

EVOLUÇÃO DO GRAU DE OBESIDADE À LUZ DA CADEIA DE MARKOV A TEMPO CONTÍNUO NO PLANO GEOMÉTRICO SAÚDE, ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA

BRASIL, Roxana Macedo¹; BRITO, Diogo de Freitas^{2,3,4}; CARVALHO JUNIOR, Sergio⁵; EVERTON, Adriana Nunes da Fonseca⁶; MARINS, Fabrícia França⁷; BARRETO, Ana Cristina Lopes y Glória³; JUNIOR, Homero da Silva Nahum^{3,8}

Resumo

O estudo objetivou modelar por cadeia de Markov a tempo contínuo a evolução da obesidade, considerando Cirurgia, Exercício Físico e Combinação (orientação nutricional + exercício físico). Adicionalmente, o Custo-Efetividade foi estimado. O grupo de voluntários foi composto por 12 homens, Idade = $36,75 \pm 5,36$ anos e IMC = $34,91 \pm 4,18$ kg/m². O modelo foi desenvolvido em Python 3.13.7. Os resultados indicaram que a Combinação detinha maior efetividade, reduzindo as taxas de progressão em 50,00%. Todavia, o Custo-Efetividade, com correção de adesão parra 70,00%, apontou a intervenção pelo Exercício como a escolha mais eficiente (Δ Custo = R\$144.000,00; Δ QALY = +5,40; ICER = R\$26.667,00/QALY). Então, possível foi concluir que o modelo estimou adequadamente os efeitos desejados.

Palavras-chave: Processo estocástico. Modelagem. Planejamento. Estatística.

Abstract

This study aimed to model the evolution of obesity using a continuous-time Markov chain, considering surgery, physical exercise, and a combination (nutritional guidance + physical exercise). Additionally, cost-effectiveness was estimated. The volunteer group consisted of 12 men, age = 36.75 ± 5.36 years and BMI = 34.91 ± 4.18 kg/m². The model was developed in Python 3.13.7. The results indicated that the combination had greater effectiveness, reducing progression rates by 50.00%. However, the cost-effectiveness, corrected for adherence to 70.00%, pointed to exercise intervention as the most efficient choice (Δ Cost = R\$144,000.00; Δ QALY = +5.40; ICER = R\$26,667.00/QALY). Therefore, it was possible to conclude that the model adequately estimated the desired effects.

Keywords: Stochastic process. Modelling. Planning. Statistics.

¹ Docente Ph.D. em Educação Física;

² Docente do Curso de Gestão Desportiva e do Lazer do Centro Universitário Celso Lisboa;

³ Docentes do Curso de Educação Física do Centro Universitário Celso Lisboa;

⁴ Consultor Iceberg Business Academy;

⁵ Pesquisador convidado Biodesa;

⁶ Profissional de Educação Física da Adriana Nunes Consultoria de Corrida;

⁷ Graduada do Curso de Educação Física do Centro Universitário Celso Lisboa;

⁸ Docente da Escola de Saúde da Universidade Cândido Mendes;

Introdução

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2024) classificou a obesidade como epidemia global, por se tratar na contemporaneidade de um dos principais desafios de saúde pública. Particularmente, por ser condição crônica, multifatorial, não transmissível e resultante de saldo energético positivo, favorecendo o desenvolvimento de outros comprometimentos de saúde (Parussolo *et al.*, 2022). A complexa combinação dos domínios genético, ambiental, comportamental e social elevaria o risco de morbimortalidade (Varela, Campos e Silva, 2025).

A relevância de tais características se elevaria alicerçada na tendência de crescimento da prevalência, a qual evoluiu de 11,80% em 2006 para 19,80% em 2018 (IBGE, 2020), configurando aumento de 67,80% no cenário brasileiro, e indicando a possibilidade de superação dos 29,00% nos próximos cinco anos. Valeria destacar que no período de 2006 a 2021, as prevalências por faixas de Índice de Massa Corporal (IMC) foram distintas, para os pontos de corte (kg/m^2) 30, 35, 40 e 45, as estimativas foram, respectiva e aproximadamente, 66,00%, 104,00%, 120,00% e 152,00%, ou seja, o crescimento acompanhou o grau de severidade (Brum e Sturm, 2025).

Ainda naquele período, porém com o recorte que considere somente as capitais e o Distrito Federal, possível seria identificar crescimento desacelerado das prevalências (Pastorello *et al.*, 2025), sobretudo entre mulheres com menos de oito anos de estudo. Tomando o intervalo de Confiança = 95,00%, em 2021, a obesidade alcançou 22,40% e o excesso da massa corporal 58,80% da população. Porém, entre 2006 e 2012, a taxa de crescimento da obesidade era de 5,80% [4,70; 7,00] alcançando, entre 2012 e 2021, 2,70% [2,10; 3,30]. No condizente ao excesso de massa corporal, os períodos 2006-2013 e 2013-2021 apresentaram, nessa ordem, 2,90% [2,70; 3,20) e 1,30% [1,10; 1,50]. Filtrando os resultados para Aracaju (SE), Belém (PA) e Belo Horizonte (MG) identificou-se aumento do excesso de massa corporal em todas as faixas etárias e independentemente do nível de escolaridade. Fato esse observado em Brasília para a obesidade (Kavano *et al.*, 2025). Portanto, possível seria inferir a existência de causas sociais, destacadamente o consumo de produtos ultraprocessados e estilo de vida sedentário, os quais movimentaram o Brasil de condição de desnutrição à obesidade (Dias *et al.*, 2025).

Para além, a associação positiva com índices de mortalidade e fator de risco sendo para diabetes, alguns tipos de câncer e doenças cardiovasculares (Franco *et al.*, 2025) elevariam a necessidade pecuniária para a Saúde Pública, intervenção, como por exemplo

atendimento hospitalar, e Coletiva, planejamento, por exemplo políticas públicas e campanhas de conscientização (Souza, Lacerda e Machado, 2025). O azimute talvez indicasse o contexto da Atenção Primária à Saúde como aquele adequado às intervenções de promoção e proteção de saúde, prevenção, diagnóstico e tratamento da doença e respectivos agravos (Leopoldino e Werneck, 2025), particularmente por orientações nutricionais (Ministério da Saúde, 2013; Rodrigues, Brasileiro e Luz, 2025; Kawai *et al.* 2025) e de exercícios físicos (Teixeira, Hott e Moreira, 2025; Varela, Campos e Silva, 2025; Mattos *et al.*, 2025).

À luz da Economia da Saúde e Epidemiologia, modelar a evolução das classes de obesidade, associando-as com a quantidade e qualidade de vida seria fundamental ao planejamento de saúde. Isso poderia ser realizado pela aplicação da Cadeia de Markov (Barreto *et al.*, 2025), considerando as classes de obesidade como estados, conseqüentemente, o tempo de permanência em cada um desses seria uma variável aleatória exponencial e a probabilidade de transição entre os estados dada por taxas a tempo contínuo (Sato e Zouain, 2010; Soárez, Soares e Novaes, 2014; Sallum, 2022; Magliano, 2024; Oliveira *et al.*, 2024). Com base no exposto, o objetivo do corrente estudo foi desenvolver um modelo de Markov a tempo contínuo para a obesidade, comparando intervenções cirúrgica, exercício e nutricional.

Metodologia

O grupo de voluntários foi composto por 12 homens, Idade, anos = $36,75 \pm 5,36$ (Mediana = 37,00; Coeficiente de Variação = 14,59%; Variância Interquartil = 7,50; Erro Padrão = 1,55; Mínimo = 30,00; Máximo = 46,00), IMC, kg/m^2 = $34,91 \pm 4,18$ (Mediana = 34,72; Coeficiente de Variação = 11,97%; Variância Interquartil = 3,71; Erro Padrão = 1,21; Mínimo = 28,90; Máximo = 42,83) e Renda Mensal, R\$ = $7.379,14 \pm 2.194,07$ (Mediana = 7.734,11; Coeficiente de Variação = 29,73%; Variância Interquartil = 3.566,64; Erro Padrão = 633,37; Mínimo = 4.443,34; Máximo = 10.625,27). Todos acompanhados durante cinco anos em uma instituição de saúde, a qual disponibilizava acompanhamento psicológico, cirurgia bariátrica, programa de exercícios físicos e intervenção nutricional.

O modelo markoviano foi implementado em Python 3.13.7, utilizando as bibliotecas NumPy 2.0.0, Pandas 2.2.2 e SciPy 1.15.2, estabelecendo como estados (ou estágios) a classificação de obesidade (Xavier *et al.*, 2025) em Sobrepeso (IMC (kg/m^2) \in [25,00; 29,90]), Obesidade Grau I (IMC (kg/m^2) \in [30,00; 34,90]), Obesidade Grau II (IMC (kg/m^2)

∈ [35,00; 39,90]) e Obesidade Grau III ou Mórbida (IMC (kg/m²) ∈ [40,00;∞[), originando respectivamente E1, E2, E3 e E4. A partir disso foram estimadas (Isaacson e Madsen, 1976; Ethier e Kurtz, 1986):

- Taxas de Transição: probabilidade de progressão de estado em um intervalo de tempo infinitesimal (extremamente pequeno);
- Matriz Geradora Infinitesimal (Q): cada elemento q_{ij} seria a Taxa de Transição do estado i ao j , tendo na diagonal principal a expressão do tempo de permanência no estado i com resultado da distribuição exponencial com parâmetro $v_i = -q_{ii}$, dado que os elementos contidos naquela diagonal seriam estabelecidos como $q_{ii} = -\sum_{j \neq i} q_{ij}$;
- Equações de Kolmogorov: utilizadas para estimar as probabilidades de transição no domínio do tempo;
- Validação do Modelo: a precisão do modelo e o ajuste das taxas de transição foram realizadas por comparação com dados históricos da instituição de saúde;
- Análise e Predição: a progressão da doença considerou os seguintes cenários cirurgia bariátrica, exercício físico e combinado (exercícios físicos + reeducação alimentar);
- Estimativas de *Quality-Adjusted Life Years* – QALYs (Kirkdale *et al.*, 2010; Hozo, Guyatt e Djulbegovic, 2025): combinação de quantidade e qualidade de vida em Economia da Saúde, significando Anos de Vida Ajustados por Qualidade, cada unidade de QALY corresponderia a um ano de vida com saúde perfeita.

Realizou-se a simulação de evolução de estado dos voluntários, aplicando-se o Algoritmo ou Método Gillespie, também conhecido como Algoritmo de Eventos Diretos, tradicionalmente empregado em simulação de processos epidemiológicos (Pessoa, 2010; Rizzotti, 2012; Ayala, 2016; Hernández, 2023) ou químicos (Isaka, 2021; Giovanni *et al.*, 2021), no estudo corrente possibilitou simular de forma estocástica cada transição (fenômeno aleatório), identificando quando (tempo até o próximo evento) e para qual estado (tipo de evento) ocorreria. A primeira informação resultaria da distribuição exponencial como parâmetro, portanto o somatório de todas as taxas de saída do estado corrente, enquanto que o tipo de evento seria determinado pela probabilidade proporcional às taxas individuais (Fernandes, 2024), conforme descrito a seguir:

Etapa 0: inicialização	Estado inicial \leftarrow E1 Tempo atual \leftarrow 0 Tempo final \leftarrow 5 anos
Etapa 1: estimativa das taxas de transição do estado corrente	Se Estado \leftarrow E1, taxas: q_{12}, q_{13}, q_{14} Taxa total de saída: $v_1 = q_{12} + q_{13} + q_{14}$
Etapa 2: gerar tempo até o próximo evento	$\Delta t \leftarrow$ exponencial (v_1) Exemplo: $\Delta t = -\ln(U)/v_1$; onde $U \sim$ Uniforme(0,1)
Etapa 3: atualizar o tempo	Tempo novo \leftarrow Tempo atual + Δt Se Tempo novo > 5 anos \rightarrow Fim (permanece no estado atual)
Etapa 4: escolher qual transição ocorrerá	Probabilidades normalizadas: $p_{12} \leftarrow q_{12}/v_1$; $p_{13} \leftarrow q_{13}/v_1$; $p_{14} \leftarrow q_{14}/v_1$ Gerar $V \sim$ Uniforme(0,1) Se $V \leq p_{12}$, então E1 \rightarrow E2 Senão, se $V > p_{14}$, então E1 \rightarrow E4 Senão, E1 \rightarrow E3.
Etapa 5: Repetir até Tempo \geq 5 anos	

A opção pelo Algoritmo de Gillespie se alicerçaria em 1) eficiência para grupos pequenos ($n = 12$); 2) possibilidade de captura de eventos raros como E1 \rightarrow E4; 3) validação analítica, comparando os resultados da simulação com a solução de $P(t) = e^{Qt}$, ou seja, as probabilidades de transição após determinado tempo, partindo da Matriz Geradora Infinitesimal; e 4) inexistência de intervalos fixos para progressão dos estados de obesidade. Em suma, a método adotado conseguiria descortinar trajetórias individuais, as quais tenderiam a não serem externalizadas pela matriz de transição média, como a evolução para estado não adjacente.

Resultados e Discussão

A Matriz de Taxas De Transição (Tabela 1) demonstrou que as transições ocorreriam mais rapidamente para estados vizinhos, indicando agravamento quando progressiva (E1 \rightarrow E2, E2 \rightarrow E3, E3 \rightarrow E4) ou melhora quando regressiva (E1 \leftarrow E2, E2 \leftarrow E3, E3 \leftarrow E4),

nesse caso as taxas eram inferiores. As transições a estados não vizinhos se apresentaram mais lentas. Exemplificando, a probabilidade de indivíduo evoluir de E3 à E4 seria 0,31, mas em sentido oposto, 0,10. O agravamento de E2 ao E4 diretamente teria probabilidade de 0,05, enquanto que ao estado vizinho E3 seria igual à 0,27. Sinteticamente, a elevação paulatina da gravidade seria o processo esperado, enquanto que a melhor da doença crônica demandaria mais tempo.

Tabela 1: Matriz das Taxas de Transição.

$$Q = \begin{pmatrix} & E1 & E2 & E3 & E4 \\ E1 & -0,52 & 0,40 & 0,10 & 0,02 \\ E2 & 0,19 & -0,51 & 0,27 & 0,05 \\ E3 & 0,06 & 0,08 & -0,45 & 0,31 \\ E4 & 0,02 & 0,05 & 0,10 & -0,17 \end{pmatrix}$$

Fonte: Os Autores (2026).

A Tabela 1 revelou, ainda, a tendência de aumento do tempo de permanência no estado i conjuntamente à elevação do grau de obesidade, dado que um indivíduo em E1 teria por tempo médio de permanência 1,92 ano ($v_1 = 1/0,52$) nesse estado, analogamente em E2, E3 e E4 as estimativas seriam, respectivamente, 1,96 ano ($v_2 = 1/0,51$), 2,22 anos ($v_3 = 1/0,45$) e 5,88 anos ($v_4 = 1/0,17$). O desfecho revelado seria a mitigação da possibilidade de saída da condição mais grave, a qual matematicamente seria entendida como estável ou estado absorvente.

Esses resultados convergiram à expectativa, e ratificaram, mesmo parcialmente, as considerações de Varela, Campos e Silva (2025), que realizaram revisão de literatura com o objetivo de analisar as alternativas ao controle da obesidade, bem como identificar os desafios dos indivíduos. Puderam os autores revelar que, independentemente da opção terapêutica, estigma social, dificuldade de acesso aos serviços de saúde, atenuada adesão à terapia e descontinuidade do acompanhamento do paciente eram determinantes ao aumento do insucesso no tratamento da obesidade e, conseqüentemente, elevação dos comprometimentos.

A simulação pelo Algoritmo de Gillespie desenvolveu cenários futuros, cinco anos, considerando que os indivíduos teriam como estado inicial o Sobrepeso (E1). A análise das transições (Tabela 2) revelou que dois indivíduos (2 e 8) realizariam quatro eventos (três transições) e quatro pessoas (3, 5, 7 e 11) se envolveriam em duas transições (três eventos), os demais realizaram somente uma transição. Isso revelou elevada variabilidade no quantitativo de eventos no grupo, Coeficiente de Variação = 29,19% (Média = 2,67

eventos; Desvio Padrão = 0,78 eventos; Mediana = 2,50 eventos), reforçando a ideia de individualidade biológica.

Tabela 2: Resultados da Simulação pelo Algoritmo de Gillespie de Transição e Tempo (anos), Restrição $t \leq 5,00$ anos.

Indivíduo	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Resultado
1	E1→E2; 1,20	E2→E1; 2,00	E1→E3; 3,50	t = 5,60	E3
2	E1→E2; 2,80	t = 5,30			E2
3	E1→E3; 0,70	E3→E4; 2,50	t = 6,70		E4
4	E1→E2; 3,10	t = 5,00			E2
5	E1→E2; 1,60	E2→E4; 2,50	t = 6,30		E4
6	E1→E2; 4,30	t = 5,50			E2
7	E1→E2; 2,20	E2→E1; 3,30	t = 5,80		E1
8	E1→E2; 1,90	E2→E3; 2,50	E3→E2; 3,40	t = 5,70	E2
9	E1→E4; 0,50	t = 6,70			E4
10	E1→E2; 3,40	t = 5,50			E2
11	E1→E3; 2,70	E3→E4; 4,10	t = 6,00		E4
12	E1→E2; 4,80	t = 5,70			E2

Fonte: Os Autores (2026).

A progressão linear (E1→E3→E4) seria a realidade para os indivíduos 3 e 11 (16,67% dos indivíduos), enquanto que casos raros se apresentaram em quatro oportunidades (33,33%), dentre as quais os voluntários 5 ($P(E2 \rightarrow E4) = 0,05/0,51 \cong 9,80\%$), 9 ($P(E1 \rightarrow E4) = 0,02/0,52 \cong 3,85\%$), e 3 e 11 ($P(E1 \rightarrow E3) = 0,10/0,52 \cong 19,23\%$). As oscilações foram constatadas em 1 (E1→E2→E1→E3), 7 (E1→E2→E1) e 8 (E1→E2→E3→E2), ou seja, 25,00% das pessoas, mas somente a primeira finalizada com piora em relação ao estado inicial. A estabilização precoce (uma transição) se manifestou em 2, 4, 6, 9, 10 e 12 (50,00%), todos param em E2, exceto a nona pessoa que o fez em E4. Destacou-se o fato de 10 homens (83,33%) terem saído de E1 na primeira transição e não retornaram, mesmo sendo a condição Sobrepeso demandadora de baixo tempo à progressão ao quadro de obesidade, Mediana = 2,45 anos (Média = 2,43 anos; Desvio Padrão = 1,35 anos; Coeficiente de Variação = 55,37%).

O desfecho teve por distribuição entre Sobrepeso (E1), Obesidade I (E2), Obesidade II (E3) e Obesidade III (E4), nessa ordem, um (8,33%), seis (50,00%), um (8,33%) e quatro (33,33%) voluntários, portanto, cientificamente identificados como obesos foram 11 homens (91,67%). Os aspectos salientados comprovaram 1) a variabilidade individual (Tanuri *et al.*, 2024; Resque *et al.*, 2025), as trajetórias foram distintas mesmo partindo de uma única matriz geradora Q; 2) a progressão não linear, evolução a estados não adjacentes; 3) o

risco de oscilações (Nonino-Borges, Borges e Santos, 2006; Azevedo, 2011; Martins *et al.*, 2021), as quais podem culminar em melhoras espontâneas (casos 7 e 8), o que seria indício de melhora com intervenção; 4) o risco de obesidade mórbida (E4) seria 33,33% em cinco anos, tendo esse estado estabilidade, ou seja, uma vez alcançado, a tendência seria permanecer nele (alta barreira reversa), além disso o E3 seria ponto de alto risco à progressão rápida ao E4 (Sant'Anna Junior *et al.*, 2014; Malta *et al.*, 2019); e 5) a necessidade de intervenção preventiva (Pinheiro *et al.*, 2019; Porto *et al.*, 2019; Nicoli *et al.*, 2024), particularmente, nos dois primeiros anos, atenuando a transição E1→E2 e evitando a estabilização em E2.

A validação utilizou os dados históricos de outros grupos de homens tratados na instituição de saúde, contra os quais os resultados correntes seriam elevados, por exemplo as transições correntes e históricas, respectivamente E1→E2 foram 0,40 e 0,10, e E2→E3 foram 0,30 e 0,10, então procedeu-se ao ajuste constante em Qval (Tabela 3). Em sequência, o processo de simulação foi replicado, considerando 5,00 anos, 12 homens e 1.000 iterações (ciclos de simulação), todavia sem constatação de diferença estatisticamente significativa, valor-p = 0,93 (Tabela 4), entre os percentuais médios de indivíduos em cada estado na simulação e no histórico. Assim, o modelo ajustado seria epidemiologicamente adequado, permitindo a investigação dos seguintes cenários de intervenção Bariátrica, Exercício e Combinado (Exercício + Reeducação Alimentar), formando a Base de referência à comparação pelo arredondamento dos quantitativos médios de pessoas do modelo ajustado, logo E1 = 4, E2 = 5, E3 = 2 e E4 = 1.

Tabela 3: Matriz das Taxas de Transição Validadas.

$$Q_{val} = \begin{pmatrix} & E1 & E2 & E3 & E4 \\ E1 & -0,15 & 0,10 & 0,04 & 0,01 \\ E2 & 0,08 & -0,20 & 0,10 & 0,02 \\ E3 & 0,03 & 0,05 & -0,18 & 0,10 \\ E4 & 0,01 & 0,02 & 0,04 & -0,07 \end{pmatrix}$$

Fonte: Os Autores (2026).

A análise da Matriz de Transição do Cenário Bariátrica (Tabela 5) revelou melhoras nas probabilidades de eventos a partir dos estados E3 e E4, particularmente elevação na transição E4→E1, entretanto necessário seria reajustar as taxas às ocorrências após o primeiro ano da intervenção cirúrgica, em razão de transtornos alimentares, comportamentais e possíveis deficiências de micronutrientes, especialmente vitamina B12

(Souza, Lourenço e Almeida, 2024; Veiga *et al.*, 2024; Gomes *et al.*, 2024). Além disso, o modelo estimou que o quantitativo de indivíduos por estado após cinco anos da intervenção seria E1 = 7, E2 = 3, E3 = 1 e E4 = 1. Então, a Bariátrica tenderia à eficácia em casos graves, Graus III e II, embora guardasse distanciamento da prevenção e o custo fosse elevado (Dias e Arenas, 2022; Fagundes *et al.*, 2022; Varela, Campos e Silva, 2025).

Tabela 4: Resultados Inferenciais sob Quantitativos Simulados e Históricos, valor-p = 0,93; GL = 3,00; $\chi^2 = 7,81$; $\alpha = 0,05$.

Estado	E1	E2	E3	E4
Média	4,30	5,20	1,50	1,00
Desvio Padrão	1,10	0,90	0,70	0,40
Mediana	4,50	4,45	1,44	0,75
Coefficiente de Variação	25,58	17,31	46,67	40,00
Percentual Médio	35,83	43,33	12,50	8,33

Fonte: Os Autores (2026).

Tabela 5: Matriz das Taxas de Transição para o Cenário Bariátrica.

$$Qbar = \begin{pmatrix} & E1 & E2 & E3 & E4 \\ E1 & -0,15 & 0,10 & 0,04 & 0,01 \\ E2 & 0,08 & -0,20 & 0,10 & 0,02 \\ E3 & 0,03 & 0,05 & -0,25 & 0,05 \\ E4 & 0,15 & 0,20 & 0,10 & -0,45 \end{pmatrix}$$

Fonte: Os Autores (2026).

O cenário Exercício (Tabela 6) tendeu a reduzir a progressão do comprometimento em taxas de 30,00%, aproximadamente, e favoreceu a regressão aumentando as probabilidades em cerca de 50,00%. A análise pormenorizada indicou que o estilo de vida ativo tenderia a evitar a progressão, porém manteria os indivíduos na classificação de Sobrepeso (Franco *et al.*, 2025; Teixeira, Hott e Moreira, 2025), tornando E1 estado absorvente. Isso era esperado, pois, não obstante o baixo custo e favorecimento de resultados populacionais positivos, existiriam dificuldades em manter a regularidade da intervenção, como por exemplo limitação em razão de comorbidades, carência ou ausência de suporte social, falta de tempo à rotina, e baixa motivação à prática (Picorelli *et al.*, 2014). A conjectura de realização dos treinos externamente ao instituto de saúde adicionaria dificuldades como acesso ao local selecionado, custos de equipamentos ou mensalidades, e cumprimento do prescrito (Varela, Campos e Silva, 2025; Kawai *et al.*, 2025; Grossi, Barbosa e Martelli, 2025). Esse cenário culminou na seguinte distribuição de pessoas pelos estados, após cinco anos simulados, E1 = 8, E2 = 3, E3 = 1 e E4 = 0.

Tabela 6: Matriz das Taxas de Transição para o Cenário Exercício.

$$Q_{exe} = \begin{pmatrix} & E1 & E2 & E3 & E4 \\ E1 & -0,19 & 0,07 & 0,03 & 0,01 \\ E2 & 0,12 & -0,24 & 0,07 & 0,02 \\ E3 & 0,05 & 0,08 & -0,22 & 0,07 \\ E4 & 0,02 & 0,03 & 0,06 & -0,09 \end{pmatrix}$$

Fonte: Os Autores (2026).

A Combinação de exercícios e reeducação alimentar conquistou a maior efetividade, possivelmente por atingir a causa primária, conforme revelada na redução das taxas de progressão em 50,00%, aproximadamente, dobrando aquelas de regressão e elevando a saída de E4 em cerca de 200,00% (Tabela 7), ou seja, ocorreria a eliminação das Obesidades Grau III e II, e a redução do Sobrepeso, desfechos expressos nos quantitativos simulados E1 = 10, E2 = 2, E3 = 0 e E4 = 0. Em razão do exposto, pacientes em E2 poderiam ter a progressão atenuada ou evitada pela intervenção Combinada. Tais resultados explicariam, mesmo que parcialmente, a conquista de significância estatisticamente significativa em relação à Base, valor-p = 0,03 (Tabela 8), que pese todas as intervenções terem reduzido a quantidade de indivíduos sob a classificação Obesidade, independentemente do grau de severidade (E2+E3+E4).

Tabela 7: Matriz das Taxas de Transição para o Cenário Combinado.

$$Q_{Com} = \begin{pmatrix} & E1 & E2 & E3 & E4 \\ E1 & -0,23 & 0,05 & 0,02 & 0,01 \\ E2 & 0,16 & -0,28 & 0,05 & 0,01 \\ E3 & 0,06 & 0,10 & -0,26 & 0,05 \\ E4 & 0,03 & 0,04 & 0,08 & -0,12 \end{pmatrix}$$

Fonte: Os Autores (2026).

Tabela 8: Comparação dos Cenários com a Base, $\alpha = 0,05$; GL = 3,00; $\chi^2 = 7,81$.

Intervenção	E1	E2	E3	E4	Obesidade	Valor-p
Base	5	4	2	1	7; 58,33%	
Bariátrica	7	3	1	1	5; 41,67%	0,67
Exercício	8	3	1	0	4; 33,33%	0,31
Combinação	10	2	0	0	2; 16,67%	0,03

Fonte: Os Autores (2026).

Valeria estabelecer alguma relação entre os cenários extremos, Bariátrica e Combinado, assim a indicação cirúrgica ocorreria na existência de IMC $\geq 35,00$ kg/m², o que elegeria (WHO, 2000; Aminian *et al.*, 2022), à luz da Base, o indivíduo E4 e uma pessoa

E3 (50,00%). No combinado não haveria elegíveis, mas essa intervenção residiria no domínio da prevenção, então, à primeira leitura, o efeito preventivo seria de 100,00% (1).

$$\text{Prevenção} = \frac{\text{Elegíveis Base} - \text{Elegíveis Combinado}}{\text{Elegíveis Base}} \cdot 100 = \frac{2 - 0}{2} \cdot 100 = 100,00\% \quad (1)$$

Entretanto, a consideração de eficácia perfeita à intervenção Combinado não se assustaria, epidemiologicamente a progressão ao E3 seria evitada em 90,00% dos casos, e a regressão E3 para E2 ou E1 ocorreria em 80,00% das vezes, logo a eficácia combinada seria de, aproximadamente, 85,00% (Ng *et al.*, 2014; Flegal *et al.*, 2016). Ajustando o quantitativo de pacientes necessitados de Bariátrica, na Base o número se manteria (1E4 e 1E3 = 2 pessoas). Para o Combinado, E4 não teria elegíveis, mas com eficácia estimada aplicada ao total elegível de E3 da Base, resultaria em 1 pessoa \cdot 85,00% = 0,15 pessoa candidata à cirurgia, resultando em 92,50% de prevenção (2). Investigando a sensibilidade das estimativas (Tabela 9), Eficácia = 85,00% seria razoável. Dito de outra forma, o Combinado reduziria naquele percentual a necessidade de Bariátrica. Os resultados convergiram à redução medicamentosa em 85,00% de pacientes diabéticos (Look AHEAD Research Group, 2013), regressão da *diabetes mellitus 2* em 73,00% das ocorrências (Lean *et al.*, 2018) e na prevenção de progressão entre 80,00% e 90,00% (Dombrowsli *et al.*, 2014; Johns *et al.*, 2014).

$$\text{Prevenção Ajustada} = \frac{2 - 0,15}{2} \cdot 100 = 92,50\% \quad (2)$$

Tabela 9: Análise de Sensibilidade da Eficácia Ajustada (%) e Prevenção Estimada (%).

Eficácia Ajustada	Elegíveis (E3+E4)	Cirurgias Realizadas	Cirurgias Evitadas	Prevenção Estimada
70,00	0,60	0,30	1,70	85,00
85,00	0,30	0,15	1,85	92,50
90,00	0,20	0,10	1,90	95,00

Fonte: Os Autores (2026).

No contexto da saúde, o cenário Combinado mostrou-se favorável, todavia imperativo seria avaliar no domínio da economia da saúde, o que poderia orientar ações no âmbito da Administração e Economia Públicas. Nesse norte, estimou-se os Anos de Vida Ajustados por Qualidade – QALYs (3), entendendo que a Obesidade Grau I poderia ter 0,80

QALYs/ano e a Grau III, 0,50 QALYs/ano, significando, na ordem posta, 20,00% e 50,00% de redução na qualidade dos anos de vida. A comparação entre cenários requisitou a estimativa de custo-efetividade (4), o que encontrou respaldo em Ara e Brennan (2007).

$$QALY = \text{Anos de vida} \cdot \text{Utilidade} (0 - 1) \quad (3)$$

$$\text{Ganho} = \frac{\text{Custo da intervenção}}{\text{QALYs adicionais}} \quad (4)$$

Inicialmente, atribuídos foram pesos aos graus de obesidade com base no *EuroQol 5 Dimension* (EQ-5D), questionário de qualidade de vida relacionada à saúde (Balestroni e Bertoloni, 2012), resultando em E1: 0,85, impacto pequeno; E2: 0,75, impacto moderado; E3: 0,65, impacto significativo; e E4: 0,50, impacto grave (Gudzune *et al.*, 2025; Pearson-Stuttard *et al.*, 2025). O instituto de saúde estabeleceu os custos das intervenções, informando para Bariátrica Cirurgia = R\$ 30.000,00/paciente; Acompanhamento (*follow up*) = R\$ 5.000/ano, para os anos de dois a cinco; Exercício = R\$ 2.400,00/ano/paciente; e Combinado = R\$ 4.000,00/ano/paciente. A simulação, também para cinco anos e 12 pacientes, demandou adaptações em (3) e (4), tal como constante em (5) e (6), respectivamente.

$$QALY = \sum (\text{Tempo no Estado} \cdot \text{Utilidade no Estado}) \quad (5)$$

$$\text{Custo} - \text{Efetividade} = \frac{\Delta \text{Custo}}{\Delta \text{QALY}}, \text{ em relação à Base} \quad (6)$$

A observação nos domínios administrativo e econômico retificaram as expectativas e resultados do cenário Base (Tabela 10), assim 58,33% dos pacientes desenvolveriam obesidade (E2+E3+E4), não obstante a inexistência de gastos com intervenção, o custo em saúde seria elevado 3,59 QALYs/pessoa (= 43,20/12) em cinco anos, logo demandando maiores somas de recursos. No Bariátrica, a indicação limitada aos casos graves, dada a rápida promoção de melhora para os indivíduos em E3 e E4 se confirmou, especialmente pela estimativa de Custo-Efetividade (Tabela 10), entretanto no domínio do tempo, a eficiência se tornaria diluída na relação Δ QALY e ICER (Tabela 11).

O programa de Exercícios deteve o melhor Custo-Efetividade (Tabela 10), o que teria relevância ímpar, dado o fato daquele se caracterizar como prevenção primária, proporcionado Δ QALY = +5,40, destarte o cenário Mais Eficiente com 4,05 QALYs/pessoa.

No Combinado, o Custo-Efetividade foi inferior ao Exercício, porém distante da métrica correspondente do Bariátrica. Esse cenário proporcionaria 4,25 QALYs/pessoa, superando o Base em 18,06% ($= 100 - (51,00 \cdot 100) / 43,20$), e ratificando a indicação para voluntários na transição E2→E3.

Tabela 10: Estimativas de Custo Intervenção (R\$) e Custo-Efetividade (R\$/QALY) para Simulação Expandida.

Cenário	E1	E2	E3	E4	QALY	Custos Intervenção	Custo-Efetividade
Base	5	4	2	1	43,20	0,00	-
Bariátrica	7	3	1	1	46,80	150.000,00	41.667,00
Exercício	8	3	1	0	48,60	144.000,00	26.667,00
Combinado	10	2	0	0	51,00	240.000,00	30.769,00

Fonte: Os Autores (2026).

Tabela 11: Estimativas de Razão de Custo Intervenção Incremental (ICER = $\Delta\text{Custo}/\Delta\text{QALY}$, R\$/QALY).

Comparação	ΔCusto	ΔQALY	ICER	Conclusão
Base → Exercício	144.000,00	+5,40	26.667,00	Mais eficiente
Exercício → Combinado	96.000,00	+2,40	40.000,00	Limite de aceitação
Base → Cirurgia	150.000,00	+3,60	41.667,00	Menos eficiente

Fonte: Os Autores (2026).

Considerando que a manutenção ao Exercício no domínio temporal seria um limitador, pela tendência de abandono por, aproximadamente, 30,00% dos pacientes (Picorelli *et al.*, 2014), a análise de sensibilidade com taxa de adesão de 70,00% se fez necessária (Tabela 11), sob tal condição, o melhor Custo-Efetividade se manteve no cenário Exercício. Logo, ao desenvolvimento de políticas públicas de saúde, a primeira intervenção deveria se concentrar na disponibilização de programa de exercícios supervisionados, especialmente aos indivíduos com Sobrepeso e Obesidade Grau I, porque apresentaria retorno administrativo e econômico mais favorável (ICER), gerando 3,60 QALYs de ganho por R\$ 100.000,00 em investimentos.

O desenvolvimento de intervenções com base no cenário Combinado poderia priorizar a Obesidade Grau I com tendência de progressão de comprometimento (Leopoldino e Werneck, 2025; Rodrigues, Brasileiro e Luz, 2025), sobretudo na presença de fragilidade na manutenção dos exercícios isoladamente, nos seis primeiros meses (Fonseca-Junior *et al.*, 2013; Sanches *et al.*, 2024). Finalmente, a cirurgia bariátrica deveria ser indicada aos pacientes com IMC > 40,00 kg/m² ou IMC ≥ 35,00 kg/m² com comorbidades (Rocha, 2018; Assumpção *et al.*, 2019), assim guardando convergência ao alto custo da intervenção e baixo Custo-Efetividade. Confrontando, o investimento público de R\$

1.000.000,00 poderia atender 80 pessoas com 36 QALYs de ganho se aplicados no Exercício, enquanto que em Bariátrica alcançaria 32 pacientes com 12 QALYs de ganho, gerando 24 QALYs de diferença favorável ao primeiro cenário mencionado.

A totalidade do exposto corroborou a necessidade de planejamento de ações transdisciplinares voltadas à adequada atenção aos indivíduos acometidos pela obesidade, especialmente para evitar o agravamento ou promover a regressão da classificação clínica, o que contribuiria à melhora da qualidade de vida individual (Varela, Campos e Silva, 2025) e promoveria positivamente a saúde pública (cura e controle) e coletiva (direito à saúde).

Considerações Finais

No contexto de saúde, a intervenção que associou Exercício + Reeducação deteve maior efetividade, entretanto na consideração da economia da saúde, o Exercício apresentou superior Custo-Efetividade. Portanto, pode-se concluir que o objetivo de desenvolver o modelo markoviano foi satisfatoriamente conquistado.

Aos estudos futuros recomenda-se o desenvolvimento de modelos individuais para entendimento da heterogeneidade da progressão da obesidade. Refazer os modelos, porém considerando a existência de comorbidades, por exemplo diabetes, hipertensão, dislipidemia, dado que tais condições tenderiam a influenciar as taxas de transição. Essas poderiam ser impactadas por “subestados” (estados intermediários) para as faixas de IMC. Finalmente, a modelagem pode considerar a adesão não perfeita às intervenções, o que deve alterar significativamente os resultados das simulações.

Referências

AMINIAN, A *et al.* The American Society for Metabolic and Bariatric Surgery (ASMBS) updated position statement on perioperative venous thromboembolism prophylaxis in bariatric surgery. **Surgery for Obesity and Related Diseases**, v. 18, n. 2, p. 165-174, 2022.

ARA, R; BRENNAN, A. The cost-effectiveness of sibutramine in non-diabetic obese patients: evidence from four Western countries. **Obesity Reviews**, v. 8, n. 4, p. 363-371, 2007.

ASSUMPÇÃO, RP *et al.* Cost-utility of gastric bypass surgery compared to clinical treatment for severely obese with and without diabetes in the perspective of the Brazilian public health system. **Obesity Surgery**, v. 29, n. 10, p. 3202-3211, 2019.

AYALA, RMA. **Inferencia de modelos epidemiológicos compartimentales en redes sociales**. Tesis (Maestría en Ciencias con Especialidad en Probabilidad y Estadística) – Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. Guanajuato, Ciudad de México (México), 2016.

AZEVEDO, I. Factores sociais na obesidade. **Cadernos de Saúde**, v. 4, n. Especial, p. 33-36, 2011.

BALESTRONI, G. BERTOLONI, G. EuroQoL-5D (EQ-5D): an instrument for measuring quality of life. **Monaldi Archives for Chest Disease**, v. 78, n. 3, p. 155-159, 2012.

BARRETO, ACLG *et al.* Cadeia de Markov a tempo discreto para predição de faixas de receita em escola de futevôlei. **Revista Presença**, v. 11, n. 26, p. 127-140, 2025.

BRUM, M; STURM, R. Severe obesity increases more rapidly in Brazil than moderate obesity: analysis of Vigitel 2006–2021. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 28, p. e250011, 2025.

DIAS, ACS *et al.* O cenário passado e atual da obesidade e do sobrepeso no Brasil. **Studies in Health Sciences**, v. 6, n. 1, e13936, 2025.

DIAS, GS; ARENAS, MVS. Estudos sobre cirurgia bariátrica no Sistema Único de Saúde publicados no período de 2016 a 2020. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 14, n. 2, p. 19-38, 2022.

DOMBROWSKI, SU *et al.* Long term maintenance of weight loss with non-surgical interventions: a systematic review and meta-analysis. **BMJ**, 14, 2014. doi: 10.1136/bmj.g2646

ETHIER, S; KURTZ, T. **Markov processes**. London (UK): John Wiley & Sons, 1986.

FAGUNDES, AM *et al.* Técnicas e complicações durante a cirurgia bariátrica: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e387111637420, 2022.

FERNANDES, MG. **Modelo matemático para o estudo das interações dinâmicas em rede de proteínas das adesões focais no processo de mecanotransdução**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2024.

FLEGAL, KM *et al.* Trends in Obesity Among Adults in the United States, 2005 to 2014. **JAMA**, n. 315, v. 21, p. 2284-2291, 2016.

FONSECA-JUNIOR, SJ *et al.* Exercício físico e obesidade mórbida: uma revisão sistemática. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)**, v. 26, p. 67-73, 2013.

FRANCO, MFO *et al.* Obesidade e síndrome metabólica: mecanismos hormonais e abordagem terapêutica. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 7, n. 3, p. 1789-1808, 2025.

FRANCO, MFO *et al.* Obesidade e Síndrome Metabólica: Mecanismos Hormonais e Abordagem Terapêutica. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 7, n. 3, p. 1789-1808, 2025.

GIOVANNI, MYG *et al.* Modelagem do processo de produção de bioetanol em dynetica utilizando rota metabólica simplificada. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 86000-86009, 2021.

GOMES, JA *et al.* Análise da deficiência de vitamina B12 em pacientes pós cirurgia bariátrica em um hospital privado da região amazônica. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 24, n. 11, e18413, 2024.

GROSSI, LC; BARBOSA, PH; MARTELLI, A. Influência do treinamento resistido em idosos com obesidade sarcopênica. **PhD Scientific Review**, v. 5, n. 2, p. 86-100, 2025.

GUDZUNE, KA *et al.* Association between weight reduction achieved with tirzepatide and quality of life in adults with obesity: Results from the SURMOUNT-1 study. **Diabetes, Obesity and Metabolism**, v. 27, n. 2, p. 539-550, 2025.

HERNÁNDEZ, NCA. **Estudio estocástico de dos modelos epidemiológicos**. Tesis (Actuarial) – Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México (México), 2023.

HOZO, I; GUYATT, G; DJULBEGOVIC, B. Converting evidence-based summary of findings evidence tables into decision analytical, Quality Adjusted Life Years (QALY) and life expectancies metrics: a tutorial. **Journal of evaluation in clinical practice**, v. 31, n. 5, p. e70254, 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saúde**: 2019: atenção primária à saúde e informações antropométricas: Brasil. Rio de Janeiro: IBGE; 2020. Acessado em 20/10/2025. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101758.pdf>

ISAACSON, DL; MADSEN, RW. **Markov chains**: theory and applications. London (UK): John Wiley & Sons, 1976.

ISAKA, AV. **Modelamiento estocástico de biorreactores**. Thesis (Maestria en Ingeniería – Ingeniería Química) – Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Manizales (Colombia), 2021.

JOHNS, DJ *et al.* Diet or exercise interventions vs combined behavioral weight management programs: a systematic review and meta-analysis of direct comparisons. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 114, n. 10, p. 1557-1568, 2014.

KAVANO, CR *et al.* Evolução do excesso de peso e da obesidade em adultos brasileiros: evidências para a vigilância em saúde. **Rev Rene**, v. 26, e95361, 2025. DOI: 10.36517/2175-6783.20252695361.

KAWAI, AM *et al.* Obesidade em adultos: os desafios e as potencialidades da atenção à saúde em Manaus-AM. **Revista Foco**, v. 18, n. 3, p. e8095, 2025.

KIRKDALE, R *et al.* The cost of a QALY. **QJM: An International Journal of Medicine**, v. 103, n. 9, p. 715–720, 2010.

LEAN, ME *et al.* Primary care-led weight management for remission of type 2 diabetes (DiRECT): an open-label, cluster-randomised trial. **The Lancet**, v. 391, n. 10120, p. 541-551, 2018.

LEOPOLDINO, JS; WERNECK, JL. O impacto da educação nutricional em adultos obesos na Atenção Primária à Saúde. **Cadernos de Pesquisa do UNIFAA**, v. 3, n. 2, p. e20250302, 2025.

LOOK AHEAD RESEARCH GROUP. Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes. **New England Journal of Medicine**, v. 369, n. 2, p. 145-154, 2013.

MAGLIANO, CAS. Método prático para modelar utilidades em condições de saúde simultâneas. **Jornal Brasileiro de Economia da Saúde**, v. 16, n. 3, p. 145-148, 2024.

MALTA, DC *et al.* Tendência temporal da prevalência de obesidade mórbida na população adulta brasileira entre os anos de 2006 e 2017. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, p. e00223518, 2019.

MARTINS, KPS *et al.* Transição nutricional no Brasil de 2000 a 2016, com ênfase na desnutrição e obesidade. **Asklepion: informação em saúde**, v. 1, n. 2, p. 113-132, 2021.

MATTOS, JA *et al.* Eficácia de diferentes protocolos de treinamento físico sobre os parâmetros da síndrome metabólica em adultos obesos: revisão sistemática. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 19, n. 121, p. 772-787, 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Política Nacional de Alimentação e Nutrição**. Brasília (DF): Ministério da Saúde, 2013. Acessado em 20/10/2025. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_nacional_alimentacao_nutricao.pdf

NG, M *et al.* Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. **The Lancet**, v. 384, n. 9945, p. 766-781, 2014.

NICOLI, MED *et al.* Prevenção da obesidade: uma revisão integrativa das abordagens e seus resultados. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 11, p. 1368-1380, 2024.

NONINO-BORGES, CB; BORGES, RM; SANTOS, JE. Tratamento clínico da obesidade. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 39, n. 2, p. 246-252, 2006.

OLIVEIRA, LA *et al.* ID097 A escolha entre o uso de análise de sobrevivência particionada e estados transitórios de Markov em análises de custo-efetividade pode ser arbitrária? Eixo 1: Sustentabilidade nos Sistemas de Saúde. **Jornal de Assistência Farmacêutica e Farmacoeconomia**, v. 9, s.1, 2024. Acessado em 15/10/2025. <https://doi.org/10.22563/2525-7323.2024.v9.s1.p.76>

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Obesity and overweight**. World Health Organization. 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Acessado em: 23 setembro 2025.

PARUSSOLO, GS *et al.* View of Obesity management: a narrative review of treatments focusing on metabolic surgery. **Research, Society and Development**, v.11, n. 3, e13711326129, 2022.

PASTORELLO, CCG *et al.* Variações nas tendências de crescimento da obesidade em adultos brasileiros entre 2006 e 2021. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 30, p. e19882023, 2025.

PEARSON-STUTTARD, J *et al.* Metrics that matter: Identifying endpoints for capturing the broad health impacts of prevention of obesity. **Diabetes, Obesity and Metabolism**, 2025. DOI: 10.1111/dom.70016.

PESSOA, D. **Modelling the dynamics of *Streptococcus pneumoniae* transmission in children**. Dissertation (Master of Bioinformatics and Computational Biology) – Departamento de Biologia Animal. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa. Lisboa (Portugal), 2010.

PICORELLI, AM *et al.* (2014). Adherence to exercise programs for older people: a systematic review. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 60, n. 3, p. 151-156, 2014.

PINHEIRO, MC *et al.* Abordagem intersetorial para prevenção e controle da obesidade: a experiência brasileira de 2014 a 2018. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 43, p. e58, 2019.

PORTO, TNRS *et al.* Prevalência do excesso de peso e fatores de risco para obesidade em adultos. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, n. 22, p. e308, 2019.

RESQUE, RFC *et al.* Correlação entre obesidade e envelhecimento vascular em mulheres de meia idade: análise por velocidade de onda de pulso. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 25, n. 6, p. e20801, 2025.

RIZZOTTI, F. **Simulazione stocastica del processo di riprogrammazione cellulare tramite espressione episomale multifattoriale in piattaforma microfluidica**. Tesi di Laurea (Magistrale in Ingegneria Chimica e dei Processi Industriali) - Dipartimento di Ingegneria Industriale. Università Degli Studi di Padova. Padova (Italia), 2012.

ROCHA, MAB. **Análise custo-efetividade da cirurgia bariátrica no tratamento da obesidade mórbida**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia. Universidade do Porto. Porto (Portugal), 2018.

RODRIGUES, IDS; BRASILEIRO, RS; LUZ, CRAN. Tratamento multidisciplinar da obesidade: uma análise do estágio de motivação e mudança do comportamento alimentar. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 8, n. 18, p. e081903, 2025.

SALLUM, FSV. Uma abordagem MCDA para identificar relações-chave entre estados de saúde em cadeias de Markov para esclerose múltipla. **Jornal de Assistência Farmacêutica e Farmacoeconomia**, v. 1, n. s. 1, 2022. Acessado em 15/10/2025. <https://doi.org/10.22563/2525-7323.2022.v1.s1.p.76>

SANCHES, MHF *et al.* Obesidade em adultos: visão geral do tratamento. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 10, p. 1500-1520, 2024.

SANT'ANNA JUNIOR, M *et al.* Associação entre a mecânica respiratória e função autonômica na obesidade mórbida. **Revista Portuguesa de Pneumologia**, v. 20, n. 1, p. 31-35, 2014.

SATO, RC; ZOUAIN, DM. Modelos de Markov aplicados a saúde. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, n. 3, p. 376-379, 2010.

SOÁREZ, PC; SOARES, MO; NOVAES, HMD. Modelos de decisão para avaliações econômicas de tecnologias em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4209-4222, 2014.

SOUZA, AFF; LOURENÇO, JDR; ALMEIDA, SG. Análise dos transtornos alimentares desenvolvidos pós cirurgia bariátrica. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 6, p. e4113645971, 2024.

SOUZA, R; LACERDA, JT; MACHADO, PMO. Atenção nutricional no enfrentamento da obesidade na Atenção Primária à Saúde: proposta de modelo avaliativo. **Saúde em Debate**, v. 49, n. 144, p. e9435, 2025.

TANURI, LD *et al.* Intervenções nutricionais e farmacológicas no manejo da obesidade: uma revisão. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 3, p. 1688-1704, 2024.

TEIXEIRA, DT; HOTT, MCC; MOREIRA, LE. Sedentarismo como fator desencadeador da obesidade. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 12, n. 1, p. 1-16, 2025.

VARELA, DHS; CAMPOS, RKS; SILVA, MLRB. Controle da obesidade em adultos: análise de intervenções, desafios e impactos na qualidade de vida. **PhD Scientific Review**, v. 5, n. 7, p. 8-30, 2025.

VEIGA, AGM *et al.* Caracterização da antropometria, análise bioquímica e comportamental de pacientes pós cirurgia bariátrica. **Enfermagem Brasil**, v. 23, n. 3, p. 1695-1704, 2024.

WHO. **Obesity**: preventing and managing the global epidemic. World Health Organization Technical Report Series, 894, i-253, 2000.

XAVIER, LL *et al.* Prevalência de sobrepeso e obesidade em pacientes atendidos na clínica escola de uma universidade pública do estado de Pernambuco. **Revista Delos**, v. 18, n. 66, p. e4817, 2025.