LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

SELEÇÃO DO MEDIDOR DE GLICOSE PARA GERENCIAMENTO DO DIABETES: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO O MÉTODO HÍBRIDO CRITIC-GRA-3N NO CONTEXTO GLOBAL DE SAÚDE

Anderson Gonçalves Portella
Universidade Federal Fluminense - UFF
Niterói RJ 24210-346, BRASIL
andersonportella@yahoo.com.br

Carlos Francisco Simões Gomes
Universidade Federal Fluminense - UFF
Niterói RJ 24210-346, BRASIL
cfsg1@bol.com.br

Solange Maria Fortuna Lucas
Universidade Federal Fluminense - UFF
Niterói RJ 24210-346, BRASIL
solangefortunalucas@gmail.com

Marcos dos Santos
Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça Gen. Tibúrcio, 80 - Urca, Rio de Janeiro - RJ, 22290-270
marcosdossantos@ime.eb.br

RESUMO

A diabetes é uma crescente preocupação de saúde global, afetando cerca de 422 milhões de pessoas e causando 1,5 milhões de mortes anuais, segundo a OMS. No Brasil, em 2021, 15,7 milhões de pessoas viviam com a doença, um aumento de 3,3 milhões em uma década. Este artigo utiliza o método CRITIC-GRA-3N para selecionar medidores de glicose, visando melhorar o controle glicêmico. Os resultados mostraram que o método é eficaz na priorização de critérios, reduzindo a subjetividade e garantindo consistência no ranqueamento das alternativas. Recomenda-se a inclusão/exclusão de critérios e comparação com outros métodos para aumentar a confiabilidade. O estudo contribui para a gestão da diabetes, alinhando-se aos objetivos da OMS para conter a doença e a obesidade até 2025.

PALAVRAS-CHAVE. CRITIC-GRA-3N, Diabetes, Dispositivos Médicos.

Tópicos (Diabetes, Pesquisa Operacional, Dispositivos Médicos**)**

ABSTRACT

Diabetes is a growing global health concern, affecting around 422 million people and causing 1.5 million deaths annually, according to the WHO. In Brazil, 15.7 million people were living with the disease in 2021, an increase of 3.3 million over a decade. This article uses the CRITIC-GRA-3N method to select glucose meters, aiming to improve glycemic control. The results showed that the method is effective in prioritizing criteria, reducing subjectivity, and ensuring consistency in ranking alternatives. It is recommended to include/exclude criteria and compare with other methods to increase reliability. The study contributes to diabetes management, aligning with the WHO's goals to curb the disease and obesity by 2025.

KEYWORDS. CRITIC-GRA-3N, Diabetes, Medical Devices.

Paper topics (Diabetes, Operational Research, Medical Devices**)**

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

1. Introdução

A diabetes é um problema de saúde global crescente, afetando cerca de 422 milhões de pessoas, com 1,5 milhões de mortes atribuídas anualmente, segundo dados da OMS [Organização Mundial de Saúde, 2023]. A doença, especialmente o diabetes tipo 2, está associada a complicações graves que afetam o coração, os vasos sanguíneos, os olhos, os rins e os nervos.

Trata-se de uma condição crônica que afeta o processamento da glicose (açúcar no sangue) e pode resultar em várias complicações, como hipoglicemia, hiperglicemia, pé diabético, complicações nos olhos, cardiovasculares, renais, infecções e dificuldade de cicatrização.

No Brasil, em 2021, 15,7 milhões de pessoas vivem com diabetes, um aumento de 3,3 milhões em 10 anos. Estima-se que até 2030, o Brasil terá 19,2 milhões de pessoas com diabetes, e esse número aumentará para 23,2 milhões em 2045, segundo dados da Fiocruz.

A prevalência de diabetes em adultos no Brasil era de 10,2% em 2023, adultos de 20 a 79 anos são mais afetados, o valor mais alto registrado durante o período analisado. Dois anos antes, a parcela de adultos que relataram ter essa doença metabólica no país sul-americano era de cerca de 9% segundo dados da *International Diabetes Federation* [IDF, 2024].

O país ocupava a quinta colocação mundial em número de casos em 2021. Surpreendentemente, mais de 50% da população não sabe que tem a doença, pois ela é silenciosa e se desenvolve ao longo do tempo [Correr *et al.*, 2020].

O medidor de glicose desempenha um papel crucial na prevenção e tratamento da diabetes, pois permite: monitoramento regular, ajuste da insulina e medicamentos, prevenção de hipoglicemia e hiperglicemia, tomada de decisões alimentares, autoconhecimento e autogerenciamento e detecção precoce de problemas, sendo assim uma ferramenta valiosa para os pacientes com diabetes, ajudando-os a manter o controle e melhorar sua qualidade de vida.

O artigo oferece um panorama das necessidades de saúde global, ressaltando o papel crucial do diagnóstico precoce e de intervenções para o bem-estar dos pacientes, e propõe uma ferramenta de auxílio na escolha do medidor de glicose, elemento essencial no controle do diabetes.

A Teoria da Decisão aborda a tomada de decisões em ambientes complexos, considerando múltiplos critérios e incertezas. A Pesquisa Operacional (PO) utiliza modelos matemáticos, estatísticos e computacionais para resolver problemas de tomada de decisão em organizações e sistemas adotando abordagem sistemática, considerando múltiplos fatores e alternativas.

O estudo procura contribuir para a gestão eficaz da diabetes, alinhando-se com os objetivos da OMS de interromper o avanço da diabetes e da obesidade até 2025, utilizando-se do método e da ferramenta computacional gratuita CRITIC-GRA-3N desenvolvido por De Almeida *et al.* [2022], que se baseia no método CRITIC (*CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation*) para gerar os pesos da matriz de decisão e do método GRA (*Grey Relational Analysis*) utilizado para ordenar as alternativas.

Além disso, o autor implementou uma 2ª e 3ª normalização ao método, pois o método CRITIC nativo já possui uma normalização.

O artigo está organizado em 7 seções: a seção 1 compreende esta introdução, a seção 2 apresenta a descrição do problema; na seção 3 é apresentada a fundamentação teórica buscando analisar a visão acadêmica sobre o problema e possíveis soluções encontradas; na seção 4 é apresentada a metodologia utilizada, evidenciando o caminho percorrido até a apresentação do resultado final; a seção 5 traz a aplicação prática, mostrando a proposta de solução para o problema; a seção 6 descreve as conclusões acerca do desenvolvimento do artigo; na seção 7 são apresentadas as considerações finais sobre o propósito da pesquisa e o objetivo alcançado, além das possíveis contribuições para academia. Ao final, as referências bibliográficas, documentando os materiais utilizados neste artigo.

2. Descrição do Problema

O controle da diabetes é uma preocupação global de saúde pública, com crescente incidência e impacto em todo o mundo. A escolha do medidor de glicose para pacientes com

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

diabetes é crucial para a gestão da doença e a qualidade de vida dos pacientes, visando um controle glicêmico eficaz e a prevenção de complicações relacionadas à diabetes. No entanto, essa seleção é desafiadora devido à variedade de opções disponíveis e à complexidade dos critérios envolvidos.

A diabetes, especialmente do tipo 2, está em ascensão globalmente, com o Brasil enfrentando um aumento significativo. Prevê-se que até 2030, o país terá mais de 19 milhões de diabéticos, destacando a urgência da gestão eficaz da saúde pública.

A escolha do medidor de glicose ideal envolve a consideração de vários critérios, como precisão, facilidade de uso, custo e disponibilidade de recursos adicionais. A falta de orientação clara e ferramentas objetivas torna essa seleção desafiadora para pacientes e profissionais de saúde.

É essencial para o processo de escolha considerar uma variedade de critérios, desde as especificações técnicas dos dispositivos até aspectos econômicos e logísticos. Nesse contexto, a aplicação de métodos multicritérios de decisão, como a Análise de Decisão Multicritério (MCDA, *MultiCriteria Decision Analysis*, em inglês), pode se mostrar altamente útil. Esses métodos possibilitam a avaliação simultânea de múltiplos critérios e alternativas na tomada de decisão, resultando em uma solução mais apropriada e embasada.

Adicionalmente, os métodos de estruturação de problemas (*Problem Solving Methods*, em inglês, PSM) fornecem ao tomador de decisão a capacidade de modelar questões decisórias que ainda não foram devidamente organizadas pelos envolvidos, contribuindo assim para a análise de problemas, reduzindo incertezas e simplificando a complexidade do ambiente decisório. Conforme destacado por Rosenhead [1996], os PSM oferecem suporte sistemático aos tomadores de decisão na definição de uma estrutura específica para o problema em questão. Além disso, permitem que os analistas estejam mais envolvidos com problemas estratégicos, como aqueles que envolvem múltiplos decisores com certo grau de independência.

Neste estudo, foi adotado o método de estruturação de problemas VFT (*Value-Focused Thinking*). Desenvolvido por Keeney [1992], o VFT é um processo que busca identificar os valores que irão orientar o tomador de decisão ao longo do processo de decisão como um todo. Ao focalizar na identificação de valores, o VFT adota uma abordagem distinta para a tomada de decisão em comparação com as abordagens tradicionais, que se concentram nas alternativas disponíveis.

Figura 1 – VFT – *Value-Focused Thinking*



Fonte: Autores (2024)

3. Fundamentação Teórica

A pesquisa se aprofundou em métodos acadêmicos para tomada de decisões e aplicação de MCDA, visando embasar a utilização correta e objetiva dessas ferramentas.

Para isso, foi realizada a busca na base de dados Scopus utilizando 2 strings diferentes, sendo a primeira *string* buscando de maneira geral os artigos publicados com relação aos métodos multicritérios selecionados, principalmente aos métodos CRITIC proposto por Diakoulaki *et al.* [1995] e GRA proposto por Zhang *et al.* [2005], separadamente ou como método híbrido.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Já a segunda string priorizando os métodos utilizados que envolviam a escolha de veículos ou áreas correlatadas, mostrado no Quadro 1 apresentado a seguir:

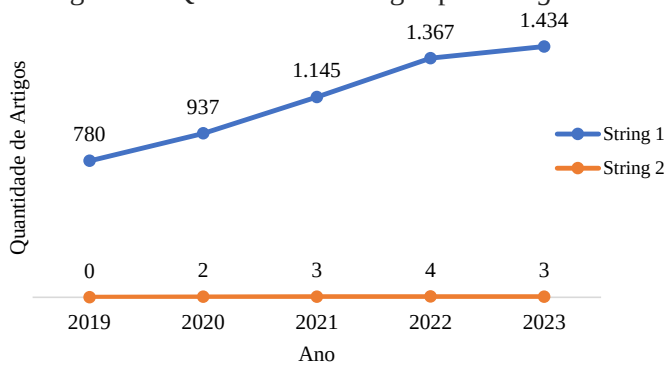
Quadro 1: Strings de busca

String 1	(mcdm OR critic OR gra OR multicriteria OR amd OR (critic AND gra)) AND (selection OR choice OR choose)
String 2	(mcdm OR critic OR gra OR multicriteria OR amd OR (critic AND gra)) AND (selection OR choice OR choose) AND (medical devices OR medical equipment)

Fonte: Autores (2024)

Depois de empregar as *strings*, foram implementados dois critérios de exclusão. O primeiro eliminou todos os trabalhos que não se classificavam como artigos. O segundo critério excluiu todos os trabalhos publicados antes de 2019. Isso resultou em um intervalo de tempo que abrange de 2019 a 2024. A Figura 2, apresentada a seguir, ilustra a evolução temporal dos artigos baseada nas *strings* utilizadas.

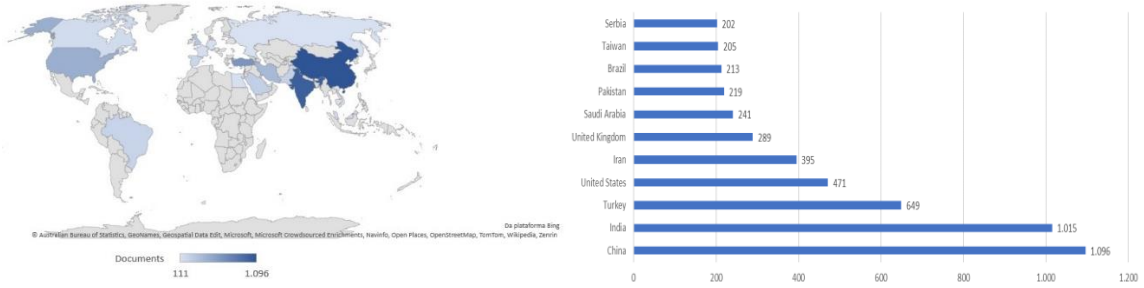
Figura 2 – Quantidade de artigos por *string*



Fonte: Autores com dados SCOPUS (2024)

A Figura 3, utilizando-se da *string* 1, mostra quais continentes mais publicam artigos voltados a AMD, onde os métodos são mais desenvolvidos e estudados, e no desdobramento destes dados é possível ver que o Brasil ocupa a nona posição dentre os principais países que estudam sobre o tema, possuindo participação de 4,6% entre os 9 primeiros. China por sua vez (23,89%) e China (22,12%) são os motores à frente da AMD.

Figura 3 – Visão coroplética e Visão por países utilizando *string* 1



Fonte: Autores com dados SCOPUS [2024]

Demir e Moslem [2024] propuseram uma estrutura para selecionar métodos de tratamento de resíduos, considerando diferentes aspectos. O estudo foi validado em um caso em Sivas, Turquia, confirmando sua confiabilidade. Dezesseis critérios foram avaliados usando o Índice de Seleção de Preferência Fuzzy (F-PSI) para determinar a melhor abordagem de descarte de resíduos. Além disso, nove tecnologias para o descarte de resíduos médicos foram avaliadas usando o método de Classificação de Compromisso Fuzzy das Alternativas pela Distância à Solução Ideal (F-CRADIS).

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Gaaliche e Abdelrhman [2024] introduziram a técnica FAHP-FTOPSIS, que oferece uma maneira inovadora e sistemática de selecionar materiais para rolamentos farmacêuticos. A pesquisa sugere o uso da lógica fuzzy para lidar e avaliar dados linguísticos associados aos critérios de desempenho de vários materiais. Uma análise abrangente de cinco materiais comumente usados para anéis de rolamento foi realizada. Os resultados revelam a ordem: PEEK > Acetal > Nylon 6 > Aço Inoxidável > PTFE. Esta nova tecnologia tem o potencial de melhorar a precisão da seleção de materiais, melhorando assim a eficiência e segurança geral dos equipamentos e processos farmacêuticos. Esses resultados destacam a eficácia da técnica FAHP-FTOPSIS na seleção de materiais adequados para componentes de rolamento para aplicações específicas.

Amran *et al.* [2024] propuseram um modelo MCDM para priorizar dispositivos médicos com base em sua criticidade, utilizando a implantação da função de qualidade (QFD) e lógica fuzzy. Eles desenvolveram uma versão personalizada da Avaliação de Criticidade de Ativos (ACA), recomendada para uso em mais de 144 hospitais do Ministério da Saúde (MOH). O modelo ACA personalizado avalia o desempenho dos dispositivos médicos e as escolhas de substituição de ativos de forma mais abrangente, contribuindo para uma estratégia de manutenção eficaz e modernização das métricas de confiabilidade.

Saleh *et al.* [2023] investigaram a compra de equipamentos médicos, com o objetivo de selecionar o melhor fornecedor de equipamentos médicos com base em padrões do Instituto de Pesquisa de Cuidados de Emergência (ECRI). O Programa de Avaliação de Fornecedores para Equipamentos Médicos (VEPME) é projetado para selecionar automaticamente o melhor fornecedor. O melhor cenário foi dado pelo entropy-TOPSIS. Os resultados demonstram a robustez da metodologia proposta.

Lo [2023] examinou a gestão eficaz de fornecedores, fundamental para o sucesso empresarial, representando 70% a 80% dos custos totais de fabricação. A seleção adequada dos fornecedores pode garantir a competitividade e contribuir para a integração e inovação da cadeia de suprimentos. O estudo utilizou a abordagem VC-DRSA para identificar os critérios principais, seguida pela abordagem CRITIC para determinar os pesos dos critérios e sua classificação. Por fim, uma técnica modificada de CTOPSIS integrou os valores finais de desempenho dos fornecedores. Os resultados indicam que a CTOPSIS pode ser empregada para avaliar rapidamente as classificações de novos fornecedores alternativos.

Rani *et al.* [2023] investigaram o conjunto fuzzy pitagórico (PFS), uma versão estendida do conjunto fuzzy intuicionista (IFS), que está emergindo rapidamente como uma disciplina de pesquisa significativa para lidar com informações imprecisas e vagas. O estudo desenvolveu medidas de similaridade e divergência para o PFS e as comparou com medidas existentes para demonstrar sua eficiência e confiabilidade. Além disso, introduziu uma versão estendida da otimização multiobjetivo baseada na análise de proporção (MOORA) com a forma multiplicativa completa (MULTIMOORA). Para mostrar a viabilidade e utilidade da abordagem, discutiu-se um problema de seleção de fornecedor de equipamento médico. Os resultados sugerem que a abordagem proposta é mais aplicável e eficiente do que as técnicas existentes no contexto do PFS.

Mahajan *et al.* [2022] analisaram os vários fatores, como a diminuição de recursos não renováveis, o aumento da poluição plástica e a conscientização sobre a sustentabilidade ambiental, resultaram em um interesse crescente em compósitos sustentáveis. Este estudo se concentrou no processo de seleção de uma fibra natural para compósitos sustentáveis usando uma estrutura integrada híbrida. Os métodos TOPSIS e PROMETHEE II com critérios ponderados por Entropia dominam as outras abordagens, e a fibra de basalto superou as outras fibras naturais na lista de classificação em todas as análises de sensibilidade.

Deniz e Orhan [2022] propuseram critérios específicos de seleção relacionados a instrumentos NiTi para dentistas e avaliaram os instrumentos NiTi. O modelo MCDM proposto para instrumentos NiTi pode ajudar a tornar o processo de tomada de decisão o mais sistemático, transparente e reprodutível possível, não apenas para dentistas, mas também para profissionais de saúde. O modelo proposto neste estudo pode ser usado para auxiliar na tomada de decisões na prática clínica, avaliando as alternativas do sistema de instrumentação NiTi para os profissionais.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Laganá e Colapinto [2022] avaliaram que decisões em gestão de cadeia de suprimentos (SCM) estão sujeitas a vários critérios conflitantes e múltiplos objetivos. Para tais decisões, os métodos MCDM são definitivamente apropriados. A implementação da cadeia de suprimentos de saúde (HSC, da sigla em inglês) é mais complexa de gerenciar do que qualquer outra cadeia de suprimentos, pois envolve a vida humana. Este artigo fornece uma visão geral dos artigos publicados de 2006 a 2021 na aplicação de métodos MCDM no HSCM em níveis estratégicos, táticos e operacionais. A revisão permite estabelecer diretrizes para a seleção de métodos apropriados para a gestão do HSC e fornece suporte para questões no setor de saúde e farmacêutico.

Uzun *et al.* [2021] investigaram a seleção de equipamentos médicos, devido aos requisitos de critérios conflitantes. Este estudo aplica o princípio das teorias de tomada de decisão multicritério em vários tipos de instrumentos usados na odontologia. Como os dados usados neste estudo não são numéricos, mas linguísticos, o método de tomada de decisão Fuzzy PROMETHEE é usado. O método de tomada de decisão Fuzzy PROMETHEE mostra que o espelho dental é a ferramenta mais eficaz entre todas as ferramentas comparadas, seguido por sucção dental, abrasão de ar dental, peça de mão dental, laser dental e raio-X dental. Usando esta técnica, pode-se obter resultados de classificação mais específicos com base em um nível de preferência específico.

Farooq *et al.* [2021] analisaram os lasers, dispositivos médicos utilizados em cirurgias para tratar vasos sanguíneos doentes, reduzir a perda de sangue, reduzir infecções, entre outros propósitos. Com o desenvolvimento de técnicas de MCDM e conjunto suave neutrosófico, esse problema pode ser resolvido com mais precisão ao selecionar o tipo certo de laser para cirurgias específicas. Para encontrar a melhor alternativa, são utilizadas as técnicas de TOPSIS generalizado, WSM e WPM, juntamente com técnicas de codificação MATLAB. Os resultados mostram a seleção correta da mesma alternativa que já está sendo usada no campo da cirurgia. Futuramente, tais técnicas podem ser aplicadas na seleção de equipamentos médicos.

Bahadori *et al.* [2020] analisaram a gestão da cadeia de suprimentos de equipamentos médicos e bens de consumo, sendo um dos principais desafios dos hospitais a avaliação e seleção de fornecedores. Este estudo fornece um modelo para selecionar o melhor fornecedor em um hospital usando uma combinação de rede neural artificial e VIKOR fuzzy. De acordo com os resultados do estudo, o fator mais importante para seleção do fornecedor era a ‘qualidade’.

Embasado pela leitura dos artigos de fundamentação teórica, o método CRITIC-GRA-3N [Almeida *et al.*, 2022] foi selecionado para análise do problema.

4. Metodologia

A pesquisa foi iniciada com a análise da necessidade e dos critérios de escolha para medidores de glicose, responsáveis pela verificação de diversos fatores sanguíneos e que possuem papel crucial na prevenção e tratamento da diabetes. Após pesquisa de mercado para identificar as alternativas foi necessário coletar especificações técnicas nos manuais dos aparelhos, sendo utilizados apenas os critérios essenciais apontados pelo VFT.

Os autores optaram pela utilização da ferramenta computacional gratuita do Método CRITIC-GRA-3N [Almeida *et al.* 2022]. Trata-se de um método não compensatório, quantitativo, híbrido, o que permite demonstrar a eficácia do MCDA para uma ordenação lógica e racional, sistematizando a aplicação e o entendimento, além de reduzir as limitações de outros métodos, dificultando a existência de inconsistências/incoerências no processo

4.1 Alternativas

Após a análise do problema, foram selecionados 9 medidores de glicose, vendidos no Brasil, os quais tiveram seus dados descaracterizados, denominados com nomes de pedras preciosas e semipreciosas de 1 a 9, conforme a seguir: Âmbar 1; Diamante 2; Esmeralda 3; Safira 4; Rubi 5; Ametista 6; Topázio 7; Opala 8; e Turmalina 9.

4.2 Critérios

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Os critérios foram selecionados a partir dos requisitos levantados mediante o uso do VFT, que identificou os critérios quantitativos relevantes para o problema e a natureza de sua monotonicidade, ou seja, critério de custo, cujo objetivo é minimização ou de benefício, o qual deverá ser maximizado na aplicação do método.

Tabela 1 – Critérios e requisitos

#	Critério	Tipo	Descrição
C1	Armazenamento resultados	Maximizar	Capacidade de guardar medições, gerenciamento de dados e cálculo de médias
C2	Indicador de Hiperglicemia	Maximizar	Alerta sonoro ou visual quando a glicemia está abaixo do limite, com possibilidade de ajuste e registro de episódios
C3	Indicador de Hipoglicemia	Maximizar	Alerta sonoro ou visual quando a glicemia está acima do limite, com possibilidade de ajuste e registro de episódios
C4	Conectividade	Maximizar	Transferência de dados para smartphone, tablet ou computador via Bluetooth ou USB, com verificação de compatibilidade
C5	Custo Medidor	Minimizar	Varia de acordo com marca, modelo e recursos, considerando custos adicionais com tiras e lancetas, com opções vantajosas em planos de assinatura ou kits promocionais
C6	Tiras c/ aparelho	Maximizar	Quantidade de tiras inclusas, custo por tira e compatibilidade com o modelo do medidor
C7	Lancetas de Glicose	Maximizar	Quantidade de lancetas inclusas, tipos disponíveis e compatibilidade com o lancetador do medidor

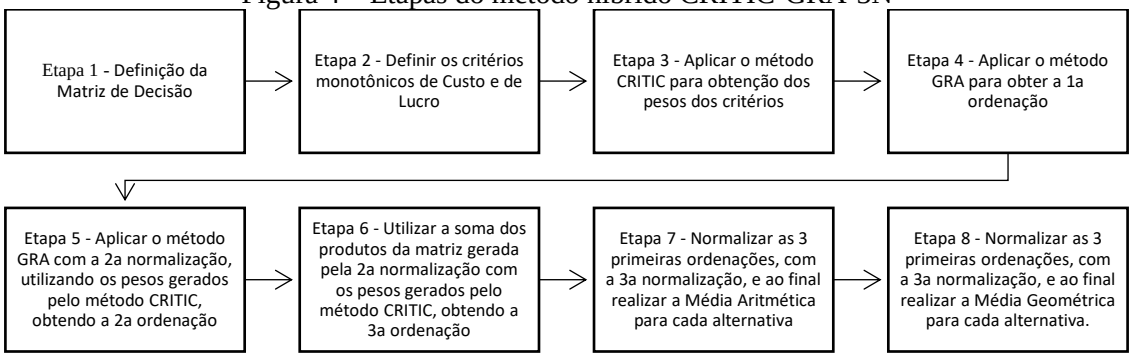
Fonte: Autores (2024)

Para os critérios C2 (Indicador de hiperglicemia), C3 (Indicador de Hipoglicemia) e C4 (Conectividade) foram atribuídos valores numéricos aos rótulos "sim" e "não", 1 para "sim" e 0 para "não", de forma a converter os dados categóricos qualitativos em uma escala quantitativa.

5. Proposta de Solução

Almeida *et al.* [2022] propôs que o método CRITIC-GRA-3N fosse aplicado em 8 etapas, conforme apresentado na figura a seguir e detalhado nas subseções posteriores.

Figura 4 – Etapas do método híbrido CRITIC-GRA-3N



Fonte: Adaptado de [Almeida *et al.* 2022]

5.1 Etapas do método

5.1.1 Etapa 1

Nesta etapa é feita a determinação da matriz, conforme apresentado na Eq. (1), onde *i* é equivalente a linha determinada pelas alternativas e *j* equivalente a coluna determinada pelos critérios.

$$X = [x_{ij}]_{mxn} \quad (1)$$

Tabela 2 – Matriz de Decisão

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Alternativas / Critérios	Armazenamento resultados	Indicador de Hiperglicemia	Indicador de Hipoglicemia	Conectividade	Custo Medidor	Tiras c/ aparelho	Lancetas de Glicose
Monotonicidade	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX
Âmbar	500	1	0	0	71,9	10	10
Diamante	500	1	1	0	79,51	10	10
Esmeralda	500	1	1	1	71,26	10	10
Safira	100	1	1	0	102	100	100
Rubi	500	0	0	0	69,9	50	10
Ametista	480	1	1	0	39,9	0	0
Topázio	500	1	1	0	79	10	10
Opala	500	1	1	1	69	10	10
Turmalina	500	0	0	0	110	10	10

Fonte: Autores (2024)

5.1.2 Etapa 2

Nesta etapa foi realizada a normalização da matriz de decisão utilizando o método CRITIC Diakoulaki *et al.* [1995], de modo a definir os critérios monotônicos de Custo e Lucro, conforme Eq. (2) e Eq. (3), respectivamente.

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+} \; se \; i = 1, \dots, m \; para \; minimização \tag{2}$$

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-} \; se \; i = 1, \dots, m \; para \; maximização \tag{3}$$

Tabela 3 – Matriz de Decisão Normalizada

Alternativas / Critérios	Armazenamento resultados	Indicador de Hiperglicemia	Indicador de Hipoglicemia	Conectividade	Custo Medidor	Tiras c/ aparelho	Lancetas de Glicose
Âmbar	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0.5435	0,1000	0,1000
Diamante	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,4350	0,1000	0,1000
Esmeralda	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5526	0,1000	0,1000
Safira	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,1141	1,0000	1,0000
Rubi	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5720	0,5000	0,1000
Ametista	0,9500	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Topázio	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,4422	0,1000	0,1000
Opala	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5849	0,1000	0,1000
Turmalina	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1000	0,1000

Fonte: Autores (2024)

5.1.3 Etapa 3

Nesta etapa mediante o uso do método CRITIC calculamos os pesos dos critérios utilizando-se das Eq. (4), Eq. (5) e Eq. (6) demonstradas a seguir.

Coeficiente de correlação:

$$\rho jk = \frac{\Sigma_{i=1}^{m} (x_{ij} - \bar{x}_j).(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\Sigma_{i=1}^{m} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 . \Sigma_{i=1}^{m} (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \tag{4}$$

Índice C:

$$C_j = \sigma_j . \sum_{k=1}^{n} (1 - \rho jk); j = 1, \dots, n \tag{5}$$

Peso:

$$W_j = \frac{C_j}{\Sigma_j^n C_j} \; ; j = 1, \dots, n \tag{6}$$

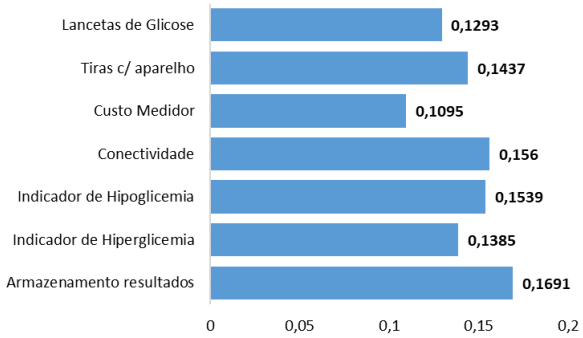
Tabela 4 – Matriz de Correlação dos Critérios

	Armazenamento resultados	Indicador de Hiperglicemia	Indicador de Hipoglicemia	Conectividade	Custo Medidor	Tiras c/ aparelho	Lancetas de Glicose
Armazenamento resultados	1,0000	-0,1994	-0,2638	0,1994	0,4323	-0,8888	-0,9875
Indicador de Hiperglicemia	-0,1994	1,0000	0,7559	0,2857	0,3646	-0,1181	0,1647
Indicador de Hipoglicemia	-0,2638	0,7559	1,0000	0,3780	0,2592	0,0000	0,2179
Conectividade	0,1994	0,2857	0,3780	1,0000	0,1909	-0,2361	-0,1647
Custo Medidor	0,4323	0,3646	0,2592	0,1909	1,0000	-0,4524	-0,5303
Tiras c/ aparelho	-0,8888	-0,1181	0,0000	-0,2361	-0,4524	1,0000	0,9103
Lancetas de Glicose	-0,9875	0,1647	0,2179	-0,1647	-0,5303	0,9103	1,0000

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Fonte: Autores (2024)

Figura 5 – Peso dos Critérios



Fonte: Autores (2024)

5.1.4 Etapa 4

Nesta etapa, é aplicado o método GRA proposto por Zhang *et al.* [2005] para obter a 1ª ordenação, conforme Eq. (7), Eq. (8), Eq. (9), Eq. (10) e Eq. (11) a seguir.

Normalização:

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min(y_{ij})}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \; para\; minimização \tag{7}$$

$$x_{ij} = \frac{\max(y_{ij}) - y_{ij}}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \; para\; maximização \tag{8}$$

Matriz Sequência de Desvio:

$$\Delta_{ij} = \left| x_{0j} - x_{ij} \right| \tag{9}$$

Coeficiente de distinção é selecionado, sendo que varia no intervalo]0,1], sendo o recomendável 0,87, após testes empíricos realizados pelo autor.

Coeficiente Relacional Cinza:

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{(\Delta_{min} + \xi\Delta_{max})}{(\Delta_{ij} + \xi\Delta_{max})} \tag{10}$$

Grade Relacional Cinza:

$$r(X_0 - X_i) = \sum_{j=1}^{n} w_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \tag{11}$$

5.1.5 Etapa 5

Nesta etapa é aplicado o método GRA com a 2ª normalização, utilizando os pesos gerados pelo método CRITIC, obtendo a 2ª ordenação conforme Eq. (12).

$$p_{ij} = F(x) = F(x \le r_{ij}) = \int_{-\infty}^{r_{ij}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{(\lambda-\mu)}{\sigma}\right)^2} d\lambda \tag{12}$$

5.1.6 Etapa 6

Nesta etapa, utiliza-se a soma dos produtos da matriz gerada pela 2ª normalização com os pesos gerados pelo método CRITIC, obtendo a 3ª ordenação, conforme Eq. (13).

$$\sum \text{P} = [\text{w1,w2,...,wn}]) \text{ x } N = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ p_{m1} & \cdots & \cdots & p_{mn} \end{pmatrix}_{mxn} \tag{13}$$

5.1.7 Etapa 7

Nesta etapa, são realizadas as normalizações das 3 primeiras ordenações, com a 3ª normalização, e ao final é realizada a média aritmética para cada alternativa, conforme Eq. (14).

$$\frac{a_{ij}}{\Sigma a_{ij}} \tag{14}$$

5.1.8 Etapa 8

Nesta etapa é calculada a média geométrica para cada alternativa, conforme Eq. (15).

$$MG = \sqrt[n]{x_1 x_2 \ldots x_n} \tag{15}$$

Na Tabela 5 observamos as etapas 4, 5, 6, 7 e 8.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Tabela 5 –Ordenações

Alternativas	1ª Normalização	1ª Ordenação	2ª Normalização	2ª Ordenação	3ª Normalização	3ª Ordenação	Média Aritmética	4ª Ordenação	Média Geométrica	5ª Ordenação
Opala	0,82579590	1	0,83695605	1	0,63870379	1	0,13122180	1	0,13099431	1
Esmeralda	0,82398171	2	0,83417724	2	0,63409455	2	0,13064929	2	0,13043800	2
Safira	0,77090739	3	0,80900601	3	0,54266062	3	0,11989355	3	0,11989145	3
Ametista	0,76139019	4	0,76887439	4	0,53096144	4	0,11655283	4	0,11653848	4
Topázio	0,73497989	5	0,74688359	5	0,51554395	5	0,11296370	5	0,11295154	5
Diamante	0,73464161	6	0,74638358	6	0,51444986	6	0,11284044	6	0,11282907	6
Âmbar	0,65777349	7	0,69524456	7	0,42975050	7	0,10007647	7	0,10002401	7
Rubi	0,60593049	8	0,68585658	8	0,40929210	8	0,09542774	8	0,09532145	8
Turmalina	0,56285436	9	0,62121835	9	0,27927019	9	0,08037417	9	0,07922260	9

Fonte: Autores (2024)

6. Discussão dos Resultados

O método CRITIC-GRA-3N foi usado para ordenar os medidores de glicose com base nos critérios do VFT, por meio de uma ferramenta computacional web, visando uma tomada de decisão mais objetiva e consistente.

O método CRITIC, que significa "*CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation*", foi utilizado para determinar os pesos dos critérios com base em suas correlações, reduzindo a subjetividade que métodos como AHP ou TOPSIS podem introduzir ao dependerem de julgamentos subjetivos dos decisores. Posteriormente, o método GRA (*Grey Relational Analysis*) foi aplicado para ordenar as alternativas, utilizando três normalizações diferentes no processo. Essa abordagem diminui a chance de variações inesperadas no ranqueamento, comuns em métodos que utilizam normalizações únicas e pesos subjetivos.

Além disso, o uso de múltiplas normalizações, incluindo a segunda e terceira normalizações, aumenta a flexibilidade e a robustez na análise de diferentes tipos de dados, tornando o método particularmente vantajoso em cenários complexos, onde as características das alternativas podem variar consideravelmente.

O método CRITIC-GRA-3N demonstrou ser capaz de integrar uma grande quantidade de critérios sem comprometer a robustez da análise, algo desafiador para métodos tradicionais como o AHP, especialmente à medida que o número de critérios cresce. Isso demonstra a capacidade do CRITIC-GRA-3N de lidar com ambientes multicritérios complexos, oferecendo vantagens específicas sobre os métodos MCDM tradicionais.

Na aplicação prática, os critérios de Armazenamento dos Resultados, Conectividade e Indicador de Hipoglicemia juntos representaram 48% do peso total na análise, evidenciando sua importância na escolha e ordenação dos medidores de glicose. Por outro lado, o critério de Custo do Medidor teve o menor peso, indicando sua menor relevância para a ordenação final.

7. Considerações Finais

O objetivo do artigo foi a seleção mediante uso de critérios técnicos e objetivos de medidores de glicose com a finalidade de auxiliar na eficácia do controle glicêmico prevenindo complicações relacionadas à diabetes. E para esta escolha foi utilizado um método de tomada de decisão multicritério desenvolvido em 2022 via site web gratuito, o CRITIC-GRA-3N.

O método e a ferramenta mostraram-se eficientes na análise do problema proposto, conseguindo atingir o objetivo almejado de estabelecer prioridade entre as alternativas, considerando critérios específicos, de modo a reduzir a subjetividade da escolha mediante uso de recursos matemáticos e estatísticos para embasar a tomada de decisão do gestor.

Com o ranqueamento das alternativas e análise dos resultados foi possível estabelecer a melhor escolha, sendo que nos cinco ranqueamentos as alternativas mantiveram suas ordenações, reforçando o resultado obtido.

Sugere-se que futuras pesquisas sejam realizadas adicionado critérios alternativos, removendo critérios atuais e comparando com resultados obtidos mediante uso de outros métodos, de forma a obter maior confiabilidade na escolha do produto e gerar material de comparabilidade entre os resultados ranqueados pelo método CRITIC-GRA-3N.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Referências

Almeida, I. D. P., Hermógenes, L. R. P., D. A. M., & Santos, M. (2022). Escolha de uma lancha de ataque rápido para apoio em patrulhas ribeirinhas nos afluentes do rio amazonas: estruturação do problema a partir da abordagem VFT e ordenação pelo novo método CRITIC-GRA-3N. XLII Encontro Nacional de Engenharia De Produção, Foz do Iguaçú, PR.

Almeida, I., Hermogenes, L. R., Gomes, C. F., & Santos, M. (2022). Proposta do Método CRITIC-GRA-3N e Desenvolvimento de uma Plataforma Computacional em Python. LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora, MG-8 a, 11.

Almeida, I. D., Hermogenes, L. R. S., Gomes, C. F. S. & Santos, M. (2022). CRITIC-GRA-3N (CG-3N) For Decision Making (v1), Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

Amran, M. E., Aziz, S. A. A., Muhtazaruddin, M. N., Masrom, M., Haron, H. N., Bani, N. A., ... & Muhammad-Sukki, F. (2024). Critical assessment of medical devices on reliability, replacement prioritization and maintenance strategy criterion: Case study of Malaysian hospitals. *Quality and Reliability Engineering International*, ***40*** **(2)**, 970-1001.

Bahadori, M., Hosseini, S. M., Teymourzadeh, E., Ravangard, R., Raadabadi, M., & Alimohammadzadeh, K. (2020). A supplier selection model for hospitals using a combination of artificial neural network and fuzzy VIKOR. *International Journal of Healthcare Management*, ***13*** **(4)**, 286-294.

CEDOC UMANE (2024). Prevalência de diabetes no Brasil: Mapa de casos no país. 13/06/2023. Web page: <https://biblioteca.observatoriodaaps.com.br/prevalencia-de-diabetes-no-brasil/>. Acessado: 2014-12-02

Checkland, P. B., & Haynes, M. G. (2019). Varieties of systems thinking: the case of soft systems methodology. In *Management Control Theory* (pp. 151-160). Routledge.

Correr, C. J., Coura-Vital, W., Frade, J. C., Nascimento, R. C., Nascimento, L. G., Pinheiro, E. B., ... & João, W. S. (2020). Prevalence of people at risk of developing type 2 diabetes mellitus and the involvement of community pharmacies in a national screening campaign: a pioneer action in Brazil. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, ***12***, 1-11.

Almeida, I. D. P., dos Santos Hermogenes, L. R., de Araújo Costa, I. P., Moreira, M. Â. L., Gomes, C. F. S., dos Santos, M., ... & Gomes, I. J. A. (2022). Assisting in the choice to fill a vacancy to compose the PROANTAR team: Applying VFT and the CRITIC-GRA-3N methodology. *Procedia Computer Science*, **214**, 478-486.

Almeida, I. D. P., dos Santos Hermogenes, L. R., de Araújo Costa, I. P., Moreira, M. Â. L., Gomes, C. F. S., dos Santos, M., ... & Gomes, I. J. A. (2022). Structuring and mathematical modeling for investment choice: a multi-method approach from Value-Focused Thinking and CRITIC-GRA-3N method. *Procedia Computer Science*, ***214***, 469-477.

Demir, A. T., & Moslem, S. (2024). Evaluating the effect of the COVID-19 pandemic on medical waste disposal using preference selection index with CRADIS in a fuzzy environment. *Heliyon*.

Deniz, N., & Orhan, E. O. (2022). Development of a multi-criteria decision-making–based assessment model for dental material selection: Engine-driven nickel-titanium instruments case study. *Clinical Oral Investigations*, 1-15.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, ***22*** **(7)**, 763-770.

Hermogenes, L., Almeida, I., Gomes, C., & Santos, M. D. (2022). Proposta do método híbrido SWARA-MOORA-3NAG e desenvolvimento de uma ferramenta computacional em PYTHON. In *Proceedings of the LIV Simposio Brasileiro De Pesquisa Operacional, Juiz de Fora, Brazil* (pp. 8-11).

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br

Farooq, M. U., & Saqlain, M. (2021). The selection of LASER as surgical instrument in medical using neutrosophic soft set with generalized fuzzy TOPSIS, WSM and WPM along with MATLAB coding. *Neutrosophic Sets and Systems*, ***40*** **(1)**, 3.

Federação Internacional de Diabetes (IDF). (2021). Diabetes in Brazil. Web page: <https://idf.org/our-network/regions-and-members/south-and-central-america/members/brazil/>. Acessado: 2024-01-01.

Federação Internacional de Diabetes (IDF). (2024). IDF Diabetes Atlas Brazil diabetes report 2000 — 2045. Web page: < https://www.diabetesatlas.org/data/en/country/27/br.html >. Acessado: 2024-01-01

FIOCRUZ (2021). Diabetes – SUS. Web page: <https://portal.fiocruz.br/diabetes>. Acessado: 2024-01-01

Gaaliche, N., & Abdelrhman, A. M. (2024). A fuzzy logic approach for selecting bearing ring materials in pharmaceutical applications. *Results in Materials*, ***21***, 100513.

Keeney, R. L., & Keeney, R. L. (2009). *Value-focused thinking: A path to creative decisionmaking*. Harvard University Press.

Laganà, I. R., & Colapinto, C. (2022). Multiple criteria decision-making in healthcare and pharmaceutical supply chain management: a state-of-the-art review and implications for future research. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, ***29*** **(1-2)**, 122-134.

Lo, H. W. (2023). A data-driven decision support system for sustainable supplier evaluation in the industry 5.0 era: A case study for medical equipment manufacturing. *Advanced Engineering Informatics*, ***56***, 101998.

Mahajan, A., Binaz, V., Singh, I., & Arora, N. (2022). Selection of natural fiber for sustainable composites using hybrid multi criteria decision making techniques. *Composites Part C: Open Access*, ***7***, 100224.

Mendonza, J. (2023). Share of adults with diabetes in Brazil 2023. Statista. Web page: <https://www.statista.com/statistics/781260/survey-share-adults-diabetes-brazil/>. Acessado: 2024-01-01.

Ministério da Saúde. (2024). Diabetes (diabetes mellitus). Web page: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/diabetes>. Acessado: 2024-01-01.

Ministério da Saúde. (2022). Diabetes: Saúde responde às dúvidas mais comuns sobre a doença que atinge 12,3 milhões de brasileiros. 26/06/2022. Web page: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/junho/diabetes-saude-responde-as-duvidas-mais-comuns-sobre-a-doenca-que-atinge-12-3-milhoes-de-brasileiros>. Acessado: 2024-01-01.

Rani, P., Mishra, A. R., & Liu, P. (2023). New similarity and divergence measures-based Pythagorean fuzzy MULTIMOORA approach for decision-making problems. *Computational and Applied Mathematics*, ***42*** **(1)**, 29.

Rosenhead, J. (1996). What's the problem? An introduction to problem structuring methods. *Interfaces*, ***26*** **(6)**, 117-131.

Saleh, N., Gaber, M. N., Eldosoky, M. A., & Soliman, A. M. (2023). Vendor evaluation platform for acquisition of medical equipment based on multi-criteria decision-making approach. *Scientific Reports*, ***13*** **(1)**, 12746.

Uzun, B., Ozsahin, D. U., Hamdan, H., Charafeddine, J., Ünsal, G., & Özyer, D. (2021). Optimization of dental devices and tools used on teeth. *BioMed Research International*, *2021*.

Zhang, J., Wu, D., & Olson, D. L. (2005). The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers. *Mathematical and computer modelling*, ***42*** **(9-10)**, 991-998.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193909
https://proceedings.science/p/193909?lang=pt-br