

Alterações metabólicas decorrentes da deficiência de zinco em indivíduos obesos

Metabolic alterations resulting from zinc deficiency in obese individuals

Cristiane Braga dos SANTOS¹
Gabriela Barbosa dos SANTOS²
Ana Catarina Figueirêdo BISPO³
Fabiana Freire e SILVA⁴

Resumo: A obesidade é considerada um problema de saúde pública no mundo todo. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a enfermidade é uma epidemia mundial, vez que 300 milhões de pessoas possuem sobrepeso ou obesidade. Dentre diversos fatores causadores, a deficiência de zinco é um fator de risco para a doença e também para diabetes. Estudos mostram que o metabolismo de zinco e leptina estão alterados na obesidade. O estado nutricional do zinco parece estar inversamente relacionado com o grau de obesidade, e como este mineral participa de muitas reações químicas do organismo, envolvendo oxidação de nutrientes e metabolismo de hormônios como insulina e leptina, pode-se afirmar que o zinco é um mineral essencial para a homeostase corporal. O trabalho sugere que indivíduos obesos apresentam alteração da distribuição do zinco no organismo. Sendo assim, é de extrema importância estudar o comportamento do zinco no organismo em condições patológicas e as consequências destas alterações sobre os diversos distúrbios encontrados em indivíduos obesos.

Palavras-chave: Zinco. Obesidade. Micronutrientes. Deficiências nutricionais.

Abstract: Obesity is considered a worldwide public health problem. According to the World Health Organization (WHO), the disease is a worldwide epidemic: 300 million people are overweight or obese. Among several factors, zinc deficiency is a risk factor for diseases and also for diabetes. Studies show that zinc metabolism and leptin are altered in obesity. The nutritional status of zinc seems to be inversely related to the degree of obesity and this mineral participates in many chemical substances in the body, involving oxidation of nutrients and metabolism of hormones such as insulin and leptin, in this way, it can be indicated that zinc is an essential mineral for body homeostasis. The work indicates that the obese people alter the distribution of zinc in the body. Therefore, it is extremely important to study the behavior of zinc in the body in pathological conditions, and the consequences of these changes on the various disorders found in obese people.

Key words: Zinc. Obesity. Micronutrients. Nutritional deficiencies.

DOI: <http://dx.doi.org.10.24024/23579897v30n2a2021p1180128>

Introdução

O zinco (Zn) é um micronutriente essencial. Depois do ferro, é o elemento traço mais abundante no corpo humano. O Zn advindo da dieta é absorvido nos enterócitos do intestino delgado proximal e distribuído para os tecidos, na sequência. O transporte desse micronutriente é realizado principalmente ligado à albumina (proteína sérica com grande afinidade por metais). Visto que o corpo humano não apresenta uma reserva especializada de Zn, a ingesta diária desse metal é fundamental (FEIJÓ, 2019). O zinco é um mineral que participa tanto de processos

¹ Nutricionista pela UNINASSAU-PE | Pós-graduada (especialização) em Nutrição Clínica pela Faculdade Frassinetti do Recife- FAFIRE | E-mail: crissantosufpe@gmail.com

² Nutricionista pela UNISÃO MIGUEL-PE | Pós-Graduada (especialização) em Nutrição Clínica pela Faculdade Frassinetti do Recife- FAFIRE | E-mail: gabriela_barbosa16@hotmail.com

³ Nutricionista pela UNINASSAU-PE | Pós-Graduada (especialização) em Nutrição Clínica pela Faculdade Frassinetti do Recife-FAFIRE | E-mail: catarinanutri@outlook.com

⁴ Docente da pós-graduação em Nutrição Clínica e Hospitalar da Faculdade Frassinetti do Recife-FAFIRE | E-mail: fabiana.freire@hotmail.com

metabólicos, quanto catalítico, sendo um componente regulatório e estrutural (OLZA *et al.*, 2017).

Além de todas as funções anteriormente citadas, o zinco também atua como cofator enzimático, desempenhando uma ação nas defesas antioxidantes. Além disso, a participação deste mineral na expressão gênica também foi verificada. Desta maneira, a deficiência do mineral às vezes tem sido relacionada à obesidade e a distúrbios cardiometabólicos, como a resistência à insulina e diabetes (GARCIA *et al.*, 2017).

O zinco é componente de um subgrupo de micronutrientes que ganhou ênfase na nutrição e saúde humana. A carência deste mineral tornou-se bastante prevalente nas últimas décadas, especialmente no que diz respeito a patologias e pós-operatório (FERRAZ *et al.*, 2018).

A deficiência de zinco tem sido considerada como problema de saúde pública, uma vez que acarreta prejuízos à saúde, não somente ao crescimento e ao desenvolvimento, mas favorecendo o aparecimento de doenças relacionadas às alterações das funções bioquímicas, imunológicas e clínicas (cicatrização, apetite, paladar) que envolvem este micronutriente (MUSTACCHI; SALMONA; MUSTACCHI, 2017). A carência desse mineral configura, ainda, uma situação comum tanto nos países já desenvolvidos quanto em desenvolvimento (MAXFIELD; CRANE, 2018). Nesse contexto, é de fundamental importância elucidar que o zinco advindo da dieta é essencial para análise do risco de sua deficiência, porém, sabe-se que sua deficiência não acontece de forma isolada (PEDROZA; SALES, 2015).

Na obesidade, ocorre uma diminuição das concentrações séricas de Zn. Indivíduos obesos que mantêm uma baixa ingestão de Zn na dieta manifestam um pior estado inflamatório, além de perfil lipídico alterado e estímulo do aumento da produção de insulina. Também apresentam menor habilidade de responder ao dano oxidativo e à inflamação, proporcionando uma piora dos sintomas já existentes na obesidade (FEIJÓ, 2019). Nesse sentido, estudos têm utilizado o Zn como suplemento devido a sua capacidade de aumentar a secreção de insulina e a sensibilidade dos indivíduos a esse hormônio (CRUZ *et al.*, 2017). Um dos possíveis mecanismos que explicam essa relação entre Zn e obesidade é que o excesso de tecido adiposo pode causar uma redução da expressão gênica e da secreção de zinco- α 2-glicoproteína (ZAG), uma adipocina com atividade anti-inflamatória e mobilizadora de lipídios. O Zn é capaz de estimular a função da ZAG, visto que essa adipocina possui sítios de ligação para o metal (SEVERO *et al.*, 2019).

As baixas concentrações de zinco no plasma promovem alterações ainda mais complexas no metabolismo lipídico. A elevação da passagem de ácidos graxos livres para o fígado ativa a liberação de lipoproteína de muito baixa densidade (VLDL - *very low density lipoprotein*). A

retirada de triacilgliceróis do VLDL e, posteriormente, da lipoproteína de densidade intermediária (IDL - *intermediate density lipoprotein*) tem efeito na hipertrigliceridemia e maior produção de lipoproteína de baixa densidade (LDL - *low density lipoprotein cholesterol*). Por conseguinte, a elevação nas concentrações de LDL-c pode provocar uma maior produção de LDL oxidada (oxLDL), que ativa o fator de transcrição nuclear kappa B (NF- κ B - *factor nuclear kappa B*), um complexo proteico responsável pela ativação da interleucina-6 (IL-6), do fator de necrose tumoral α (TNF- α - *tumor necrosis factor- α*) e da proteína C-reativa (PCR), que desregulam o metabolismo lipídico (SALES, 2018).

Há evidências de que crianças e adolescentes obesos apresentaram menor concentração sérica de zinco, e que esta esteve inversamente associada à resistência à insulina. Pelo fato de o zinco ser um antioxidante, sua concentração sérica diminuída em crianças obesas pode levar ao aumento da peroxidação lipídica, acarretando, assim, um aumento das concentrações de colesterol total (CT), triglicerídeos (TG) e da lipoproteína de baixa densidade (LDL-c) (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018).

As alterações metabólicas decorrentes da deficiência de zinco e do próprio processo de envelhecimento podem ainda contribuir para o desenvolvimento da síndrome metabólica (SM) (OLECHNOWICZ *et al.*, 2018; FREITAS *et al.*, 2017). Esta síndrome tem como característica o agrupamento de três ou mais dos seguintes distúrbios metabólicos: obesidade abdominal, hiperglicemia, hipertensão arterial, hipertrigliceridemia e baixas concentrações de lipoproteína de alta densidade (HDL-c - *high density lipoprotein cholesterol*) (SALES, 2018).

As orientações mais atuais para a ingestão de zinco foram estabelecidas pela *Food and Nutrition Board* (2002), considerando as DRI (*Dietary Reference Intakes*), de acordo com o estágio de vida e o sexo do indivíduo, sendo de 11mg/dia para homens e 8mg/dia para mulheres adultas. Carne bovina e de frango são alimentos que apresentam a forma mais rapidamente disponível, além de peixe e laticínios, e oferecem 80% do total de zinco advindo da dieta. É importante considerar outras fontes de zinco, como fígado, camarão, ostras, cereais, grãos integrais, castanhas, tubérculos e legumes.

A deficiência do zinco ocorre por diminuição da ingestão (hábito alimentar não variado, vegetarianismo, interações com componentes da dieta ou com medicamentos), por baixa absorção (doenças inflamatórias intestinais, síndromes disabsortivas), por elevação na utilização (fases de crescimento rápido na infância e adolescência) e por aumento nas perdas, comuns nas parasitoses intestinais, sangramentos e menstruação excessiva (DOMINGUES, 2019).

O presente trabalho teve como objetivo esclarecer as repercussões da deficiência de zinco relacionada com alterações no metabolismo de indivíduos obesos.

Metodologia

O presente estudo trata-se de uma revisão narrativa da literatura, que teve por base arquivos existentes na base de dados Scielo, PubMed, Biblioteca Virtual em Saúde, e Google Acadêmico, selecionando-se publicações científicas entre os anos de 2014 e 2020, e representativas do tema, por meio dos descritores: deficiência de zinco, obesidade e micronutrientes. Foram selecionados artigos científicos, revistas, teses e dissertações, de maneira a contribuir com a ciência, através de informações precisas.

Desenvolvimento

Propriedades nutricionais

O zinco é um elemento traço essencial, sendo atribuídas a ele funções catalíticas, estruturais e regulatórias. Este micronutriente está presente na estrutura de diversas proteínas, incluindo fatores de crescimento, citocinas, receptores, enzimas e fatores de transcrição pertencentes a vias de sinalização celular. Além destas funções, está envolvido em diferentes processos celulares, servindo de cofator para cerca de 3000 proteínas humanas, inclusive de enzimas, fatores nucleares e hormonais. No mais, o zinco, por meio do seu metabolismo, está ligado à patologia da diabetes, dado que tem um papel importante no pâncreas e na regulação da glicose, no que diz respeito à estimulação da transdução do sinal da insulina (DIAS, 2017). A participação do zinco no metabolismo glicêmico ocorre durante a síntese, armazenamento, cristalização e secreção de insulina. Além disso, o zinco está envolvido na fosforilação dos receptores de insulina e na regulação da sinalização, por meio da tirosina-fosfatase (SALES, 2018).

Adicionalmente, este mineral exerce papel antioxidante, e atua como um cofator enzimático, participando na redução dos efeitos do estresse oxidativo (OLZA *et al.*, 2017).

Zinco e biodisponibilidade

É preciso ingerir alimentos ricos em vitamina C, cereais, pães integrais, sementes e leguminosas, para atingir a adequação de zinco no organismo (BORGES *et al.*, 2015). Porém,

a biodisponibilidade do zinco pode ser prejudicada por alguns aspectos, como a presença do fitato (hexafosfato de mioinositol) na alimentação e a competição pelo mesmo sítio de absorção entre o zinco e o ferro (SILVA; REIS; COZZOLINO, 2016).

Na camada externa dos cereais, está presente o zinco, é a porção onde a maior concentração de fitato está presente (BORGES et al., 2015). Os fitatos são substâncias orgânicas, sais de ácido fítico, que representam uma classe complexa de componentes naturais que estão presentes especialmente em cereais e leguminosas e que influenciam as suas propriedades funcionais e nutricionais. A presença de fitatos pode ser desfavorável, do ponto de vista nutricional, pois tendem a formar quelatos com íons divalentes, como o magnésio, ferro e zinco, por exemplo, formando complexos solúveis resistentes à ação das secreções com funções digestivas, que diminuem a disponibilidade desses minerais (TEIXEIRA *et al.*, 2018).

Em contrapartida, outros nutrientes apresentam efeitos positivos, como a proteína, por exemplo, que aumenta a biodisponibilidade do zinco, ressaltando-se, ainda, que alimentos proteicos também são ricos em zinco (FOSTER; SAMMAN, 2015; SILVA; REIS; COZZOLINO, 2016).

Zinco e crescimento

Analisa-se a ação do zinco como fator de crescimento, pois há descrições de atraso de crescimento e hipogonadismo em adolescentes do sexo masculino com carência desse mineral (AWOTIWON, 2015; LAZZERINI, 2016).

De acordo com Pedraza (2016), a deficiência de zinco é bastante presente na maioria dos países em desenvolvimento, o que possibilita diversos danos à saúde dos indivíduos. Nesse contexto, esse nutriente é imprescindível para o devido funcionamento do organismo e para a otimização do processo de crescimento e desenvolvimento.

A função que o zinco desempenha no crescimento está relacionada à sua ação como cofator das metaloenzimas, para que assim aconteça a produção do ácido ribonucléico (RNA), desoxirribonucléico (DNA) e de proteínas. Ele também influencia a regulação hormonal da divisão celular, por meio do hormônio do crescimento (GH) e fator I do crescimento dependente de insulina (IGF-I), além de intervir em hormônios mitogênicos, agindo sobre a proliferação celular (DOMINGUES, 2019).

Zinco e alterações tireoidianas

O zinco realiza um papel significativo no sistema endócrino e está envolvido com a síntese e ação dos hormônios tireoidianos. Deste modo, estudos vêm sendo realizados com a finalidade de identificar a participação do zinco no metabolismo tireoidiano (BESERRA, 2018).

Pesquisas apontam que o zinco age sobre o hipotálamo, sendo fundamental para a produção do TRH, através de um processo controlado pela carboxipeptidase, enzima dependente de zinco, que converte pré-TRH em pró-TRH. O micronutriente é atuante também sobre a hipófise, contribuindo para a síntese do TSH (BESERRA, 2018).

É importante evidenciar, ainda, a atuação do zinco como cofator das deiodinases tipo 1 e 2, auxiliando, assim, a regulação da produção e concentração corporal dos hormônios T3 e T4 (BESERRA, 2018). Outra relação entre o mineral e o metabolismo da tireoide é que, possivelmente, receptores de T3 contenham íons de zinco, o que auxilia na função adequada desse hormônio (BESERRA, 2018).

Outro aspecto considerado importante é que a deficiência em zinco, presente nas mulheres obesas, parece comprometer o metabolismo dos hormônios tireoidianos, considerando a atuação do zinco como cofator das deiodinases (SCHWEIZER; STEEGBORN, 2015; SEVERO *et al.*, 2019).

Desde a primeira infância, a projeção que se tem observado é de um aumento cada vez mais significativo de excesso de peso, que acarreta o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), como diabetes, hipertensão e várias dislipidemias, ressaltando, assim, a importância da atenção a essa crise epidemiológica (FINK *et al.*, 2019).

Albuquerque (2018) avaliou a relação entre a concentração sérica de zinco e os fatores cardiometabólicos em crianças pré-púberes brasileiras, num estudo transversal com amostra representativa de escolares na faixa etária de 8 e 9 anos, com total de 378 crianças, matriculadas em escolas urbanas públicas e privadas, em Viçosa, estado de Minas Gerais. A deficiência de zinco foi constatada em 1,3% das crianças. O grupo de meninas demonstrou o pior perfil cardiometabólico, com predomínio de números elevados para gordura andróide, triglicerídeos, resistência à insulina, leptina, zinco e Apo A. No 1º terço de concentração sérica de zinco, a prevalência de resistência à insulina foi 96% maior (RP = 1,96; IC95%: 1,04-3,66) e a de hipercolesterolemia foi 23% menor (RP = 0,77; IC95%: 0,61-0,96) em relação à categoria de referência (2º e 3º terços de concentração sérica de zinco agrupado).

No estudo de Fan *et al.* (2017), houve uma associação positiva entre a hipercolesterolemia e as concentrações séricas e plasmáticas de zinco em crianças e adolescentes obesos nos Estados Unidos.

A desnutrição abrange tanto a subnutrição quanto a adiposidade. A dupla consequência da desnutrição pode acarretar crescimento atrofiado, deficiências em nutrientes essenciais, ao lado da obesidade em populações e dentro das famílias. O predomínio de sobrepeso e obesidade entre mulheres de 20 a 49 anos é de até 70% nas Américas e Caribe, e > 40% na Europa (CHU *et al.*, 2016). Uma revisão sistemática de seis estudos prospectivos de coorte estudou a relação entre o estado de zinco ou a ingestão e o risco T2DM. Apenas um estudo referiu uma redução do risco de T2DM com aumento do zinco dietético; quatro trabalhos não referiram associação do aumento do zinco dietético com risco diminuído de T2DM (JENKINS *et al.*, 2016).

Recentemente, uma revisão sistemática e metanálise estudaram as relações entre a ingestão e estado do zinco dietético em pessoas com e sem DM, e a ingestão de zinco encontrada foi significativamente menor no grupo T2DM, o que pode ser atribuído a uma menor dieta calórica para o tratamento da obesidade. Além disso, a concentração sérica de zinco foi significativamente menor do que em controles saudáveis, com o metabolismo de zinco alterado devido à inflamação simultânea, e/ou um aumento na excreção de zinco urinário, ambos com ocorrência em T2DM.

A microbiota intestinal compete pelo zinco. A baixa disponibilidade de zinco no intestino eleva a virulência para certos patógenos intestinais bacterianos. Assim, a disponibilidade de zinco dietético possivelmente altera a microbiota intestinal, que pode influenciar o desenvolvimento do T2DM. No mais, gestantes obesas têm mais tendência a desenvolver diabetes gestacional e, mais tarde, na vida, T2DM (Jenkins *et al.*, 2016).

Fukunaka; Fujitani (2018) afirmam que a baixa ingestão crônica de zinco está relacionada a um risco aumentado de diabetes. Sendo assim, espera-se que a suplementação de zinco seja uma estratégia eficiente na prevenção da síndrome metabólica e do diabetes. Uma análise anterior observou o efeito da suplementação de zinco em crianças obesas pré-púberes na resistência à insulina e na síndrome metabólica. O acréscimo de maneira complementar de zinco foi sugerido como um tratamento de intervenção adicional útil e seguro. Porém, até onde se sabe, a eficácia da suplementação de zinco no tratamento da obesidade e diabetes não foi apresentada em estudos de larga escala, especialmente em adultos. Portanto, é de extrema importância estabelecer a segurança, eficácia e dose eficaz da suplementação de zinco em indivíduos adultos.

Em uma pesquisa sobre o zinco em ilhotas pancreáticas, sensibilidade à insulina e diabetes, Maret (2017) observou que o zinco pode ser referido como semelhante à insulina, uma vez que o zinco impulsiona a lipogênese e a captação de glicose em adipócitos isolados, e o íon zinco age de forma similar à insulina, por seu efeito direto na via de sinalização da insulina. Em um outro estudo, apresentado pela mesma autora, verificou-se que o efeito sensibilizante à insulina do zinco foi dado devido à inibição da atividade da proteína tirosina fosfatase 1B (PTP1B). De fato, o estresse oxidativo é aumentado na maioria dos pacientes com diabetes, sendo necessária uma análise mecanicista adicional para examinar os riscos e benefícios da suplementação de zinco como um meio para mitigar a obesidade e o diabetes tipo 2 (MARET, 2017).

Um estudo de coorte prospectivo nos Estados Unidos investigou 82.000 mulheres e apontou que as mulheres que não atingem a necessidade adequada de zinco têm um aumento de 17% no risco de desenvolver diabetes em comparação com as mulheres que tomam quantidades suficientes deste mineral. Recentemente, um exame na China elucidou uma correlação negativa entre as concentrações de zinco plasmático e o grupo de diabéticos. É interessante notar que esses relatórios propõem que a interação entre a disfunção do SLC30A8 (ZnT8) e a diminuição das concentrações de zinco no plasma regulam a glicose e a tolerância à diabetes. Além do mais, trabalharam com a sugestão de que uma diminuição nas concentrações plasmáticas de zinco e na função ZnT8 pode aumentar coordenadamente a ameaça de diabetes.

Embora essas informações sugiram que a suplementação com zinco evite a interrupção da homeostase da glicose, especialmente em pessoas com deficiência de zinco, estudos prospectivos de intervenção precisam ser feitos para elucidar a eficiência da suplementação com zinco, evitando o risco de diabetes. Por outro lado, a aplicação de zinco em excesso pode ter efeitos colaterais, uma vez que um excedente de zinco pode acarretar uma elevação considerável nos níveis de HbA1c e alta pressão sanguínea (FUKUNAKA; FUJITANI, 2018).

Considerações finais

A presente revisão reforça o estudo do zinco de modo a acrescer resultados de análises sobre a relação do estado nutricional do zinco, disfunções metabólicas e hormonais na obesidade. Ressalta, também, que a entrega adequada de zinco pelos transportadores de zinco é importante, e sua interrupção leva à patogênese de uma variedade de doenças, incluindo a obesidade. Análises adicionais são necessárias para o desenvolvimento de terapias mediadas

por transportadores de zinco contra obesidade e diabetes. São necessárias investigações adicionais sobre a distribuição corpórea do zinco em condições patológicas, como na obesidade, de modo a elucidar os demais distúrbios encontrados em indivíduos obesos.

Referências

- A. Chu, M Foster, S. Samman, Zinc Status and risk of cardiovascular diseases and type 2 diabetes mellitus a systematic review of prospective cohort studies, *Nutrientes* 8 (11) (2016).
- ALBUQUERQUE, Fernanda Martins *et al.* Associação das concentrações séricas de zinco com hipercolesterolemia e resistência à insulina em crianças brasileiras. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, n.1, p. 1- 13, 2018.
- AWOTIWON, Ajibola *et al.* Zinc supplementation for the treatment of measles in children. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, [S. l.], n. 3, 2015.
- BESERRA, Jéssica Batista. **Zinco como biomarcador da atividade tireoidiana em mulheres obesas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência da Saúde) – Universidade Federal do Piauí, Piauí, Teresina, 2018.
- SILVA, Sandra Cristina Gomes. Linhas de orientação para uma alimentação vegetariana saudável. Programa Nacional para Promoção da Alimentação Saudável. **Direção Geral da saúde**, Lisboa, jul. 2015.
- CRUZ, Kyria Jayanne Climaco *et al.* The Effect of Zinc Supplementation on Insulin Resistance in Obese Subjects: a Systematic Review. **Biological Trace Element Research**, [S. l.] v. 176, n. 2, p. 239-243, 2017.
- DOMINGUES, Natália Tonon. **Avaliação do estado nutricional, do consumo alimentar e do nível sérico do zinco de crianças com a síndrome de Down**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência da Saúde) – Faculdade de Medicina de Botucatu, São Paulo, 2019.
- DIAS, José Maria Moreira. **A Importância dos Minerais Cromo, Zinco e Ferro no Doente Diabético**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade de Coimbra, Portugal, 2017.
- FAN, Yun; ZHANG, Chunlan; BU, Jin. Relationship between selected serum metallic elements and obesity in children and adolescent in the U.S. **Nutrients**, Basel, Suíça, v. 9, n. 2, p. 104, 2017.
- FEIJÓ, Grace dos Santos. **Efeitos da suplementação de aminoácidos de cadeia ramificada ou zinco nos parâmetros neuroinflamatórios e de memória de ratos obesos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Biociências) – Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2019.

- FERRAZ, Álvaro Antonio Bandeira *et al.* Deficiência de micronutrientes após cirurgia bariátrica: análise comparativa entre gastrectomia vertical e derivação gástrica em y e Roux. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 6, p. 1-9, 2018.
- FINK, Simone Ramos. Avaliação Nutricional de Crianças de Foz do Iguaçu, PR, e a Suplementação de Micronutrientes. **Revista Pleiade**, Londrina, v. 13, n. 27, p. 110-119, 2019.
- FOSTER, Meika. Vegetarian diets across the lifecycle: impact on zinc intake and status. **Advances in Food and Nutrition Research**, [S. l.] v. 74, p. 93-131, 2015.
- FUKUNAKA, Ayako; FUJITANI, Yoshio. Role of zinc homeostasis in the pathogenesis of diabetes and obesity. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 476, 2018.
- FREITAS, Erika *et al.* Zinc Status Biomarkers and Cardiometabolic Risk Factors in Metabolic Syndrome: A Case Control Study. **Nutrients**, Basel, Suíça, v. 9, p.1-13, 2017.
- GARCÍA, Edgar Acosta *et al.* Zinc, cobre y vitaminas C, E y A en púberes con exceso de peso y resistencia a la insulina. **Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana**, Buenos Aires, v. 51, n. 2, p. 203-212, 2017.
- JENKINS, Alicia *et al.* Obesity, diabetes and zinc: A workshop promoting knowledge and collaboration between the UK and Israel, november 28–30, 2016–Israel. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, [S. l.], v. 49, p. 79-85, set., 2018.
- LAZZERINI, Marzia. Oral zinc provision in acute diarrhea. **Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care**, Londres, v. 19, n. 3, p. 239-243, 2016.
- MARET, With. Zinc in Pancreatic Islet Biology, Insulin Sensitivity, and Diabetes. **Preventive Nutrition and Food Science**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 1-8, 2017.
- MARET, With. Zinc in Cellular Regulation: The Nature and Significance of “ZincSignals”. **International Journal of Molecular Sciences**, [S. l.], v. 18, n. 11, p. 2285, 2017.
- MAXFIELDS, Luke; SHUKLA, Samarth; CRANE, Jonathan. Zinc, Deficiency. **StatPearls Publishing**, Islandia, abr. 2018.
- MUSTACCHI, Zan; SALMONA, Patrícia; MUSTACCHI, Roberta. **Trissomia 21 (Síndrome de Down)**: nutrição, educação e saúde. São Paulo: Memnon, 2017.
- OLECHNOWICZ, Jeffrey *et al.* Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. **The Journal of Physiological Sciences**, [S. l.], v. 68, n. 1, p. 19-31, 2018.

- OLZA, Josune *et al.* Reported dietary intake and food sources of zinc, selenium, and vitamins A, E and C in the Spanish population: Findings from the ANIBES study. **Nutrients**, Basel, Suíça, v. 9, n. 7, p. 697, 2017.
- PEDRAZA, Dixis Figueroa *et al.* Estado nutricional de micronutrientes de crianças segundo características pessoais e das creches. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro v. 24, n.4, p. 468-477, 2016.
- PEDRAZA, Dixis Figueroa; SALES, Márcia Cristina. Deficiência de zinco: diagnóstico, estimativas do Brasil e prevenção. **Nutrire**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 397-408, 2015.
- SALES, Márcia Cristina. **Avaliação de zinco no plasma e correlação com marcadores metabólicos e da síndrome metabólica em relação aos fatores associados em idosos institucionalizados de Natal-RN**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2018.
- SCHWEIZER, Ulrich; STEEGBORN, Clemens. New insights into the structure and mechanism of iodothyronine deiodinases. **Journal of Molecular Endocrinology**, v. 55, n. 03, p. 37-52, 2015.
- SEVERO, Juliana Soares *et al.* The Role of Zinc in Thyroid Hormones Metabolism. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, Bonn, Germany, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2019.
- SILVA, Maria; REIS, Bruna Zavarize; COZZOLINO, Silvia. Zinco. In: COZZOLINO, Silvia. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. Barueri: Manole, 2016. p. 729-760.
- TEIXEIRA, Andrieli Thaisa *et al.* Suplementação com biscoito enriquecido com zinco em um indivíduo com deficiência do mineral: um estudo de caso. **Biosaúde**, Londrina, v. 20, n. 2, p. 55-68, 2019.

Recebido em: 01.07.2021
Aprovado em: 29.03.2021

Para referenciar este texto:

SANTOS, Cristiane Braga dos *et al.* Alterações metabólicas decorrentes da deficiência de zinco em indivíduos obesos. **Lumen**, Recife, v. 30, n. 2, p. 118-128, jul./dez. 2021.