, Kubicek J, Kudrna P, Bibbo D. Review of present method of glucose from human blood and body fluids assessment. *Biosens Bioelectron*. 2022; 211:114348. doi: 10.1016/j.bios.2022.114348.
3. Bin Dahman LS, Daakeek AM, Alghazali HS, Kaity AM, Obbed MS. Evaluation of the three glucometer devices performance in comparison with the Cobas Integra 400 Plus autoanalyzer in measuring blood glucose levels: a comparative cross-sectional study. *J Diabetes Mellit*. 2021;11(4):132-142. doi:10.4236/jdm.2021.114010.
4. Kanwugu ON, Anyomih TTK, Abdulai E, Aawaar G, Anaba F, Azongo TB, et al. A comparative assessment of the glucose monitor (SD Codefree) and auto analyzer (BT-3000) in measuring blood glucose concentration among diabetic patients. *BMC Res Notes*. 2017;10:453. doi:10.1186/s13104-017-2792-4.
5. Putri SK, Fajarna F, Ulya R. Comparison of blood glucose testing methods: analyzer, glucometer, and spectrophotometer at Kuta Alam Health Center. *J Carbazon*. 2025;3(1):1-8. doi:10.24815/jocarbazon.v3i1.43627.
6. Bolbakov RG, Sinitsyn AV, Tsvetkov VYa. Methods of comparative analysis. *J Phys Conf Ser*. 2020; 1679:052047. doi:10.1088/1742-6596/1679/5/052047.
7. Aldhafeeri TTO, Alshammari AMA, Alghamdi SHBS, Aldhafeeri NMM, Aldhafeeri SQW, Aldhafeeri ARD. Comparing manual and automated sample preparation methods for clinical chemistry analytes in Hafr Albatan, KSA. *J Popul Ther Clin Pharmacol*. 2022;29(4):1010-1015. doi:10.53555/jptcp.v29i04.5643.
8. Naing L, Winn T, Rusli BN. Practical issues in calculating the sample size for prevalence studies. *Arch Orofac Sci*. 2006;1:9-14.
9. Linnet K. Necessary sample size for method comparison studies based on regression analysis. *Clin Chem*. 1999;45(6):882-894.
10. Serdar CC, Cihan M, Yücel D, Serdar MA. Sample size, power and effect size revisited: simplified and practical approaches in pre-clinical, clinical and laboratory studies. *PLoS One*. 2020;15(12):e0244003. doi:10.1371/journal.pone.0244003.
11. Mikesh LM, Bruns DE. Stabilization of glucose in blood specimens: mechanism of delay in fluoride inhibition of glycolysis. *Clin Chem*. 2008;54(5):930-932. doi:10.1373/clinchem.2007.101634.
12. Picheth S, Oliveira MGC, Batista MC, et al. The effect of fluoride and EDTA on blood glucose analysis: a comparative study. *Clin Chem Lab Med*. 2001;39:123-129.
13. Pleus S, Schauer S, Link M, et al. Stability of glucose concentrations in frozen plasma. *J Diabetes Sci Technol*. 2022;16(5):1096-1100. doi:10.1177/1932296820963657.
14. Luppá PB, Bietenbeck A, Müller MM, et al. Quality assessment of glucose measurement with regard to epidemiology and clinical management of diabetes mellitus in Germany. *Front Mol Biosci*. 2024;11:1371426. doi:10.3389/fmolb.2024.1371426.
15. Lin X, Yan Q, Du Y, Wang J, Huang D, Yan J, et al. Evaluation for serum glucose standardization in clinical laboratories of Southern China by consecutive 6 years proficiency testing based on JCTLM-recommended reference methods. *J Lab Med*. 2024;48(4):163-171. doi:10.1515/labmed-2024-0037.
16. Özcan Ö, Grundel PJM, Heijboer AC, den Elzen WPJ. Pipetting performance across laboratory personnel: a comparative study. *J Appl Lab Med*. 2026;11(3):460-469. doi:10.1093/jalm/jfag006.
17. Fachinelli J, Hermes DM, Da Rosa DP. Estudo comparativo da glicemia dosada em glicosímetro e em dosagem laboratorial. *Rev Uningá*. 2017;53(1):51-55. doi:10.46311/2318-0579.53.eUJ1413.
18. Mader JK, Pfützner A, Parkin CG, et al. Monitoring of the analytical performance of four different blood glucose monitoring systems: a post-market performance follow-up study. *Diabetes Ther*. 2024;15:2525-2535. doi:10.1007/s13300-024-01665-9.