

Micronutrientes: uma revisão sobre a sua relação com o sistema imunológico,  
biodisponibilidade e fortificação nos alimentos.

Frances da Silva Reis<sup>1\*</sup>

Fernanda Teixeira Macagnan<sup>2\*</sup>

## Resumo

O sistema imunológico é uma disposição de células viáveis e moléculas com funções especializadas na defesa contra agentes infecciosos. A alimentação desempenha papel fundamental para o adequado funcionamento deste sistema, e o conhecimento de aspectos que envolvem os nutrientes e sua interação com o organismo são de fundamental importância para nortear estratégias que promovam melhor qualidade nutricional e funcional aos alimentos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho de revisão foi evidenciar a importância das vitaminas e minerais no fortalecimento do sistema imune, buscando compreender também, os fatores que influenciam na sua biodisponibilidade e as formas de enriquecer os alimentos com esses micronutrientes. Para a busca científica, foram utilizadas as bases de dados Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online e Periódicos Capes, incluindo trabalhos publicados nos últimos 15 anos em português e inglês. A partir do estudo dos artigos, verificou-se que os minerais ferro, selênio e zinco e as vitaminas A, C, D e E foram os micronutrientes que apresentaram maior relação com o sistema imune, cada um com seu mecanismo de ação, interferindo tanto na resposta adaptativa quanto na resposta inata do indivíduo. Muitos fatores influenciam na biodisponibilidade desses nutrientes, como por exemplo, o processamento do alimento, o tipo de ligação química e a interação com outros componentes da matriz alimentar ou dieta. Percebe-se que a população muitas vezes não consome quantidades adequadas desses micronutrientes e, para garantir a ação funcional dos mesmos, a fortificação de alimentos torna-se uma ferramenta válida, suprimindo carências nutricionais e contribuindo com a manutenção da saúde humana.

**Palavras-Chave:** Sistema Imune. Vitaminas. Minerais. Nutrientes. Fortificação de Alimentos.

---

1\* Discente do Programa de Especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos com Ênfase em Alimentos Funcionais pelo Instituto Federal de Santa Catarina.

2\* Professora Doutora do Programa de Especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos com Ênfase em Alimentos Funcionais pelo Instituto Federal de Santa Catarina.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema imunológico é uma disposição de células viáveis e moléculas com funções especializadas na defesa contra agentes infecciosos, funcionando como o mecanismo de defesa do corpo contra as incontáveis substâncias estranhas contidas no ar que é respirado, nos objetos tocados e nos alimentos ingeridos, sendo que a nutrição possui papel de extrema importância na manutenção e recuperação da saúde, aliada ao fortalecimento do sistema imunológico (MASSAROLLO et al., 2021).

As pesquisas que buscam a relação entre imunidade e nutrição surgiram em meados da década de 70, quando testes imunológicos foram implantados como componentes da avaliação do estado nutricional. Outra questão importante é a interação entre a ingestão adequada de nutrientes, o aumento no estresse oxidativo e a ocorrência de processos infecciosos, com depleção imunitária (BIASEBETTI; RODRIGUES; MAZUR, 2018).

Vários são os fatores capazes de modificar o comportamento do sistema imunitário, como a idade, os fatores genéticos, metabólicos, ambientais, anatômicos, fisiológicos, microbiológicos e nutricionais. Estudos têm mostrado que uma alimentação regrada juntamente com nutrientes específicos beneficia a resposta imunológica, tendo os micronutrientes um papel fundamental nesse processo (BIASEBETTI; RODRIGUES; MAZUR, 2018).

Quando ocorre um determinado processo inflamatório, o corpo ativa o sistema imunológico para combater o agente estranho ali presente, o que acaba gerando uma atividade intensa de citocinas no organismo, e é justamente neste processo, que as vitaminas e minerais agem como protagonistas reduzindo o número de citocinas pró-inflamatórias (GRANT et al., 2020).

Os minerais ferro, selênio e zinco e as vitaminas A, C, D e E são os micronutrientes que apresentaram maior relação com o sistema imune. A deficiência de ferro, zinco e vitamina A, por exemplo, pode levar a diversos prejuízos na função imunológica normal, incluindo defeitos nas respostas inata e adaptativa, redução na produção de interferon- $\alpha$  pelos leucócitos, diminuição na linhagem precursora de células B e prejuízo na resposta de células fagocitárias, entre outros (ANJOS et al., 2017).

O teor de vitaminas nos alimentos é bastante variado e fatores como a forma química e o estado físico no qual as vitaminas se encontram afetam diretamente sua

absorção pelo organismo. Além disso, por serem compostos bastante sensíveis, podem ser degradados pela temperatura, presença de oxigênio, luz, umidade e pH (BERTIN; SCHULZ; AMANTE, 2016).

Com o aumento da disponibilidade e da necessidade de alimentos submetidos ao processamento industrial, aumenta a preocupação com a perda de nutrientes durante o processo de fabricação dos mesmos, principalmente no que diz respeito às perdas de vitaminas (BERTIN; SCHULZ; AMANTE, 2016).

A técnica de encapsulação utilizando sistemas poliméricos de liberação controlada mostra-se adequada para proteção e entrega de vitaminas (KATOUZIAN; JAFARI, 2016). Porém, alguns desafios estão associados à fortificação de alimentos, como, por exemplo, a vitamina D que é altamente sensível a estresses ambientais e pode facilmente perder sua funcionalidade e benefícios fisiológicos (PARK et al., 2017).

Nesse sentido, o objetivo desta revisão foi evidenciar a importância das vitaminas e minerais no fortalecimento do sistema imune, buscando compreender também, os fatores que influenciam na sua biodisponibilidade e as formas de enriquecer os alimentos com esses micronutrientes.

## **2 METODOLOGIA**

Trata-se de uma pesquisa de revisão bibliográfica sistemática, realizada no período de abril a junho de 2021, com abordagem qualitativa desenvolvida por meio de leitura, pesquisa e transcrições textuais de autores nacionais e internacionais.

Para coleta dos dados, foram utilizadas as seguintes bases de dados: Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Periódicos Capes, empregando como descritores as palavras: Biodisponibilidade, Fortificação de Alimentos, Micronutrientes, Minerais, Nutrição, Sistema Imunológico e Vitaminas, com os termos em inglês e português.

Como critérios de inclusão, foram utilizados os trabalhos publicados nos últimos 15 anos, em idioma inglês e português, com referencial completo para acesso nas bases de dados, e cujos objetivos fossem analisar as diversas relações dos micronutrientes com o sistema imunológico, biodisponibilidade e fortificação de alimentos.

Foram excluídos os trabalhos anteriores ao ano base de 2006, bem como

publicações que não abordassem a temática do estudo, estudos de caso ou trabalho indisponível na íntegra.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Sistema Imunológico**

O sistema imunológico ativa células efetoras para produzir anticorpos, onde cada célula do corpo humano tem uma função e não há dúvida de que a geração inadequada destas respostas efetoras terá efeitos lesivos no organismo (GOMBART; PIERRE; MAGGINI, 2020).

As células do sistema imunológico podem ser divididas em células da resposta inata (natural/nativa) e células da resposta imune adaptativa específica/adquirida), a resposta imune inata é a primeira resposta a um patógeno invasor, previne microrganismos de entrar e estabelecer infecções. A resposta imune adaptativa é produzida após o contato com o agente infeccioso, que após a exposição ao antígeno, é gerado células de memória imunológica, que proporcionam respostas mais rápidas e específicas, caso haja uma reinfecção (MASSAROLLO et al., 2021).

De acordo com Anjos et al. (2017), o sistema imunológico é o conjunto de órgãos, tecidos, células e proteínas que estabelecem proteção contra agentes patogênicos. Conforme os estudos de Souza e Brentegani (2016), o sistema imunológico tem como finalidade manter a homeostase do organismo, combater as agressões em geral e reconhecer os nutrientes ingeridos na alimentação que influenciam significativamente na atuação do sistema imune.

#### **3.2 Sistema Imunológico e a Nutrição**

Segundo Martins e Oliveira (2020), a alimentação e a nutrição constituem requisitos básicos para a promoção e a proteção da saúde, estão relacionados com o crescimento, desenvolvimento humano e com a qualidade de vida e cidadania. Por outro lado, o consumo insuficiente de micronutrientes e macronutrientes causam prejuízo ao sistema de defesa do corpo.

Sabe-se que uma alimentação adequada com a proporção correta de macronutrientes (proteínas, hidratos de carbono, lipídios) e micronutrientes (vitaminas

e minerais) contribui para o correto e um melhor funcionamento das funções fisiológicas do corpo humano, sobretudo a nível do sistema imunitário, garantindo assim a manutenção de um bom estado de saúde. A ingestão adequada de, particularmente, algumas vitaminas e minerais melhora a resposta do sistema imune (DUTRA et al., 2020). Os micronutrientes mais relacionados em estudos científicos ao sistema imunológico são as vitaminas A, C, D e E, o ferro, o zinco e o selênio (MAGGINI et al., 2018).

Os micronutrientes influenciam e apoiam todos os estágios da resposta imunológica. O nível apropriado desses nutrientes é essencial para garantir a função eficaz de todos os componentes do sistema imunológico. Várias vitaminas, como a vitamina A e C, e oligoelementos, como o zinco e o selênio, ajudam a manter a integridade estrutural e funcional da pele e das células da mucosa, com ação antioxidante e contribuições para o equilíbrio da microbiota intestinal, aumentando assim a resistência à infecção (MAGGINI et al., 2018).

### **3.3 Ferro**

O micronutriente ferro faz parte da composição de várias proteínas, incluindo enzimas, mioglobina e hemoglobina. As principais fontes deste mineral são as carnes, principalmente as vermelhas e vísceras, podendo também ser encontrado em alimentos de origem vegetal: feijão, guavirova, gergelim, jenipapo, mangaba, mostarda, ora-pro-nóbis, rúcula, taioba dentre outras (YUN; VINCELETTE, 2015).

Em relação à função imunológica, vários estudos têm associado a deficiência de ferro a defeitos tanto na resposta adaptativa quanto na resposta inata do indivíduo. Os defeitos na resposta adaptativa incluem a redução da proliferação, diferenciação e do número de células T, bem como redução da produção de citocinas por essas células. Já os defeitos na resposta inata incluem a redução da capacidade fagocitária dos neutrófilos, provavelmente devido à baixa atividade da mieloperoxidase e falhas na atividade das células natural killer (NK) (DUTRA et al., 2020).

Segundo Schafer (2011), a biodisponibilidade do mineral ferro é a medida daquela fração do ferro alimentar capaz de ser absorvida pelo trato gastrointestinal e, subsequentemente armazenada e incorporada ao heme, chamado de ferro heme, e responde por cerca de 40 % do ferro provindo de alimentos de origem animal que contêm hemoproteínas, notadamente as carnes. Comparado ao ferro não heme, o

ferro heme apresenta taxa de absorção superior, próximo a 30 %, independente da composição da refeição e é pouco afetado por fatores facilitadores e/ou inibidores da absorção. Além de ser bem absorvido, o ferro heme melhora o aproveitamento das reservas de ferro não heme. São esperadas, para o ferro não heme, taxas de absorção menores, variando entre 5 e 20 %. O ferro não heme é representado por todo o ferro presente em grãos, vegetais, frutas, nozes, ovos e produtos lácteos, bem como os 60% restantes do ferro (não heme) das carnes.

Conforme Musachio, Andrighi e Zanini (2017), há também micronutrientes que aumentam a absorção deste mineral, como por exemplo, a vitamina C que auxilia no transporte, armazenamento e liberação nas células endoteliais.

No Brasil, o enriquecimento obrigatório das farinhas de trigo e milho com ferro e ácido fólico foi implementado com a publicação da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 344 de 13 de dezembro de 2002, sendo uma das estratégias do Ministério da Saúde para reduzir a anemia ferropriva e problemas relacionados à má-formação do tubo neural. Segundo a Resolução – RDC N° 150 de 13 de abril de 2017 que revoga a legislação anterior, as rotulagens das farinhas de trigo e milho enriquecidas devem conter, próximo à tabela de informação nutricional, a seguinte frase: “Este produto é enriquecido com 4 mg a 9 mg/100 g de ferro e com 140 µg a 220 µg/100 g de ácido fólico”.

Uma alternativa para a fortificação de alimentos com ferro é a utilização da tecnologia de microencapsulação, considerada uma tendência no mercado para atender a algumas necessidades específicas, como diminuir as alterações sensoriais indesejáveis e reduzir as interações com outros ingredientes, sem alterar suas propriedades nutricionais. Além disso, possui as vantagens adicionais de possibilitar a adição de outros nutrientes, como vitaminas e minerais, com o objetivo de favorecer a absorção do ferro ou proporcionar fortificação múltipla (VELLOZO et. al., 2010).

A microencapsulação de sal de cozinha com ferro e iodo, por exemplo, mostrou-se eficaz na redução significativa da prevalência de anemia e bócio em crianças marroquinas. Vários outros estudos nacionais e internacionais foram publicados demonstrando a eficácia da suplementação de ferro em matrizes alimentares diversas como açúcar, molho de soja, balas, molho para peixes, salgadinhos de trigo, bebidas à base de frutas, feijão desidratado com ferro pirofosfato, sachês para utilização de temperos em arroz e macarrão, condimentos e água de consumo (VELLOZO et. al., 2010).

A fortificação com ferro em farinhas de cereais como trigo e milho foi realizada em um estudo de 180 dias que avaliou 92 crianças com idade entre 12 e 72 meses, atendidas em creches, que além de sua alimentação habitual, passaram a receber, cinco vezes por semana, duas porções diárias de uma massinha de pão doce de 25 g fortificadas com 2 mg de ferro aminoácido quelato, totalizando 4 mg de ferro/dia. Ao final do período de intervenção, a prevalência de anemia obtida por meio da análise de sangue venoso passou de 28% para 9%. Os níveis médios de hemoglobina e ferritina aumentaram significativamente depois da intervenção, sendo o aumento ainda maior em crianças inicialmente anêmicas (VELLOZO et. al., 2010).

Outro estudo que avaliou o efeito de uma bebida láctea fermentada com polpa de manga enriquecida com 4,1 mg Fe aminoácido quelato/80 mL em 89 crianças de 2 a 6 anos de idade, no período de 35 dias de intervenção, detectou que no término do estudo, a hemoglobina não foi alterada, apenas houve um aumento de 25 % na ferritina sérica (VELLOZO et. al., 2010). Em Bangalore (Índia), um estudo com escolares de 6 a 13 anos de idade que consumiram arroz enriquecido com pirofosfato férrico durante sete meses, foi constatado pelos autores o aumento dos níveis de ferritina sérica, mas não de hemoglobina (VELLOZO et. al., 2010).

### **3.4 Selênio**

Conforme Nóbrega (2015), o elemento mineral selênio pode ser encontrado na dieta sob diferentes formas, tais como, selenometionina e selenocisteína (de origem animal/vegetal) e selenato e selenito de sódio (sais inorgânicos normalmente utilizados em suplementos). As principais fontes alimentares deste mineral são de origem animal (carnes de modo geral, peixes: atum e bacalhau, queijo e ovos) e vegetal (aveia, castanha do Pará, feijão, pão integral e sementes de girassol).

O selênio é um mineral necessário que executa um papel fundamental na evolução e diversidade de processos fisiológicos, incluindo respostas imunológicas de impacto. O sistema imune depende do consumo dietético de selênio, e esse nutriente tem seus efeitos biológicos especialmente através de sua inclusão nas selenoproteínas (AVERY; HOFFMANN, 2018).

A glutathiona peroxidase é uma selenoproteína que atua como enzima antioxidante no plasma, sendo que sua concentração e atividade aumentam com o consumo de selênio. No Brasil, estudos revelam baixa biodisponibilidade de selênio

na dieta consumida pela população de baixa renda do Estado de São Paulo e também do Mato Grosso. A suplementação de selênio não é necessária em populações com concentrações séricas normais do nutriente, pois é preciso ter esse cuidado já que o mineral em sua forma inorgânica se torna tóxico em doses altas (MATOS, 2017).

A fortificação de alimentos com selênio pode ser benéfica em regiões com solos pobres, sendo que algumas estratégias já foram usadas em diversos países, como a fertilização dos solos com o mineral. Essa forma de enriquecimento é considerada eficaz, pois aumenta a ingestão alimentar de selênio (MONTEIRO, 2017).

### **3.5 Zinco**

O zinco desempenha papel fundamental no sistema imunológico, pois as células que compõe esse sistema apresentam altas taxas de proliferação, e ele está envolvido na tradução, transporte e replicação do DNA (MASSAROLLO et al., 2021). Na deficiência de zinco observa-se a redução na produção de citocinas. A relação existente entre o zinco e as células do sistema imunitário é com atividade de células T auxiliaadoras, a imunidade inata não é específica, respondendo da mesma forma a todos os antígenos (BIASEBETTI; RODRIGUES; MAZUR, 2018).

As principais fontes alimentares do micronutriente zinco são: atum, azeite, salmão, chia, linhaça, ostra, camarão, gema de ovo, leite integral, cereais de grãos integrais, gérmen de trigo, feijões, nozes, amêndoas, castanhas e semente de abóbora. Porém, vale ressaltar, que nem toda quantidade de zinco ingerida pela alimentação é utilizada pelo organismo, pois sua biodisponibilidade pode ser afetada no processo de absorção intestinal ou já na circulação sanguínea (CRUZ; SOARES, 2011).

A absorção intestinal de zinco é diminuída por fatores antagonistas na alimentação, como o fitato, o oxalato, as fibras, os taninos e os polifenóis. Tal absorção pode ser facilitada pela presença de aminoácidos (cisteína e histidina), fosfatos, ácidos orgânicos e proteínas. Na circulação, pode haver competição do zinco com os minerais cobre e ferro, dependendo da quantidade desses elementos na corrente sanguínea. Dessa forma, alimentos de origem animal geralmente são as melhores fontes de zinco, com relação ao conteúdo protéico e à biodisponibilidade. As fontes vegetais de zinco contêm compostos que podem interferir de forma negativa no aproveitamento deste mineral pelo organismo (CRUZ; SOARES, 2011).

Como estratégia de combate a algumas deficiências nutricionais inclui-se a fortificação de alimentos e o uso de suplementação em populações de risco. A fortificação do zinco em cereais como aveia e trigo é particularmente interessante, devido ao seu custo relativamente baixo e sustentabilidade em longo prazo, mas não há informações sobre a eficácia dos programas (MARQUES et al., 2012).

### **3.6 Vitamina A**

A vitamina A ou retinol é uma vitamina do tipo lipossolúvel que exibe um papel em diversas funções, como visão, defesa imunológica, manutenção do revestimento do organismo e da pele, crescimento ósseo e do organismo, desenvolvimento celular normal e reprodução. Esse micronutriente pode ser encontrado em alimentos de origem animal (fígado, manteiga, queijo, leite integral, gema de ovo e peixe) sob a forma de retinóides ou como provitamina A em tecidos vegetais, sob a forma de carotenoides (vegetais verdes e frutos amarelos/alaranjados, cenoura, tomate e milho). Entre os carotenoides que são precursores da vitamina A, destaca-se o  $\beta$ -caroteno, que além de ser o mais abundante em alimentos, é o que apresenta a maior atividade de pró-vitamina A (CARDOSO et al., 2020).

Sobre o metabolismo da vitamina A, é interessante mencionar que o zinco é requerido para a síntese hepática e secreção da proteína responsável pelo transporte dessa vitamina no organismo e pode influenciar na absorção intestinal do  $\beta$ -caroteno, e dessa forma, influenciar no estado nutricional de vitamina A (CRUZ; SOARES, 2011).

Em relação ao sistema imunológico, a vitamina A desempenha papel importante na resposta de células fagocitárias, estimulando a fagocitose, a ativação da citotoxicidade mediada por células e o aumento na resposta de timócitos a mitógenos específicos (GREDEL, 2012). O ácido retinóico proporciona liberação seletiva de interleucina-1 por monócitos do sangue periférico de seres humanos, também aumenta a porcentagem de células linfóides que expressam marcadores de superfície de linfócitos T auxiliares, já o  $\beta$ -caroteno aumenta a porcentagem de células linfóides com expressão de marcadores de células natural-killers, o que implica uma atuação diferente dos vários retinóides na imunidade celular específica (GREDEL, 2012).

A fortificação de alimentos com vitamina A é realizada com a utilização de

carotenóides, os quais apresentam menor toxicidade quando comparados à vitamina A na sua forma íntegra. A fortificação com essa vitamina é uma técnica bem estabilizada, simples e de baixo custo. Os alimentos que funcionam como veículo de fortificação com vitamina A são: óleo vegetal, margarina, leite, açúcares, biscoitos e massas (SILVA et al., 2015). Segundo Akhtar (2011), o consumo diário de pão de forma fortificado com vitamina A tem melhorado significativamente a concentração de retinol sérico em pessoas com carência de vitamina A. Também em uma intervenção na zona rural da África do Sul, o fornecimento de biscoitos fortificados com vitamina A durante seis semanas à população, melhorou significativamente o teor de retinol sérico.

### **3.7 Vitamina C**

A vitamina C ou ácido ascórbico é uma vitamina hidrossolúvel encontrada principalmente em frutas frescas (particularmente frutas cítricas, tomates e pimentão verde), batata assada, verduras e algumas frutas, como goiaba e groselha negra. A vitamina C é encontrada em grande concentração nas células imunes, porém na presença de infecções e distúrbios que aumentam o nível de estresse, essa concentração pode diminuir rapidamente. Devido a sua atividade antioxidante, evita o dano oxidativo das células imunes e também auxilia nas funções dos fagócitos, a produção de citocinas, a proliferação de linfócitos T e a expressão gênica das moléculas de adesão dos monócitos (GREDEL, 2012; SORICE et al., 2014).

Conforme Massarollo et al. (2021), a vitamina C contribui para a defesa imunológica, apoiando várias funções celulares do sistema imunológico inato e adaptativo, e faz parte de inúmeras ações fisiológicas e antioxidantes. Além disso, auxilia na saúde da pele e mucosas, favorece a cicatrização de feridas, é importante na defesa do organismo contra infecções e influencia na absorção de ferro. O papel biológico da vitamina C está relacionado à sua forma reduzida, o ascorbato. Além de influenciar em processos enzimáticos, o ascorbato é um poderoso antioxidante com a capacidade de reduzir ou eliminar muitos radicais livres fisiologicamente relevantes e espécies reativas de oxigênio.

A vitamina C, por sua vez, é um nutriente essencial que não pode ser sintetizado entre humanos, isso devido à perda de uma enzima na via biossintética, possui duas formas biologicamente ativas, onde o intestino tem a capacidade de

absorver o ácido L-ascórbico e ácido L-desidroascórbico que ocorre no jejuno e no íleo (JESUS, 2021). Segundo Bertin, Schulz e Amante (2016), por serem hidrossolúveis, tanto a vitamina C quanto às vitaminas do complexo B possuem maiores perdas no cozimento doméstico ou no processamento comercial de alimentos. Sabe-se que são mais estáveis em meio ácido e rapidamente degradadas em ambientes alcalinos. As taxas de degradação também aumentam quando as temperaturas são superiores à temperatura ambiente.

Segundo Montez (2016), estão sendo desenvolvidas pesquisas que tentam mostrar o efeito benéfico da fortificação com ácido ascórbico. Nestas investigações a propriedade solúvel em água desta vitamina é usada para fortalecer principalmente alimentos como bebidas e sucos de frutas, entre outros. Como métodos de aplicação, são submetidos a imersão e pulverização de soluções, com ou sem agentes espessantes em uma faixa de concentração variando de 0,5 a 10%. As bebidas de frutas fortificadas com vitamina C são cada vez mais aceitas, porque ajudam a evitar quedas bruscas dos fatores funcionais associados ao envelhecimento e ao desenvolvimento de doenças crônicas.

### **3.8 Vitamina D**

As principais fontes alimentares de vitamina D são: carnes, peixes, frutos do mar, ovos, leite, queijos e cogumelos. A vitamina D é considerada um micronutriente essencial somente em condições de baixa exposição à luz solar, uma vez que pode ser obtida pela síntese cutânea na presença de luz ultravioleta, quando o composto 7-deidrocolesterol passa a colecalciferol (D3). Em plantas, esse processo também ocorre pela transformação do ergosterol em ergocalciferol (D2). A vitamina D, ou colecalciferol, é um hormônio esteróide, responsável pelo metabolismo do cálcio, formação e reabsorção dos ossos (GREDEL, 2012).

A vitamina D é um esteróide que desempenha inúmeras funções, incluindo a regulação das respostas de imunidade inata e adaptativa (UNTERSMAJR; KALLAY, 2020). Essa vitamina atua em diversas vias do sistema imunológico, com ação de diminuir a produção de citocinas pró-inflamatórias e aumentar a expressão de citocinas anti-inflamatórias (GOMBART; PIERRE; MAGGINI, 2020).

Apesar de estar geralmente presente na alimentação, grande parte da vitamina é sintetizada pela pele (os raios ultravioletas transformam a provitamina em vitamina).

Sendo esta fonte de vitamina D suficiente para o adulto, mas depende muito das condições climáticas, nomeadamente da exposição solar (DUTRA et al., 2020).

A vitamina D é consequência de uma série de processos no organismo, que englobam diferentes órgãos e enzimas. Basicamente, tudo se inicia na pele exposta a radiação UVB, que cliva o 7-desidrocolesterol em previtamina-D3, o qual, sob ação do calor, será transformado em vitamina-D3 e cairá na corrente sanguínea associado a uma proteína transportadora. No fígado, o precursor D3 será transformado em 25-hidroxicalciferol (25-OHD) com auxílio da enzima 25-hidroxilase vitamina D, formando o principal metabólito da vitamina D. Após ser formado, o 25-OHD será ativado no rim, formando outros dois compostos biologicamente ativos: o calcitriol (1 $\alpha$ -dihidroxitamina D) e 24,25-dihidroxitamina D. Logo, outros requisitos, além da exposição ao sol, mesmo em cidades ensolaradas, são indispensáveis para o alcance de 25-OHD > 30 ng/ml (MARQUES et al., 2012).

Nos Estados Unidos, existe produção voluntária de um grande número de alimentos com vitamina D, como leite, margarina, cereais matinais, pães e massas. Na Europa, a fortificação com vitamina D é diferente em cada país, e o nível de fortificação pode ser muito variado. Na Finlândia e Suécia, somente leite e derivados são fortificados com vitamina D. No Reino Unido, o leite não é fortificado, mas a margarina, sim. Na Austrália, existe a fortificação obrigatória de alimentos do tipo margarinas e a fortificação voluntária de creme de leite, leite em pó, iogurtes e queijos. Assim, a ingestão de vitamina D varia de acordo com as práticas de fortificação. No Reino Unido, com o aumento da fortificação de cereais, a principal fonte alimentar de vitamina D são os produtos de cereais matinais. Na Austrália, a Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) estimou que a margarina proporciona mais de 48 % do total de ingestão de vitamina D entre os homens e mulheres, seguido de peixe enlatado (16 %) e ovos (10 %). Estudos realizados no Brasil avaliando adolescentes, adultos e idosos de uma amostra representativa da cidade de São Paulo, mostraram que nenhum indivíduo ingeria a quantidade recomendada de vitamina D para sua faixa etária, mesmo aqueles com maior renda familiar e nível educacional. Como agravante para a população, a fortificação de alimentos com vitamina D não é estabelecida no Brasil (MATOS, 2021).

### 3.9 Vitamina E

A vitamina E é encontrada em grande variedade de alimentos de origem vegetal, como: óleos vegetais, germe de trigo, milho e soja. A vitamina E quando suplementada em concentração muito acima da recomendada contribui positivamente para alguns aspectos da função imunitária, como por exemplo na melhora da resposta imune celular e na diminuição da produção da prostaglandina E2 nos idosos (GREDEL, 2012).

Segundo Bertin, Schulz e Amante (2016), a vitamina E refere-se a uma família de compostos de ocorrência natural sintetizados pelas plantas, os tocoferóis e os tocotrienóis, sendo os óleos de sementes de plantas as fontes mais importantes desses compostos na dieta. Outros tecidos vegetais e fontes animais possuem níveis baixos. Também é conhecida como um antioxidante biológico, com função de proteger principalmente as estruturas lipídicas das membranas celulares dos efeitos nocivos dos radicais livres, desempenhando um importante papel na prevenção de doenças degenerativas.

A biodisponibilidade da vitamina E está ligada à digestão e absorção simultâneas das gorduras alimentares, tanto animal como vegetal, presentes na dieta humana, tendo-se observado que os níveis triglicérides de cadeia média aumentam esta absorção, enquanto os ácidos graxos poliinsaturados a inibem (DUTRA et al., 2020).

Os alimentos que possuem alto teor de gordura, como o leite e a margarina, ou aqueles que são comumente ingeridos com outros alimentos ricos em gordura, podem ser, preferencialmente, fortificados com vitamina E, por propiciarem maior absorção desse nutriente (GOMBART; PIERRE; MAGGINI, 2020).

De acordo com Jordão (2020), observou-se baixa ingestão e elevada prevalência, da inadequação do consumo de vitamina E nos adolescentes da cidade de Campinas no estado de São Paulo, apontando o óleo vegetal como principal fonte alimentar desta vitamina. Sendo que para o total de adolescentes, quase 33% do teor do nutriente derivava de alimentos de má qualidade nutricional como biscoitos, salgadinhos de pacote e margarina. Contudo, o consumo de vitamina E no Brasil mostrou-se inferior ao verificado em países desenvolvidos como o Japão que tem uma alimentação rica em leguminosas e sementes, como a soja e o gergelim, além de peixes e óleos vegetais.

## 4 CONCLUSÃO

Existe uma relação importante entre o consumo adequado dos minerais ferro, selênio, zinco e das vitaminas A, C, D e E com o fortalecimento do sistema imunológico, contribuindo para a melhor resposta imune inata e adaptativa.

Foi evidenciado que alguns fatores influenciam na biodisponibilidade desses micronutrientes e que podem servir como subsídio de informações para futuros trabalhos de pesquisa.

Muitas vezes a alimentação equilibrada, com alimentos naturais e pouco processados já é suficiente para fortalecer o sistema imune. Contudo, os alimentos fortificados tornam-se uma importante estratégia para aumentar o consumo desses micronutrientes e, assim, contribuir com a manutenção da saúde do consumidor.

**TITLE OF THE PAPER:** Micronutrients: a review of their relationship with the immune system, bioavailability and food fortification.

**Abstract:** The immune system is an array of viable cells and molecules with specialized functions in defense against infectious agents. Food plays a fundamental role in the proper functioning of this system, and knowledge of aspects involving nutrients and their interaction with the body is of fundamental importance to guide strategies that promote better nutritional and functional quality of food. In this sense, the objective of this review work was to highlight the importance of vitamins and minerals in strengthening the immune system, also seeking to understand the factors that influence its bioavailability and ways to enrich foods with these micronutrients. For the scientific search, Google Academic, Scientific Electronic Library Online and Capes Periodicals databases were used, including works published in the last 15 years in Portuguese and English. From the study of the articles, it was found that the minerals iron, selenium and zinc and vitamins A, C, D and E were the micronutrients that showed the greatest relationship with the immune system, each with its mechanism of action, interfering so much in the adaptive response and in the innate response of the individual. Many factors influence the bioavailability of these nutrients, such as food processing, the type of chemical bond and interaction with other components of the food matrix or diet. It is noticed that the population often does not consume adequate amounts of these micronutrients and, to ensure their functional action, food fortification becomes a valid tool, supplying nutritional deficiencies and contributing to the maintenance of human health.

**Keywords:** Immune system. Vitamins. Minerals. Nutrients. Food Fortification.

## REFERÊNCIAS

- AKHTAR, S., ANJUM, F.M., ANJUM, M.A. Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategies. **Food Research International**, Essex – Grã-Bretanha, v.44, n.1, p.652-659, jun/set. de 2011.
- ANJOS, M. R. M. et. al. A relação dos micronutrientes e sistema imune. **Revista Campo do Saber**, Cabedelo – Paraíba, v.3, n.3, p.5-12, nov/dez. de 2017.
- AVERY, J. C.; HOFFMANN, P. R. Selenium, selenoproteins, and immunity. **Nutrients**, Seattle – Washington – Estados Unidos da América, v.10, n.9, p. 1203, set. de 2018.
- BERTIN, R. L.; SCHULZ, M.; AMANTE, E.R. Estabilidade de vitaminas no processo de alimentos: Uma Revisão. **Biblioteca Ceppa**, Curitiba - Paraná, v.34, n.2, p. 12-25, jul./dez. de 2016.
- BIASEBETTI, M.B.C.; RODRIGUES, I.D.; MAZUR, C.E. Relação do consumo de vitaminas e minerais com o sistema imunitário: Uma Breve Revisão. **Visão Acadêmica**, Curitiba - Paraná, v.19, n.1, p.447-452, mai. de 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC N° 150 de 13 de abril de 2017. **Dispõe sobre o enriquecimento das farinhas de trigo e de milho com ferro e ácido fólico**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-monitoramento/programas-nacionais-de-monitoramento-de-alimentos/programa-de-monitoramento-da-fortificacao-das-farinhas-de-trigo-e-milho-com-ferro-e-acido-folico>. Acesso em 23 de agosto de 2021.
- CARDOSO, A. L. et. al. **Nutrição adequada e proteção do sistema imunológico na época da COVID-19**. Associação de pediatria de São Paulo, 2020.
- CRUZ, F.; SOARES, J. B. F. H. Uma revisão sobre o zinco Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande – Mato Grosso do Sul, v.15, n.1, p. 207-222, out. de 2011.
- DUTRA, et al. A importância da alimentação saudável e estado nutricional adequado frente a pandemia de Covid-19. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba - Paraná, v.6, n.9, p. 66464-66473, sep. de 2020.
- GOMBART, A. F.; PIERRE, A.; MAGGINI, S. A Review of Micronutrients and the Imune System Working in Harmony to Reduce the Risk of Infection. **Nutrients**, Amsterdã – Holanda, v.12, n.1, p.236, mar. de 2020.
- GONÇALVES N. M et al. Impact of Vitamin D Supplementation on Influenza Vaccine Response and Immune Functions in Deficient Elderly Persons: A Randomized Placebo-Controlled Trial. **Frontiers in immunology**, Amsterdã – Holanda, v. 10, n.65, p. 8, feb. de 2019.

GRANT, W. B. et al. Evidence that vitamin D supplementation could reduce risk of influenza and COVID-19 infections and deaths. **Nutrients**, Amsterdã – Holanda, v.12, n.4, p. 988, jan. de 2020.

GREDEL, S. Nutrição e imunidade no homem. **Ilsi Europe Concise Monograph Series**, Bélgica, v.2, n.1, p. 32, fev. de 2012.

JESUS, M. N. et al. Vitamina C e a relação com a imunidade e como agente preventivo da covid-19 (Sars-Cov2). **Research, Society and Development**. Itabira – Minas Gerais, v.10, n.5, p.1-8. abr. de 2021.

JORDÃO, K. S. L. U. et al. Consumo de Vitamina E e Fontes Alimentares na Dieta de Adolescentes: Um Estudo Transversal de Base Populacional. **Revista Paul Pediatría**, Campinas – São Paulo, v.39, n.2, p. 95, dez. de 2020.

KATOUZIAN, I.; JAFARI, S. M. Nano-encapsulation as a promising approach for targeted delivery and controlled release of vitamins. **Elsevier Ltd. Trends in Food Science and Technology**, Amsterdã – Holanda, v.53, n.1, p. 34–48. out. de 2016.

MAGGINI, S. et al. Immune function and micronutrient requirements change over the life course. **Nutrients**, Amsterdã – Holanda, v.10, n.10, p. 45-61, mar. de 2018.

MARQUES, et al. Fortificação de Alimentos: uma alternativa para suprir as necessidades de micronutrientes no mundo contemporâneo. **Revista HU**, Juiz de Fora – Minas Gerais, v.38, n.1 e 2, p. 29-36, jan./jun. de 2012.

MARTINS, M. C. C.; OLIVEIRA, A. S. S. S. Zinco, vitamina D e sistema imune: papel na infecção pelo novo coronavírus, **Revista da FAESF**, Floriano – Piauí, v.4, n.1, p. 16-27, jun. de 2020.

MASSAROLLO, A. C. D. et. al. Relação entre alimentação e imunidade em tempos de pandemia COVID-19, **Acta Elit Salutis – AES**, Cascavel – Paraná, v.4, n.1, p. 14, dez. de 2021.

MATOS, C. S. **Segurança Alimentar Fortificação alimentar e Aditivos**. 2017. Número de folhas: 52. Monografia de Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas. Universidade de Lisboa, Lisboa – Portugal, 2017.

MONTEIRO, J. C. M. **Oligoelementos na Nutrição Humana**. 2017. Número de folhas: 65. Monografia de Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas. Instituto Superior de Ciências da Saúde Egas Moniz, Monte de Caparica – Almada – Portugal, 2017.

MONTEZ, J. M. B. M. Departamento de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencias de la Salud y los Alimentos. **Revista Chile Nutrición**, Chillán – Chile, v.43, n.1, p.447, jul. de 2016.

MUSACHIO, E. A. S.; ANDRIGHI, E. C.; ZANINI, R. V. **Educação nutricional sobre consumo alimentar de ferro para estudantes de uma escola pública de Itaqui/RS.** Santana do Livramento, 2017.

NÓBREGA, P. **Selênio e a importância para o organismo humano - benefícios e controvérsias.** Dissertação, Universidade Fernando Pessoa - 2015. Disponível em: [https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5418/1/PPG\\_20039.pdf](https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5418/1/PPG_20039.pdf). Acesso em: 27 jul. de 2021.

PARK, S. J. et al. Development of nanostructured lipid carriers for the encapsulation and controlled release of vitamin D3. **Elsevier Ltda Food Chemistry**, Amsterdã – Holanda, v.225, n.1, p. 213–219, jun. de 2017.

SCHAFER, A. A. **Biodisponibilidade de ferro na alimentação de pré-escolares: Comparação entre métodos de avaliação.** 2011. Número de folhas: 47. Dissertação em Nutrição e Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – Rio Grande do Sul, 2011.

SILVA, F. G. C.; BORGES, A. L. T. F.; OLIVEIRA, J. V. L.; PRATA, A. P. N.; PORTO, I. C. C. M.; ALMEIDA, C. A. C.; SOUSA, J. S.; FREITAS, J. D.; FILHO, A. D. O.; REIS, F. M. P.; OLIVEIRA, R. A. G.; SILVA, S. A. S.; NASCIMENTO, T. G. **Alimentos, nutracêuticos e plantas medicinais utilizados como prática complementar no enfrentamento dos sintomas do coronavírus (COVID -19).** 2015.

SORICE, A.; GUERRIERO E.; CAPONE F. et al. **Ascorbic acid: its role in immune system and chronic inflammation diseases.** Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, v.14, n.5, p.444-52, 2014.

SOUZA, J. P.; BRENTGANI, L. M. **A influência da alimentação sobre a microbiota intestinal e a imunidade.** Caderno Naturol. Terapia Complementar. v.5, n.8, p.114-127, 2016.

UNTERSMEYR, E.; KALLAY, E. Insights em Immuno-Nutrition: Vitamin D as a Potent Immunomodulator. **Nutrients**, Amsterdã – Holanda, v.12, n.1, p.35-54, dez. de 2020.

VELLOZO E.P. et al Rev. Bras. Hematol. Hemoter. A contribuição dos alimentos fortificados na prevenção da anemia ferropriva. **Revista Brasileira de Hematologia - Hemoter**, São Paulo – São Paulo, v.32, n.2, p.140-147, jan. de 2010.

YUN, S.; VINCELETTE, N.D. Update on iron metabolism and molecular perspective of common genetic and acquired disorder, hemochromatosis. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, Amsterdã – Holanda, v.95, n.1, p.12-25, jul. de 2015.