

O ÍNDICE DE MASSA TRI-PONDERAL É ÚTIL NA TRIAGEM DE CRIANÇAS E ADOLESCENTES COM RESISTÊNCIA À INSULINA

Tri-ponderal mass index is useful for screening children and adolescents with insulin resistance

Felipe Silva Neves^{a*} , Rafael de Oliveira Alvim^b , Divanei Zaniqueli^c ,
Virgílica Oliveira Pani^c , Caroline Resende Martins^c , Marcos Alves de Souza Peçanha^c ,
Míriam Carmo Rodrigues Barbosa^c , Eliane Rodrigues de Faria^a , José Geraldo Mill^c 

RESUMO

Objetivo: Investigar se o índice de massa tri-ponderal e os escores-z do índice de massa corporal são equivalentes na triagem de crianças e adolescentes com resistência à insulina.

Métodos: Estudo transversal com 296 crianças e adolescentes matriculados em escolas públicas de Vitória, Espírito Santo, Brasil, com idades entre oito e 14 anos. O índice de massa tri-ponderal foi calculado como a razão entre o peso e a altura ao cubo. O índice de massa corporal foi calculado como a razão entre o peso e a altura ao quadrado. A resistência à insulina foi definida pelo modelo de avaliação da homeostase para resistência à insulina (HOMA-IR).

Resultados: O HOMA-IR foi maior no 4^o quartil dos escores-z do índice de massa corporal e do índice de massa tri-ponderal, em relação ao 1^o e 2^o quartis em ambos os sexos. As áreas sob as curvas *receiver operating characteristic* ajustadas por idade foram semelhantes em meninas (escores-z do índice de massa corporal=0,756; índice de massa tri-ponderal=0,763) e meninos (escores-z do índice de massa corporal=0,831; índice de massa tri-ponderal=0,843). Além disso, de acordo com as estimativas das análises de regressão linear simples, os escores-z do índice de massa corporal e o índice de massa tri-ponderal explicaram uma fração significativa da variabilidade do modelo de avaliação da homeostase para meninas (escores-z do índice de massa corporal: $R^2=0,269$; índice de massa tri-ponderal: $R^2=0,289$; $p<0,001$) e meninos (escores-z do índice de massa corporal: $R^2=0,175$; índice de massa tri-ponderal: $R^2=0,210$; $p<0,001$).

Conclusões: O índice de massa tri-ponderal e os escores-z do índice de massa corporal foram semelhantes na triagem de

ABSTRACT

Objective: To investigate whether tri-ponderal mass index and body mass index Z scores are equivalent for screening children and adolescents with insulin resistance.

Methods: Cross-sectional study with 296 children and adolescents enrolled at public schools of Vitória, Espírito Santo, Brazil, aged eight to 14 years. The tri-ponderal mass index was calculated as the ratio between weight and height cubed. The body mass index was calculated as the ratio between weight and height squared. Insulin resistance was defined with the homeostatic model assessment (HOMA-IR).

Results: The HOMA-IR was higher in the 4th quartile of body mass index Z scores and tri-ponderal mass index compared to 1st and 2nd quartiles for both girls and boys. The areas under the age-adjusted receiver operating characteristic curves were similar between the indices for girls (body mass index Z scores=0.756; tri-ponderal mass index=0.763) and boys (body mass index Z scores=0.831; tri-ponderal mass index=0.843). In addition, according to the simple linear regression analyses estimations, both body mass index Z scores and tri-ponderal mass index explained a significant fraction of the homeostatic model assessment variability for girls (body mass index Z scores: $R^2=0.269$; tri-ponderal mass index: $R^2=0.289$; $p<0.001$) and boys (body mass index Z scores: $R^2=0.175$; tri-ponderal mass index: $R^2=0.210$; $p<0.001$).

Conclusions: The tri-ponderal mass index and body mass index Z scores were similar to discriminate children and adolescents with

*Autor correspondente. E-mail: felipe.sneves@hotmail.com (F.S. Neves).

^aUniversidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

^bUniversidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

^cUniversidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

Recebido em 27 de fevereiro de 2019; aprovado em 11 de junho de 2019; disponível on-line em 12 de março de 2020.

crianças e adolescentes com resistência à insulina. É importante ressaltar que o uso do índice de massa tri-ponderal é claramente vantajoso, pois pode ser calculado sem ajustes por idade, fato que o torna muito aplicável à prática clínica.

Palavras-chave: Criança; Adolescente; Resistência à insulina; Antropometria; Índice de massa corporal; Índice de massa tri-ponderal.

insulin resistance. It is noteworthy that the use of tri-ponderal mass index is clearly advantageous, because it can be calculated with no concerns on adjustments for the age, a fact that makes it very applicable in the clinical practice.

Keywords: Child; Adolescent; Insulin resistance; Anthropometry; Body mass index; Tri-ponderal mass index.

INTRODUÇÃO

A resistência à insulina (RI) é um distúrbio metabólico muito associado à obesidade, sendo reconhecida como uma condição determinante para o desenvolvimento de diabetes mellitus tipo 2 (DMT2).¹ Estudos apontam que, entre as crianças, a RI é significativamente associada à obesidade e ao risco cardiometabólico.² Assim, a preocupação com a incidência alarmante de DMT2 tem motivado pesquisadores a investigarem o início precoce da RI e sua relação com a obesidade.³⁻⁵

Devido à pandemia de obesidade infantil,⁶⁻⁸ é importante divulgar a necessidade do diagnóstico precoce de RI. A técnica padrão-ouro para avaliar a RI é o *clamp* euglicêmico hiperinsulinêmico, elegantemente desenvolvido por DeFronzo et al.⁹ No entanto, apesar de vantajoso em relação aos índices indiretos, este procedimento é caro, invasivo e demorado para ser utilizado em ambientes clínicos e estudos epidemiológicos, principalmente os que envolvem a população pediátrica. Como consequência, índices alternativos, simples e baratos vêm sendo propostos, como o modelo de avaliação da homeostase para resistência à insulina (HOMA-IR). O HOMA-IR tem se mostrado altamente confiável como estimador de RI em crianças e adolescentes obesos.¹⁰

A Organização Mundial de Saúde propôs o uso dos escores-z do índice de massa corporal (IMCz) como o indicador mais adequado para a triagem de obesidade pediátrica. Contudo, uma investigação recente sugeriu que o índice de massa tri-ponderal (IMT), uma ferramenta simples que não envolve percentis complicados, calculado como peso dividido pela altura ao cubo, é mais preciso que o IMCz na classificação de crianças e adolescentes com sobrepeso.¹¹

Considerando o papel fundamental da obesidade no desencadeamento da RI e a necessidade de ferramentas confiáveis e de baixo custo que possam ser usadas no ambiente clínico, este estudo buscou investigar se o IMT e o IMCz são equivalentes na triagem de crianças e adolescentes com RI.

MÉTODO

A amostra elegível para este estudo transversal foi selecionada em nove escolas públicas do município de Vitória, Espírito Santo,

localizado no Sudeste do Brasil. Os critérios de exclusão foram definidos como: uso crônico ou prolongado de medicamentos que alteram o metabolismo de carboidratos e lipídeos; declaração de doenças crônicas não-transmissíveis ou outras enfermidades que promovem mudanças inflamatórias; declaração de uso de marcapasso ou próteses ortopédicas que comprometem as avaliações antropométricas e de composição corporal; pessoas com necessidades especiais; e meninas que relataram gestação ou lactação. Um total de 296 crianças e adolescentes, de ambos os sexos, com idades entre oito e 14 anos participaram do estudo. A amostra foi calculada (n=269) para detectar uma diferença de 0,50 no valor do HOMA-IR, com erro de 5% e poder estatístico de 90%. Entre julho de 2016 e fevereiro de 2017, os alunos visitaram a Clínica de Investigação Cardiovascular, localizada no Hospital Universitário, onde foram submetidos a exames clínicos e laboratoriais. Pesquisadores treinados e previamente certificados por um investigador sênior coletaram todos os dados em uma única visita.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética Institucional (CAEE: 53609716.0.0000.5060; protocolo: 1,565,490) e realizado em conformidade com o Código de Ética da Associação Médica Mundial (Declaração de Helsinki) para estudos com seres humanos. O termo de consentimento livre e esclarecido foi assinado por pais ou responsáveis legais antes do ingresso no estudo.

Parâmetros antropométricos foram aferidos de acordo com um protocolo padrão.¹² O peso foi obtido com aproximação de 50 g por meio de uma balança eletrônica calibrada (Toledo, Brasil), com os indivíduos descalços, vestindo apenas roupas leves. A estatura foi medida com aproximação de 0,1 cm por meio de um estadiômetro de parede (Seca Stadiometer – Seca GmbH & Co, Hamburgo, Alemanha). O percentual de gordura corporal foi calculado por meio do exame de impedância bioelétrica multifrequencial (BIA-MF8, InBody 230, Biospace, Coreia do Sul). O IMC foi obtido como a razão entre o peso e a altura ao quadrado (kg/m^2) e, posteriormente, transformado em escores-z, segundo o sexo e a idade, conforme os padrões estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde.¹³ O IMT foi calculado por meio do peso dividido pela altura ao cubo (kg/m^3).

O sangue foi coletado por punção venosa após jejum noturno (8 a 12 horas) e enviado para um laboratório central (Laboratório Tommasi, Vitória, ES, Brasil) para determinar as concentrações séricas de colesterol total (CT), colesterol associado à lipoproteína de baixa densidade (LDL-C), colesterol associado à lipoproteína de alta densidade (HDL-C), triglicérides (TG), glicose e insulina. O LDL-C foi calculado pela equação de Friedewald em indivíduos com TG ≤ 400 mg/dL.

O índice HOMA-IR foi definido de acordo com a equação: [insulina em jejum (U/mL) x glicemia em jejum (mmol/L) / 22,5].¹⁴ A presença de RI foi determinada quando HOMA-IR ≥ 3,16.¹⁰

Dados contínuos foram expressos em média e desvio-padrão; as variáveis categóricas, em n e porcentagem. O teste *t* de Student não-pareado foi aplicado para comparar as médias das variáveis contínuas de meninas e meninos. As proporções entre meninas e meninos foram comparadas com o teste qui-quadrado.

O IMCz e o IMT foram categorizados em quartis. Os valores médios de porcentagem de gordura corporal, glicemia em jejum, insulina em jejum e HOMA-IR foram comparados entre os quartis por meio da ANOVA de uma via seguida pelo *post-hoc* de Bonferroni, no caso de um teste F significativo.

Curvas *receiver operating characteristic* (ROC) foram construídas para determinar o poder discriminatório do IMCz e do IMT para a RI, de acordo com o valor de corte do HOMA-IR

(≥3,16). O pacote Epi do programa R 3.4.1 (<http://www.r-project.org>) foi utilizado no ajuste por idade.

Análises de regressão linear simples foram realizadas para o IMCz e o IMT como variáveis predictoras, sendo o HOMA-IR a variável dependente. Todas as análises foram conduzidas separadamente para meninas e meninos.

Os procedimentos estatísticos utilizaram-se o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 24.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EUA) e o GraphPad Prism 6.0 (GraphPad Software, Inc., CA, EUA). A significância estatística foi estabelecida em $p < 0,05$.

RESULTADOS

As principais características da amostra são apresentadas na Tabela 1. As porcentagens de gordura corporal ($p < 0,001$), TG ($p = 0,005$), insulina em jejum ($p = 0,004$), HOMA-IR ($p = 0,010$) e a proporção de indivíduos com RI ($p = 0,005$) foram significativamente maiores nas meninas em relação aos meninos.

Ambos os índices foram precisos ao estimar o percentual de gordura corporal (Tabela 2). Meninas e meninos nos quartis superiores de IMCz e IMT apresentaram uma porcentagem de gordura corporal significativamente mais elevada. Nos dois grupos, o nível de glicemia em jejum foi semelhante entre os quartis. A insulina em jejum e o HOMA-IR, no entanto, foram mais elevados no 4º quartil do IMCz em comparação com o 1º, 2º e 3º quartis, em ambos os sexos.

Tabela 1 Características gerais da amostra.

Características	Total	Meninas	Meninos	p
n	296	161	135	-
Idade (anos)	10,2±3,3	10,2±3,3	10,2±3,1	0,922
Peso (kg)	39,2±19,7	40,6±19,8	38,4±19,7	0,867
Altura (cm)	144,0±0,2	144,0±0,2	143,0±0,2	0,457
IMCz	0,68±1,41	0,65±1,41	0,72±1,43	0,681
IMT (kg/m ³)	12,8±3,5	12,8±3,9	12,6±3,1	0,169
Gordura corporal (%)	23,5±15,5	25,5±15,3	21,3±13,8	<0,001
CT (mg/dL)	149,0±31,7	148,0±29,5	149,0±38,0	0,760
LDL-C (mg/dL)	77,5±27,0	76,0±25,0	78,0±30,0	0,527
HDL-C (mg/dL)	51,0±13,7	50,0±14,0	52,0±14,0	0,051
TG (mg/dL)	67,0±37,0	73,0±47,0	63,0±33,0	0,005
Glicemia em jejum (mg/dL)	87,0±10,7	87,0±11,0	88,0±10,0	0,244
Insulina (mcUI/mL)	10,6±8,2	11,9±9,0	9,8±7,4	0,004
HOMA-IR	2,27±1,82	2,49±2,02	2,02±1,68	0,010
RI (%)	78 (26,4)	53 (32,9)	25 (18,5)	0,005

IMCz: escores-z do índice de massa corporal; IMT: índice de massa tri-ponderal; CT: colesterol total; LDL-C: colesterol associado à lipoproteína de baixa densidade; HDL-C: colesterol associado à lipoproteína de alta densidade; TG: triglicérides; HOMA-IR: modelo de avaliação da homeostase para resistência à insulina; RI: resistência à insulina; os valores são expressos em média ± desvio-padrão ou n (%); teste *t* de Student não-pareado ou teste qui-quadrado; diferença significativa quando $p < 0,05$.

As curvas ROC ajustadas por idade foram construídas para testar a capacidade do IMCz e do IMT em classificar corretamente os indivíduos resistentes à insulina. As áreas sob as curvas ROC para o IMCz e o IMT foram bastante semelhantes em meninas (0,756 versus 0,763, respectivamente) e meninos

(0,831 versus 0,843, respectivamente), como observado nas Figuras 1 e 2.

Os gráficos de dispersão mostram a regressão linear do HOMA-IR no IMCz e no IMT (Figura 3). Foi observado um aumento linear significativo no valor do HOMA-IR com o

Tabela 2 Gordura corporal e variáveis metabólicas segundo os quartis dos escores-z do índice de massa corporal e do índice de massa tri-ponderal.

	IMCz				IMT			
	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil
Meninas								
n	40	41	40	40	45	37	42	37
Gordura corporal (%)	17,1±2,3	23,1±1,5	30,7±3,2	41,6±3,7*	17,5±2,5	23,4±1,3	31,2±3,3	42,0±3,6*
Glicemia em jejum (mg/dL)	85,6±6,6	86,4±8,0	86,3±10,4	87,8±7,6	85,4±6,5	87,0±8,2	86,4±10,2	87,6±7,9
Insulina (mcUI/mL)	8,2±4,5	11,0±5,6	14,8±6,2	19,6±10,5*	8,4±4,4	11,2±5,8	14,7±6,4	20,2±10,5*
HOMA-IR	1,7±1,0	2,4±1,3	3,2±1,5	4,4±2,6*	1,8±0,9	2,4±1,4	3,2±1,5	4,5±2,6*
Meninos								
n	35	33	34	33	33	36	33	33
Gordura corporal (%)	12,4±1,8	17,7±2,0	24,9±2,3	35,7±6,1*	12,5±1,7	17,8±2,1	25,2±2,3	35,1±7,7*
Glicemia em jejum (mg/dL)	88,7±7,7	87,5±9,0	87,0±10,5	87,5±7,9	89,2±7,6	85,8±11,4	89,0±7,3	86,9±7,7
Insulina (mcUI/mL)	7,5±3,5	9,3±4,9	10,3±4,9	15,9±11,0*	7,4±3,5	9,2±4,8	11,2±6,6	15,1±10,4**
HOMA-IR	1,6±0,8	2,0±1,1	2,3±1,2	3,5±2,6*	1,6±0,8	2,0±1,1	2,5±1,6	3,3±2,4**

IMCz: escores-z do índice de massa corporal; IMT: índice de massa tri-ponderal; HOMA-IR: modelo de avaliação da homeostase para resistência à insulina; os valores são expressos em média±desvio-padrão; ANOVA de uma via; diferença significativa quando $p < 0,05$; *diferente do 1º, 2º e 3º quartis; **diferente do 1º e 2º quartis.

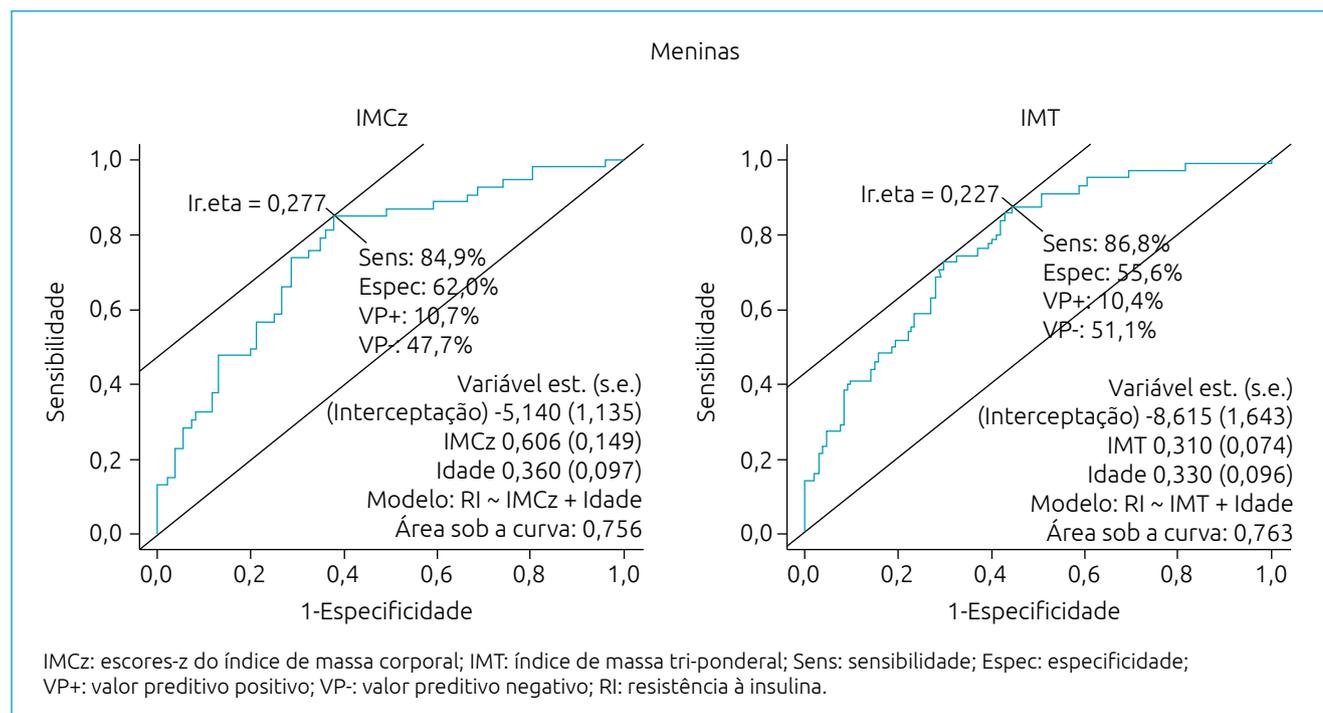


Figura 1 Poder discriminatório dos escores-z do índice de massa corporal e do índice de massa tri-ponderal na triagem de meninas com resistência à insulina.

crescimento do IMCz entre meninas ($\beta=0,70$ /unidade) e meninos ($\beta=0,50$ /unidade) (ambos com $p<0,001$). Conseqüentemente, o IMCz explicou 26,9 e 17,5% da variabilidade do HOMA-IR de meninas e meninos, respectivamente (Figura 3, partes A e B). Um aumento linear significativo no valor do HOMA-IR foi identificado com o crescimento do IMT para meninas ($\beta=0,38$ /unidade) e meninos ($\beta=0,30$ /unidade) (ambos com $p<0,001$). A variabilidade do IMT entre meninas e meninos explicou 28,9 e 21,0% da variabilidade total do HOMA-IR, respectivamente (Figura 3, partes C e D).

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo confirmaram que o IMT foi semelhante ao IMCz na identificação da RI em crianças e adolescentes. Além disso, os dois indicadores antropométricos apresentaram poder discriminatório similar para a RI.

O índice ponderal (o mesmo que IMT) tem sido utilizado para avaliar a proporcionalidade corporal de recém-nascidos por permitir a diferenciação entre a restrição de crescimento simétrica e assimétrica.¹⁵ Estudos anteriores demonstraram que a magreza (ou seja, o baixo IMT) no nascimento é preditora de RI durante a vida adulta.^{5,16,17} Apesar da faixa etária de 0–2 anos

ser considerada a limite para o uso do IMT,¹⁸ recentemente, este índice tem se mostrado mais preciso que os escores-z do IMC ao estimar a gordura corporal em populações constituídas por crianças e adultos jovens (8–29 anos).¹¹

Nós desconhecemos outros estudos que tenham testado o IMT como preditor de RI em populações pediátricas. Em contraste, o IMCz tem sido amplamente utilizado para prever a RI em crianças pré-púberes^{19,20} e adolescentes.^{21,22}

No presente estudo, o IMT e o IMCz foram semelhantes ao discriminar a RI e prever o HOMA-IR. Conforme o aumento do IMT e do IMCz, o crescimento no valor do HOMA-IR parece ser mais acentuado em meninas que em meninos, embora esta comparação esteja fora do escopo deste estudo.

Vários mecanismos têm sido propostos como possibilidades para explicar a associação entre adiposidade e RI. A hipertrofia e a hiperplasia dos adipócitos são adaptações comuns do balanço energético positivo, que, por conseguinte, aumentam o estresse oxidativo. Ele, por sua vez, aumenta a produção de adipocinas e mediadores inflamatórios, que estão associados com a RI periférica e hepática e a secreção comprometida de insulina pelas células beta pancreáticas.²³ Um crescente corpo de evidências, no entanto, tem defendido o papel da distribuição da gordura corporal (subcutânea troncular e abdominal)

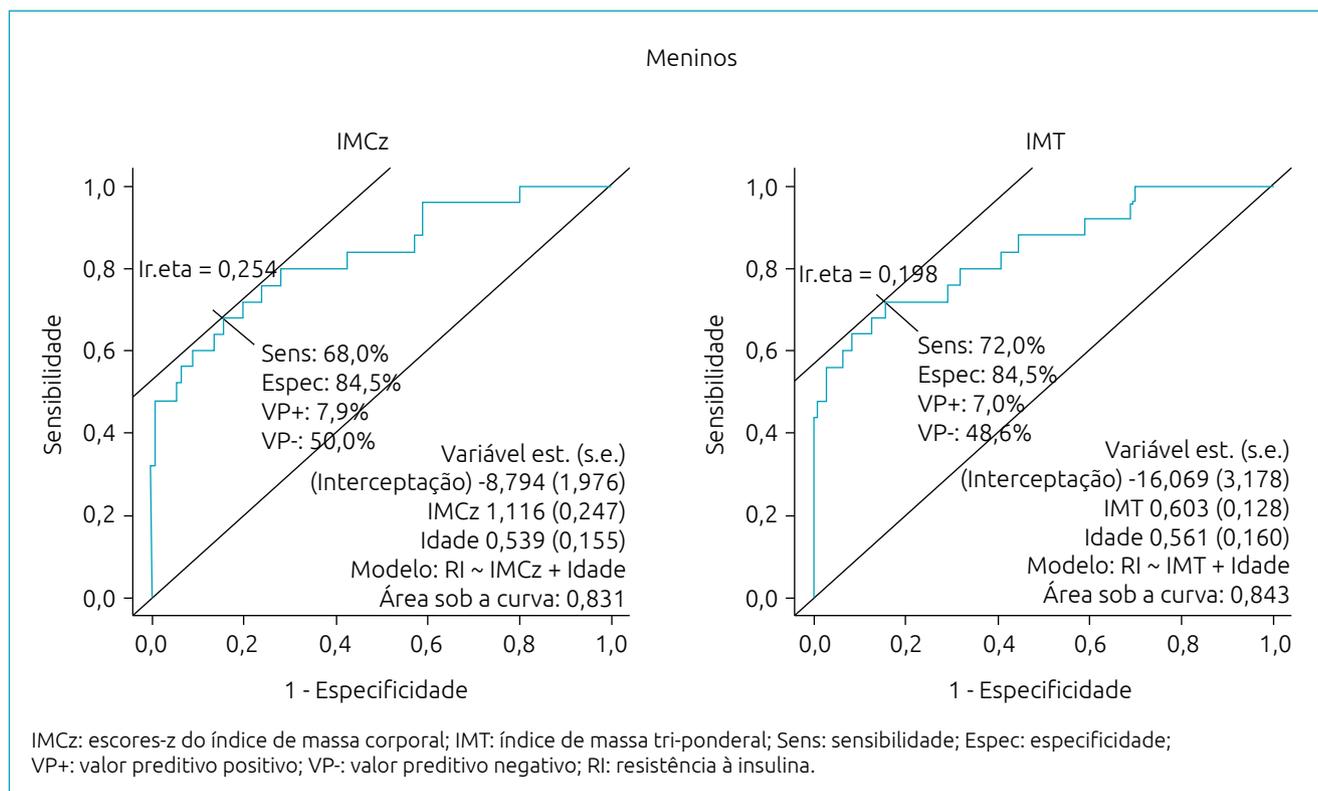


Figura 2 Poder discriminatório dos escores-z do índice de massa corporal e do índice de massa tri-ponderal na triagem de meninos com resistência à insulina.

nos mecanismos subjacentes da RI.^{24,25} Portanto, uma questão a se considerar é se o IMC é um índice satisfatório para estimar estes depósitos de tecido adiposo.

Um elegante estudo²⁶ questionou por que as relações de peso para altura são determinadas com potência de dois (área expressa) e não de três (volume expresso) no cálculo do IMC. O autor argumenta que, para objetos com tamanhos diferentes (ou seja, o comprimento dos seres humanos) mas forma idêntica (no caso, um único cilindro, como os humanos), o volume deve ser proporcional ao cubo do comprimento e a relação massa/(comprimento)³ tende a ser constante. Além disso, ainda que a forma apresente variações, a massa/(comprimento)³ continua sendo um índice completo da forma, independentemente do tamanho.²⁶ Em contrapartida, o IMC, mesmo quando os escores-z são transformados, pode apresentar viés em populações

pediátricas, já que o aumento da altura é associado à gordura, e meninos e meninas com obesidade tendem a ser mais altos que indivíduos magros da mesma faixa etária.^{27,28}

Recentemente, nosso grupo reproduziu o protocolo de Peterson et al.¹¹ e as análises indicaram que o IMT foi superior ao IMCz no diagnóstico adequado da obesidade. Contudo, os dois índices apresentaram precisão semelhante ao estimar o percentual de gordura corporal.²⁹ Portanto, há razões para acreditar que o IMT e o IMCz têm poder discriminatório similar para a RI em populações pediátricas, provavelmente porque ambos os índices são equivalentes no cálculo dos depósitos de gordura, que estão diretamente associados com a resistência à insulina. Ainda assim, recomenda-se que os profissionais de saúde usem o IMT em vez do IMCz, pois ele é muito estável desde a infância até a juventude,^{11,29} além de não precisar de tabelas complicadas de percentis.

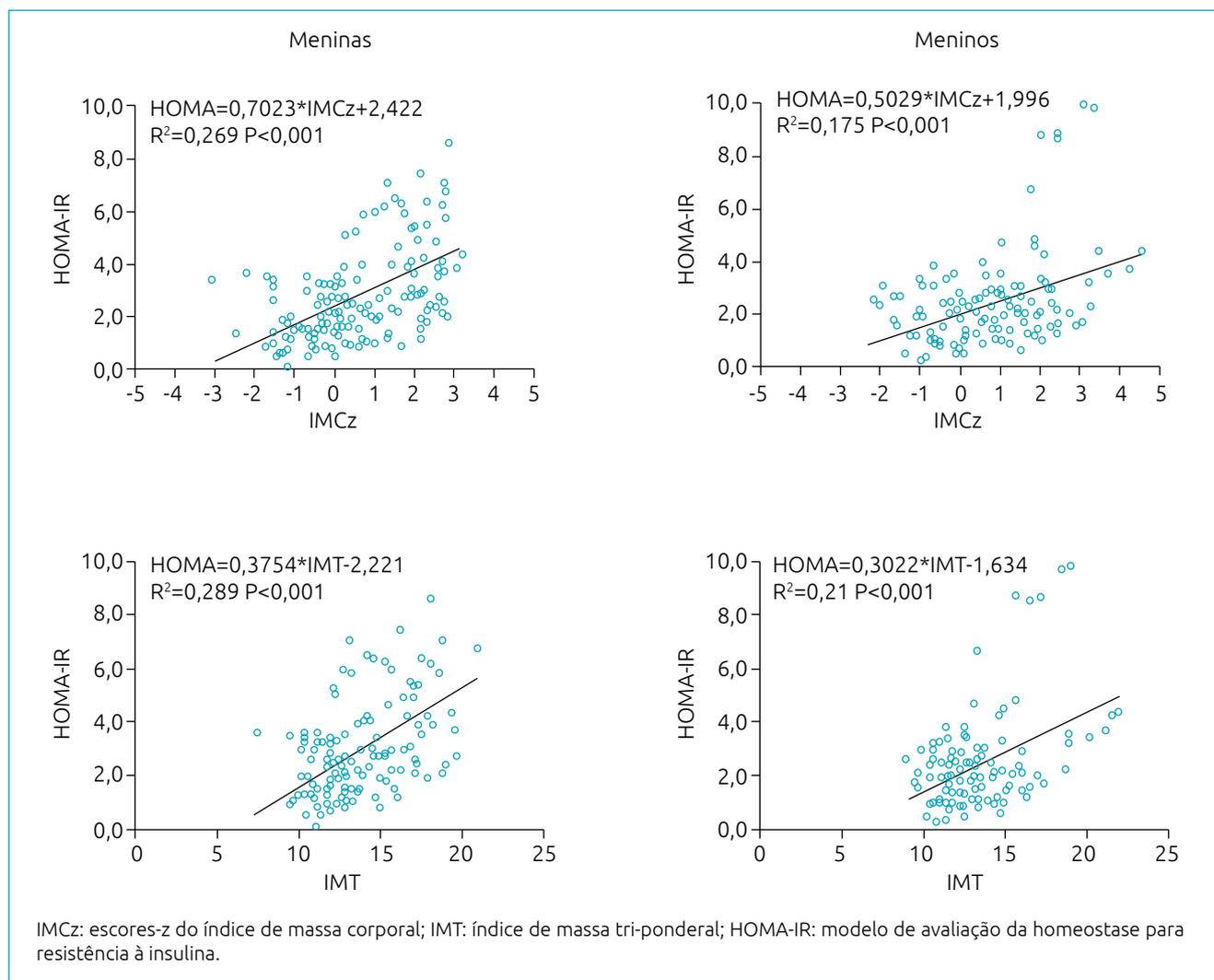


Figura 3 Regressão linear simples tendo os escores-z do índice de massa corporal (partes A e B) e o índice de massa tri-ponderal (partes C e D) como variáveis predictoras, e o modelo de avaliação da homeostase para resistência à insulina como variável dependente.

A identificação de ferramentas de triagem úteis, práticas e econômicas para detectar a RI durante a infância e o início da fase adulta é de especial interesse, pois elas podem facilitar a implementação de intervenções mais oportunas e eficazes em indivíduos que estão sob maior risco. Assim, o IMT mostra claramente algumas vantagens sobre o IMCz, já que ele pode ser calculado sem a necessidade de ajustes por idade e é mais preciso na triagem de obesidade pediátrica.^{11,29} Além disso, ao contrário dos marcadores bioquímicos, que sempre envolvem algum custo e exigem a coleta de sangue em jejum, o IMT pode ser usado na ausência de exames laboratoriais invasivos, fornece resultados imediatos e não tem custos. Estas características fazem com que o IMT seja mais fácil de ser usado tanto por profissionais de saúde quanto pela própria população. Essa informação é muito relevante para a saúde pública. No entanto, como a maioria dos clínicos e pesquisadores usam o IMCz, seria necessário um aumento substancial de evidências comprovando a utilidade do IMT para convencer a adoção dessa medida alternativa.

Apesar de ser o primeiro estudo a abordar a capacidade discriminatória do IMT para a RI em crianças e adolescentes, algumas limitações devem ser consideradas. Primeiro, a amostra não foi selecionada aleatoriamente; portanto, os resultados não podem ser extrapolados para a população geral com faixa etária semelhante. Segundo, a população brasileira apresenta grande miscigenação e, conseqüentemente, são necessários mais estudos de base populacional realizados em outros grupos étnicos. Terceiro, apesar do HOMA-IR ser amplamente utilizado na prática clínica para o diagnóstico de RI, seria importante avaliar o poder discriminatório dos indicadores

usando um padrão-ouro (o *clamp* euglicêmico hiperinsulinêmico) como referência.

Em suma, o IMT foi equivalente ao IMCz na triagem de crianças e adolescentes com RI. Sendo assim, é plausível incentivar o uso combinado de ambos os índices. O uso do IMT é claramente vantajoso, considerando que este índice pode ser calculado sem ajustes por idade, o que o torna muito aplicável à prática clínica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Marcelo Perim Baldo pelo apoio nas análises estatísticas.

Financiamento

Este trabalho foi financiado pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo (Fundo do Programa Institucional de Apoio à Pesquisa, 2015); Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) – Programa Pesquisa para o SUS (PPSUS) (subsídio número 65854420/2014); Fundação VALE; e Laboratório Tommasi de Vitória, ES, Brasil, que custeou parte dos exames bioquímicos. Os financiadores não tiveram nenhum papel na concepção e condução do estudo; na coleta, gestão, análise e interpretação dos dados; na preparação, revisão ou aprovação do manuscrito; e na decisão de submeter o artigo para publicação.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

1. Popkin BM, Adair LS, Ng SW. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr Rev*. 2012;70:3-21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x>
2. Ten S, Maclaren N. Insulin resistance syndrome in children. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89:2526-39. <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0276>
3. Sinha R, Fisch G, Teague B, Tamborlane WV, Banyas B, Allen K, et al. Prevalence of impaired glucose tolerance among children and adolescents with marked obesity. *N Engl J Med*. 2002;346:802-10. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa012578>
4. Santiago-Torres M, Cui Y, Adams AK, Allen DB, Carrel AL, Guo JY, et al. Familial and individual predictors of obesity and insulin resistance in urban Hispanic children. *Pediatr Obes*. 2016;11:54-60. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12020>
5. Nogueira-de-Almeida CA, Mello ED. Correlation of BMI Z-scores with glucose and lipid profiles among overweight and obese children and adolescents. *J Pediatr (Rio J)*. 2018;94:308-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jped.2017.06.012>
6. Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C, 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. *Lancet*. 2014;384:766-81. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60460-8)
7. World Health Organization. Consideration of the evidence on childhood obesity for the Commission on Ending Childhood Obesity: report of the ad hoc working group on science and evidence for ending childhood obesity. Geneva: WHO; 2016.

8. NCD Risk Factor Collaboration. Worldwide trends in body mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128.9 million children, adolescents, and adults. *Lancet*. 2017;390:2627-42. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32129-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32129-3)
9. DeFronzo RA, Tobin JD, Andres R. Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance. *Am J Physiol*. 1979;237:E214-23. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1979.237.3.E214>
10. Keskin M, Kurtoglu S, Kendirci M, Atabek ME, Yazici C. Homeostasis model assessment is more reliable than the fasting glucose/insulin ratio and quantitative insulin sensitivity check index for assessing insulin resistance among obese children and adolescents. *Pediatrics*. 2005;115:e500-3. <https://doi.org/10.1542/peds.2004-1921>
11. Peterson CM, Su H, Thomas DM, Heo M, Golnabi AH, Pietrobelli A, et al. Tri-ponderal mass index vs body mass index in estimating body fat during adolescence. *JAMA Pediatr*. 2017;171:629-36. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.0460>
12. Lohman T, Roche A, Martorell E. Anthropometric standardization reference manual. Champaign: Human Kinetics Books; 1988.
13. de Onis M, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bull World Health Organ*. 2007;85:660-7. <https://doi.org/10.2471/blt.07.043497>
14. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia*. 1985;28:412-9. <https://doi.org/10.1007/bf00280883>
15. Landmann E, Reiss I, Misselwitz B, Gortner L. Ponderal index for discrimination between symmetric and asymmetric growth restriction: percentiles for neonates from 30 weeks to 43 weeks of gestation. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2006;19:157-60. <https://doi.org/10.1080/14767050600624786>
16. Phillips DI, Barker DJ, Hales CN, Hirst S, Osmond C. Thinness at birth and insulin resistance in adult life. *Diabetologia*. 1994;37:150-4. <https://doi.org/10.1007/s001250050086>
17. Thompson CH, Sanderson AL, Sandeman D, Stein C, Borthwick A, Radda GK, et al. Fetal growth and insulin resistance in adult life: role of skeletal muscle morphology. *Clin Sci (Lond)*. 1997;92:291-6. <https://doi.org/10.1042/cso920291>
18. Howe LD, Tilling K, Benfield L, Logue J, Sattar N, Ness AR, et al. Changes in ponderal index and body mass index across childhood and their associations with fat mass and cardiovascular risk factors at age 15. *PLoS One*. 2010;5:e15186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015186>
19. Bennett B, Larson-Meyer DE, Ravussin E, Volaufova J, Soros A, Cefalu WT, et al. Impaired insulin sensitivity and elevated ectopic fat in healthy obese vs. nonobese prepubertal children. *Obesity (Silver Spring)*. 2012;20:371-5. <https://doi.org/10.1038/oby.2011.264>
20. Mueller NT, Pereira MA, Buitrago-Lopez A, Rodríguez DC, Duran AE, Ruiz AJ, et al. Adiposity indices in the prediction of insulin resistance in prepubertal Colombian children. *Public Health Nutr*. 2013;16:248-55. <https://doi.org/10.1017/S136898001200393X>
21. Burrows RA, Leiva LB, Weisstaub G, Lera LM, Albala CB, Blanco E, et al. High HOMA-IR, adjusted for puberty, relates to the metabolic syndrome in overweight and obese Chilean youths. *Pediatr Diabetes*. 2011;12:212-8. <https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2010.00685.x>
22. Gobel RJ, Jensen SM, Frøkiaer H, Mølgaard C, Michaelsen KF. Obesity, inflammation and metabolic syndrome in Danish adolescents. *Acta Paediatr*. 2012;101:192-200. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2011.02493.x>
23. Aa MP, Farsani SF, Knibbe CA, Boer A, Vorst MM. Population-based studies on the epidemiology of insulin resistance in children. *J Diabetes Res*. 2015;2015:362375. <https://doi.org/10.1155/2015/362375>
24. Patel P, Abate N. Role of subcutaneous adipose tissue in the pathogenesis of insulin resistance. *J Obes*. 2013;2013:489187. <https://doi.org/10.1155/2013/489187>
25. Patel P, Abate N. Body fat distribution and insulin resistance. *Nutrients*. 2013;5:2019-27. <https://doi.org/10.3390/nu5062019>
26. Burton RF. Why is the body mass index calculated as mass/height², not as mass/height³? *Ann Hum Biol*. 2007;34:656-63. <https://doi.org/10.1080/03014460701732962>
27. Garn SM, Haskell JA. Fat thickness and developmental status in childhood and adolescence. *AMA J Dis Child*. 1960;99:746-51.
28. Garn SM, Clark DC, Guire KE. Levels of fatness and size attainment. *Am J Phys Anthropol*. 1974;40:447-9. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330400316>
29. Zaniqueli D, Oliosia PR, Neves FS, Pani VO, Martins CR, Peçanha MA, et al. Ponderal index classifies obesity in children and adolescents more accurately than body mass index z-scores. *Pediatr Res*. 2019;86:128-33. <https://doi.org/10.1038/s41390-019-0395-7>