

EVOLUÇÃO, DESAFIOS E FUTURO DA COMPOSIÇÃO LIPÍDICA DE FÓRMULAS INFANTIS: UMA REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA

EVOLUTION, CHALLENGES AND FUTURE OF THE LIPID COMPOSITION OF INFANT FORMULAS: A NARRATIVE LITERATURE REVIEW

EVOLUCIÓN, DESAFÍOS Y FUTURO DE LA COMPOSICIÓN LIPÍDICA EN FÓRMULAS INFANTILES: UNA REVISIÓN NARRATIVA DE LA LITERATURA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-029>

Data de submissão: 03/11/2025

Data de publicação: 03/12/2025

Marciele Alves Bolognese

Doutora em Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Estadual de Maringá (UEM)

E-mail: mafb-2006@hotmail.com

Eloize da Silva Alves

Doutora em Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Estadual de Maringá (UEM)

E-mail: eloizeetaus@gmail.com

Suellen Cristina de Assis Amaral

Especialista em Terapia Nutricional nas Doenças Crônicas não transmissíveis

Instituição: Hospital Israelita Albert Einstein

E-mail: suellenamaral6943@gmail.com

Isabela Haddad Bolognese

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR)

E-mail: isabolognese@hotmail.com

César Augusto Neumann Ribeiro

Graduando em Medicina

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

E-mail: cesar.neumann@acad.ufsm.br

Milena Vieira de Souza

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR)

E-mail: mivsouza00@gmail.com

Isabela Pires Silvestre

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR)

E-mail: isabela.silvestre@hotmail.com

Maria Júlia Costa de Souza

Graduanda em Medicina

Instituição: Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR)

E-mail: marajulia190203@gmail.com

Deborah Heloise Fernandes Machado

Mestranda em Biociências e Fisiopatologia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá (UEM)

E-mail: deborahheloise12@gmail.com

RESUMO

As fórmulas infantis evoluíram para replicar o perfil lipídico do leite humano, essencial para o desenvolvimento saudável dos bebês. Este artigo revisa as mudanças na composição de gorduras, desde as primeiras fórmulas com gorduras animais e vegetais até as atuais, enriquecidas com ácidos graxos essenciais como os ácidos docosa-hexaenoico (DHA, 22:6n-3) e ácido araquidônico (ARA, 20:4n-6). A replicação dos glóbulos de gordura do leite humano enfrenta desafios devido à sua estrutura única e compostos bioativos, que são cruciais para a nutrição e imunidade infantil. As tentativas de imitar o leite humano incluem o uso de óleos vegetais e avanços nas técnicas de emulsificação e homogeneização para melhorar a estabilidade e biodisponibilidade dos nutrientes, além da redução de gorduras saturadas e trans. As fórmulas modernas também buscam atender a alergias e intolerâncias alimentares, utilizando biotecnologia para sintetizar lipídios humanos, melhorando a digestibilidade e adequação nutricional. Embora grandes avanços tenham sido feitos, ainda existem limitações, especialmente em relação à sustentabilidade e aos custos de produção. Futuros desenvolvimentos podem incluir fórmulas personalizadas com base em genética e biotecnologia, além de soluções que reduzam o impacto ambiental, promovendo fórmulas infantis mais eficazes e sustentáveis.

Palavras-chave: Lipídios. Ácidos Graxos. Fórmula Infantil. Alimento Infantil.

ABSTRACT

Infant formulas have evolved to replicate the lipid profile of human milk, which is essential for the healthy development of infants. This article reviews the changes in fat composition, from the earliest formulas with animal and vegetable fats to the current ones, enriched with essential fatty acids such as docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) and arachidonic acid (ARA, 20:4n-6). Replication of human milk fat globules faces challenges due to their unique structure and bioactive compounds, which are crucial for infant nutrition and immunity. Attempts to mimic human milk include using vegetable oils and advances in emulsification and homogenization techniques to improve nutrient stability and bioavailability and reduce saturated and trans fats. Modern formulas also seek to address food allergies and intolerances by using biotechnology to synthesize human lipids, improving digestibility and nutritional adequacy. Although great advances have been made, limitations remain, especially regarding sustainability and production costs. Future developments could include personalized formulas based on genetics and biotechnology and solutions that reduce environmental impact, promoting more effective and sustainable infant formulas.

Keywords: Lipids. Fatty Acids. Infant Formula. Infant Food.

RESUMEN

Las fórmulas infantiles han evolucionado para replicar el perfil lipídico de la leche materna, esencial para el desarrollo saludable de los bebés. Este artículo analiza los cambios en la composición de las grasas, desde las fórmulas iniciales con grasas animales y vegetales hasta las actuales enriquecidas con

ácidos grasos esenciales como el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3) y el ácido araquidónico (ARA, 20:4n-6). Replicar los glóbulos de grasa de la leche materna enfrenta desafíos debido a su estructura única y a sus compuestos bioactivos, cruciales para la nutrición e inmunidad infantil. Los intentos de imitar la leche materna incluyen el uso de aceites vegetales y avances en las técnicas de emulsificación y homogeneización para mejorar la estabilidad y la biodisponibilidad de los nutrientes, así como la reducción de grasas saturadas y trans. Las fórmulas modernas también buscan abordar las alergias e intolerancias alimentarias mediante el uso de la biotecnología para sintetizar lípidos humanos, mejorando la digestibilidad y la adecuación nutricional. Si bien se han logrado grandes avances, aún existen limitaciones, especialmente en cuanto a la sostenibilidad y los costos de producción. Los desarrollos futuros podrían incluir fórmulas personalizadas basadas en la genética y la biotecnología, así como soluciones que reduzcan el impacto ambiental, promoviendo fórmulas infantiles más eficaces y sostenibles.

Palabras clave: Lípidos. Ácidos Grasos. Fórmula Infantil. Alimentos Infantiles.

1 INTRODUÇÃO

As fórmulas infantis foram desenvolvidas para atender às necessidades nutricionais de bebês que não podem ser alimentados exclusivamente com leite materno (Bolognese et al., 2024). Desde o final do século XIX, sua composição evoluiu para se aproximar do leite humano, considerado o padrão ideal para a nutrição infantil (Fomon, 2001).

A composição lipídica dessas fórmulas é crucial, os lipídios fornecem energia, além de ser essenciais para o desenvolvimento cerebral, retina e a absorção de vitaminas lipossolúveis (Bakshi et al., 2023). Estudos recentes sublinham que a inclusão de ácidos graxos essenciais, como o ácido docosahexaenoico (DHA) e ácido araquidônico (ARA) nas fórmulas infantis, têm demonstrado efeitos benéficos no desenvolvimento neurocognitivo e visual dos lactentes (Brambilla et al., 2020; Capra et al., 2024; Delplanque et al., 2015). Essas descobertas reforçam a importância de uma composição lipídica adequada nas fórmulas infantis, não apenas para promover um crescimento saudável, mas também para apoiar o desenvolvimento ótimo durante os primeiros anos de vida.

Neste contexto, o objetivo deste artigo de revisão, foi examinar a evolução das gorduras nas fórmulas infantis, desde as primeiras versões com gorduras animais e vegetais até as formulações modernas enriquecidas com lipídios essenciais, destacando como os avanços científicos e tecnológicos melhoraram a adequação nutricional dessas fórmulas para o crescimento saudável e o desenvolvimento infantil.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e retrospectivo, utilizando o método de narrativa da literatura.

A coleta de dados foi realizada a partir de bases de dados científicas reconhecidas, como o *Science Direct* e o PUBMED da Biblioteca Nacional de Medicina dos Estados Unidos, utilizando palavras-chave como “*infant formula*”, “*baby formulas*”, “*human milk*”, “*essential fatty acids*”, “*birth of full term infant*”, “*nurseries, infant*”, “*infant nutrition science*”, e “*infant health*” definidas nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS). Foram interpretados os estudos disponíveis na íntegra em português, inglês ou espanhol. Além disso, foram excluídos os artigos duplicados e aqueles que, após análise de título e resumo, não estavam alinhados aos objetivos da pesquisa.

A revisão permitiu identificar lacunas no conhecimento, como limitações relacionadas à sustentabilidade e ao custo de produção, além de explorar perspectivas futuras, incluindo inovações em biotecnologia e personalização nutricional.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 EVOLUÇÃO DA COMPOSIÇÃO LIPÍDICA DAS FÓRMULAS INFANTIS

As primeiras fórmulas infantis, desenvolvidas no final do século XIX e início do século XX, usavam primeiramente gorduras de origem animal e vegetal como fontes lipídicas (Fomon, 2001). No entanto, a compreensão limitada da nutrição infantil resultou em fórmulas desequilibradas, com nutrientes essenciais em quantidades inadequadas (Ma et al., 2023).

Entre as décadas de 1920 e 1960, as gorduras derivadas do leite de vaca, ricas em ácidos graxos saturados e colesterol, eram usadas devido à sua semelhança superficial com o leite humano, mas causavam dificuldades na digestão e absorção pelos bebês (Koletzko et al., 2005). Óleos vegetais foram incorporados para melhorar a mistura e fornecer ácidos graxos essenciais, como o ácido linoleico. Contudo, essas fórmulas careciam de ácidos graxos essenciais de cadeia longa, como DHA e ARA, essenciais para o desenvolvimento neurológico e visual (Gibson; Kneebone, 1981; Koletzko et al., 2005). Essas limitações impulsionaram a evolução das fórmulas infantis, levando à incorporação de lipídios mais complexos e bioativos nas versões modernas (Delplanque et al., 2015; Koletzko et al., 2005).

Entre as décadas de 1970 e 1990, avanços tecnológicos e científicos melhoraram significativamente as fórmulas infantis, com a introdução de novos óleos e gorduras vegetais (Fomon, 2001). Óleos como soja, palma e coco tornaram-se comuns, aumentando a digestibilidade e o valor nutricional das fórmulas. O óleo de soja, rico em ácidos graxos essenciais como ácido linoleico (ômega-6) e o ácido alfa-linolênico (ômega-3), ajudou a melhorar o perfil de ácidos graxos e favoreceu o desenvolvimento cerebral e visual dos bebês (Berghaus; Demmelmair; Koletzko, 2000; Masson, 2014).

O óleo de palma foi introduzido devido ao seu conteúdo de ácido palmítico, um ácido graxo saturado presentes no leite humano, e passou a ser modificado para melhorar a digestibilidade e reduzir problemas como constipação (Innis, 2014; Mohammadi; Farmani; Piravi-Vanak, 2019; Ottria et al., 2024; Silva; Colleran; Ibrahim, 2021). Já o óleo de coco, rico em triglicerídeos de cadeia média, melhorou a absorção de gorduras e forneceu uma fonte rápida de energia para bebês com dificuldade de digestão (Lima; Block, 2019; Viriato et al., 2022).

As inovações no uso de óleos vegetais melhoraram a composição de ácidos graxos e a digestibilidade das fórmulas infantis. O estudo da estrutura dos triglicerídeos e a escolha adequada dos óleos possibilitaram fórmulas mais facilmente digeridas, reduzindo desconfortos gastrointestinais (Delplanque et al., 2015; Ma et al., 2023). A inclusão desses óleos também aprimorou o valor

nutricional das fórmulas, oferecendo ácidos graxos essenciais e lipídios estruturados que favorecem o desenvolvimento neurológico e visual dos bebês (Koletzko et al., 2005).

Também entre as décadas de 1970 e 1990, o desenvolvimento de técnicas de homogeneização e estabilização foi crucial para melhorar a qualidade das fórmulas infantis, especialmente no controle da oxidação lipídica e na emulsificação (Wei; Jin; Wang, 2019). Essas inovações garantiram maior estabilidade, segurança e eficácia nutricional dos lipídios, promovendo maior segurança e eficácia nutricional dos lipídios, prolongando a vida útil dos produtos (Bakshi et al., 2023; Perretta et al., 2021).

A emulsificação, que assegura a distribuição uniforme de gorduras na fórmula, foi aprimorada com o uso de emulsificantes naturais e sintéticos, como a lecitina, que estabiliza as gotículas de gordura e evita a separação de fases, melhorando a absorção dos nutrientes para os bebês (Drapala et al., 2015).

Ainda entre as décadas de 1970 e 1990, foram desenvolvidas técnicas para controlar a oxidação, incluindo o uso de antioxidantes como vitamina E e C, que neutralizam os radicais livres (Chavezservin et al., 2008; Daoud et al., 2020; Elisia; Kitts, 2013). Além disso, melhorias no processamento e embalagem, como o envase em atmosferas controladas com gases inertes, ajudaram a reduzir a exposição ao oxigênio e prolongar a estabilidade das fórmulas (Tamime, 2009). Esses avanços garantiram a entrega eficaz e segura dos lipídios essenciais, melhorando a qualidade das fórmulas e a saúde dos bebês.

Desde os anos 2000, o enriquecimento das fórmulas infantis com DHA e ARA tem sido um importante avanço na nutrição infantil, devido aos benefícios comprovados desses ácidos graxos para o desenvolvimento cerebral e visual. Estudos mostram que o DHA melhora o desenvolvimento cognitivo, a acuidade visual e o desenvolvimento motor em lactentes (Hadley et al., 2016). A suplementação com DHA e ARA também tem efeitos positivos a longo prazo, incluindo vantagens no desenvolvimento cognitivo e nas habilidades linguísticas (Colombo et al., 2013). A legislação Europeia exige que todas as fórmulas infantis e de continuação contenham entre 20 e 50 mg de DHA/100 kcal (European Comission, 2015).

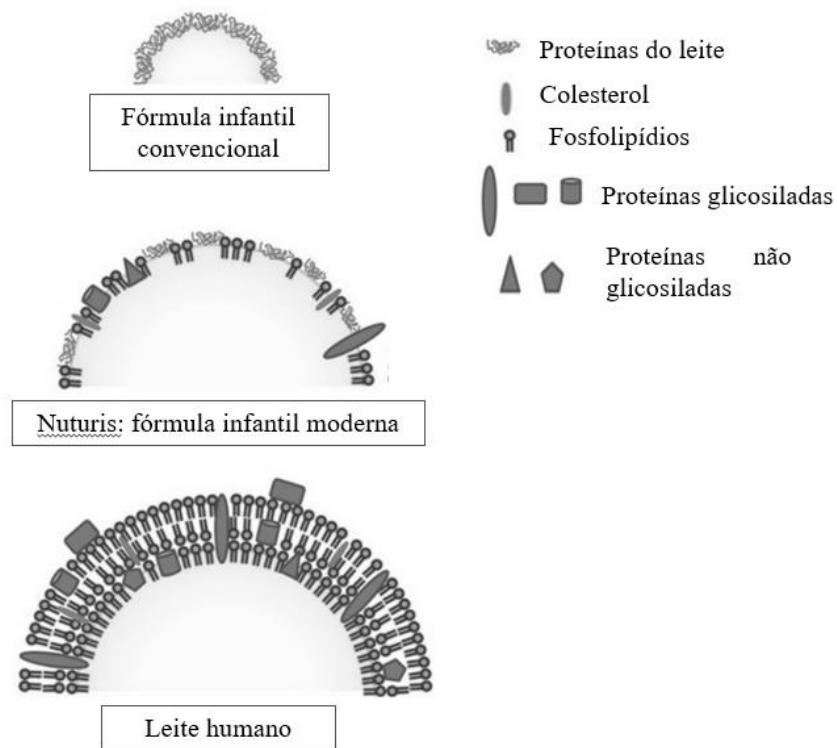
Embora fórmulas com DHA e ARA tenham sido amplamente estudadas, a formulação de produtos com até 1% de DHA e sem ARA ainda não foi sistematicamente testada para segurança e adequação em bebês saudáveis (Koletzko, 2016). O ARA é essencial para o desenvolvimento do cérebro, sendo depositado em maior quantidade que o DHA nas membranas celulares do cérebro em crescimento.

Desde os anos 2000, a introdução de lipídios bioativos nas fórmulas infantis tem melhorado a qualidade nutricional desses produtos. Dentre as inovações, destacam-se os lipídios estruturados e a membrana do glóbulo de gordura do leite (MGGL), que oferecem benefícios significativos para o

desenvolvimento infantil. Os lipídios estruturados são formulados para imitar a estrutura dos lipídios do leite humano. Esses lipídios melhoram a eficácia do uso dos ácidos graxos e reduzem problemas gastrointestinais, como constipação e cólicas (Silva; Colleran; Ibrahim, 2021). Além disso, as fórmulas modernas, como a Nuturis®, utilizam gotículas lipídicas revestidas com fosfolipídios para imitar a estrutura do leite humano, melhorando a absorção e o desenvolvimento do bebê (Gallier et al., 2015).

É possível observar que a composição lipídica das fórmulas infantis varia em relação à sua estrutura. Enquanto as fórmulas tradicionais possuem pequenas gotículas de gordura cobertas por proteínas do leite, fórmulas modernas como a Nuturis® apresentam grandes gotículas revestidas por fosfolipídios, proteínas do leite e colesterol, mais próximas da estrutura do leite humano, que possui grandes gotículas cobertas por uma tricamada de fosfolipídios, proteínas de membrana e colesterol (Figura 1).

Figura 1. Comparação entre glóbulos de gordura de fórmula infantil convencional, fórmula infantil moderna, e leite humano.



Fonte: Adaptado de GALLIER et al., (2015).

Outro produto patenteado é o Lacprodan® MGGL-10 que inclui compostos como lactoferrina, IgG, fosfolipídios e gangliosídeos resultando em um desenvolvimento cognitivo semelhante ao dos bebês amamentados (Silva; Colleran; Ibrahim, 2021). A fração lipídica MGGL, composta por

esfingolipídios, fosfolipídios e glicolipídios, é importante para a formação das membranas celulares e têm benefícios para o desenvolvimento cognitivo e imunológico (Sánchez et al., 2021). Sua inclusão nas fórmulas infantis pode melhorar a função imunológica, reduzir infecções, aprimorar o desenvolvimento cognitivo e a função cerebral, e melhorar a tolerância digestiva (Sánchez et al., 2021; Silva; Colleran; Ibrahim, 2021).

A gordura láctea humana, rica em triglicerídeos, esfingolipídios e fosfolipídios, é fundamental para a nutrição e o desenvolvimento do lactente (Lawrence, 2022). Avanços em biotecnologia permitiram a síntese de gordura láctea humana em laboratório, utilizando fermentação de mocrorganismos geneticamente modificados e engenharia de lipídios. Isso possibilita a produção de lipídios que imitam a composição e estrutura da gordura do leite humano, melhorando a qualidade das fórmulas infantis. O uso de óleos sustentáveis, como óleos unicelulares, também representa um avanço significativo para a indústria. A inclusão de gordura láctea humana sintetizada nas fórmulas pode melhorar a digestibilidade, absorção de nutrientes e apoiar o desenvolvimento cognitivo e imunológico dos bebês. A replicação precisa dos lipídios do leite humano oferece fórmulas mais adequadas às necessidades nutricionais dos lactentes, promovendo um desenvolvimento saudável e equilibrado, especialmente para bebês que não podem ser amamentados. Esses avanços refletem uma melhor compreensão das necessidades nutricionais infantis e a capacidade de adaptar as fórmulas para um crescimento ideal.

O desenvolvimento de lipídios estruturados semelhantes à gordura do leite humano, utilizando óleos sustentáveis e de baixo custo, pode revolucionar a indústria de fórmulas infantis, proporcionando opções de alta tecnologia para bebês que dependem dessas fórmulas (Silva; Colleran; Ibrahim, 2021).

A inclusão de gordura láctea humana sintetizada pode melhorar a digestibilidade, absorção de nutrientes e apoiar o desenvolvimento cognitivo e imunológico do lactente, aproximando as fórmulas do leite humano (Carr et al., 2021). Isso permite uma melhor adequação nutricional, promovendo um desenvolvimento saudável e equilibrado, especialmente para bebês que não podem ser amamentados (Bakshi et al., 2023). Esses avanços refletem uma compreensão mais profunda das necessidades nutricionais dos bebês e a capacidade da indústria de adaptar as fórmulas para apoiar seu crescimento e desenvolvimento.

3.2 REDUÇÃO DE GORDURAS TRANS E SATURADAS

A redução de gorduras trans e saturadas nas fórmulas infantis é essencial devido aos seus impactos negativos na saúde cardiovascular e no desenvolvimento metabólico. Gorduras trans, presentes em óleos vegetais parcialmente hidrogenados, e gorduras saturadas, vindas principalmente

de gorduras animais, estão associadas a doenças cardiovasculares e dislipidemias (Agostoni et al., 2014; Bertoni et al., 2023). Desde o ano 2000, as regulamentações e diretrizes nutricionais passaram a refletir a conscientização sobre esses riscos, levando à reformulação das fórmulas para minimizar essas gorduras (Lichtenstein et al., 2006). Substituições foram feitas por óleos vegetais não hidrogenados, como canola e girassol, que possuem um perfil de ácidos graxos mais saudável e benefícios para saúde cardiovascular e o desenvolvimento infantil (Bolognese et al., 2024; Brenna et al., 2007).

3.3 ÓLEOS VEGETAIS COM PERFIL SEMELHANTE AO DO LEITE HUMANO

A indústria tem investido em avanços na produção de óleos vegetais com perfis lipídicos mais próximos ao do leite humano, que contém uma mistura única de lipídios essenciais, triglicerídeos e fosfolipídios (Brenna et al., 2007; Innis, 2016).

Um dos principais avanços tem sido o desenvolvimento de óleos vegetais enriquecidos com ácidos graxos essenciais, como DHA e ARA, e em modificar a estrutura dos triglicerídeos para melhorar a digestibilidade e a eficácia nutricional das fórmulas (Bolognese et al., 2024; Berghaus; Demmelmair; Koletzko, 2000).

Além disso, técnicas de modificação têm sido utilizadas para aumentar a estabilidade dos óleos, reduzindo a oxidação e preservando os nutrientes essenciais (Korma et al., 2020). Esses avanços, focados em lipídios sustentáveis e saudáveis, buscam não apenas melhorar a qualidade nutricional das fórmulas, mas também garantir uma produção mais sustentáveis e responsável (Meijaard et al., 2022).

3.4 ADAPTAÇÃO DAS FÓRMULAS INFANTIS: ALERGIAS E INTOLERÂNCIAS ALIMENTARES

A adaptação das fórmulas infantis para necessidades específicas, como alergias alimentares e intolerâncias, é um campo emergente que visa personalizar as formulações de acordo com às necessidades individuais dos lactentes.

Com o aumento global das alergias alimentares, as fórmulas hipoalergênicas foram desenvolvidas para reduzir o risco de reações alérgicas, utilizando proteínas hidrolisadas ou fórmulas à base de soja ou de aminoácidos livres (Verduci et al., 2020). A personalização pode incluir ajustes na composição proteica, a inclusão de peptídeos bioativos que têm propriedades imunomoduladoras e a eliminação de alérgenos como leite de vaca, e trigo (Lönnnerdal, 2010). Para intolerância à lactose, fórmulas com lactase adicionada são usadas para garantir uma digestão adequada e evitar desconforto gastrointestinal (Darma et al., 2024).

3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

Avanços em tecnologias como impressão 3D e inteligência artificial podem permitir a criação de fórmulas infantis personalizadas, adaptadas às necessidades de saúde e desenvolvimento de cada lactente. Essas inovações, combinadas com novos conhecimentos em lipidômica, genômica e proteômica, têm o potencial de transformar a produção de fórmulas, oferecendo soluções mais precisas para necessidades nutricionais individuais, como alergias e intolerâncias. O futuro das fórmulas infantis promete melhorias significativas na qualidade da nutrição infantil e no desenvolvimento saudável desde os primeiros dias de vida (Tong et al., 2024; Cassotta et al., 2024; Johansson et al., 2023).

Além disso, a crescente demanda por fórmulas infantis levanta questões éticas e ambientais, especialmente em relação à sustentabilidade dos ingredientes e ao impacto da produção. A conscientização sobre esses fatores é fundamental para garantir que a produção de fórmulas minimize os impactos ambientais. (Nommsen-Rivers et al., 2023).

Práticas como certificações de responsabilidade ambiental, como RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) e Rainforest Alliance, estão sendo adotadas para promover a sustentabilidade na produção dos ingredientes utilizados nas fórmulas infantis (Gesteiro et al., 2019).

A inovação em biotecnologia e agricultura, como o desenvolvimento de proteínas alternativas e ingredientes sintetizados em laboratório, podem reduzir a dependência de ingredientes com alto apelo ambiental na produção de fórmulas infantis. Novas tecnologias e práticas agrícolas mais eficientes também contribuem para a produção mais sustentável (Deglaire et al., 2023; Tang; Wickers; Hettinga, 2024). A melhoria na eficiência energética, gestão de resíduos e a adoção de práticas de economia circular podem diminuir o impacto ambiental do processamento e transporte (Gesteiro et al., 2019).

A produção de gordura láctea humana em laboratório pode reduzir a necessidade de fontes animais, promovendo uma abordagem mais sustentável (Tang; Wickers; Hettinga, 2024). No entanto, a síntese de gordura láctea humana ainda enfrenta desafios relacionados à complexidade da composição lipídica e à garantia de segurança e eficácia.

Apesar dos avanços, a síntese de gordura láctea humana ainda enfrenta desafios significativos. A complexidade da composição lipídica e a necessidade de garantir a segurança e a eficácia dos produtos sintetizados são questões cruciais que precisam ser abordadas. A inovação em biotecnologia, como a síntese de gordura láctea humana mais próximo do glóbulo de gordura do leite humano, representa um avanço na melhoria qualidade das fórmulas infantis, o que pode reduzir a lacuna entre bebês alimentados com fórmula e amamentados em termos de neurodesenvolvimento, doenças infecciosas e metabolismo do colesterol (Silva; Colleran; Ibrahim, 2021).

A sustentabilidade dos ingredientes e o impacto ambiental da produção de fórmulas infantis são questões cruciais que devem ser abordadas para garantir que a nutrição infantil seja proporcionada de maneira responsável e sustentável. Com o avanço das tecnologias e a adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis, é possível mitigar os impactos negativos e promover uma produção mais ética e ambientalmente sustentável (Deglaire et al., 2023).

4 CONCLUSÃO

A composição lipídica das fórmulas infantis tem evoluído para replicar com mais precisão o perfil nutricional do leite humano. Inicialmente, utilizavam-se gorduras animais e vegetais básicas, mas atualmente as fórmulas incluem óleos vegetais ricos em ácidos graxos essenciais, como DHA e ARA, e lipídios bioativos, melhorando a qualidade nutricional e a digestibilidade. Avanços em biotecnologia, como a síntese de gordura láctea humana, visam otimizar a absorção dos nutrientes e apoiar o desenvolvimento infantil. As fórmulas são essenciais para a saúde pública, especialmente para bebês que não podem ser amamentados, e têm se adaptado para atender a necessidades específicas, como alergias e intolerâncias alimentares. O futuro das fórmulas infantis envolve inovações, como personalização genética e sustentabilidade, para garantir benefícios contínuos à saúde das crianças, minimizando o impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

- AGOSTONI, C. et al. Scientific Opinion on the essential composition of infant and follow-on formulae. EFSA Journal, v. 12, n. 7, p. 3760, jul. 2014.
- BAKSHI, S. et al. A comprehensive review on infant formula: nutritional and functional constituents, recent trends in processing and its impact on infants' gut microbiota. Frontiers in Nutrition, v. 10, 21 jun. 2023.
- BERGHAUS, T. M.; DEMMELMAIR, H.; KOLETZKO, B. Essential Fatty Acids and Their Long-Chain Polyunsaturated Metabolites in Maternal and Cord Plasma Triglycerides during Late Gestation. Neonatology, v. 77, n. 2, p. 96–100, 2000.
- BERTONI, C. et al. Alpha-Linolenic Acid and Cardiovascular Events: A Narrative Review. International Journal of Molecular Sciences, v. 24, n. 18, p. 14319, 20 set. 2023.
- BOLOGNESE, M. A. et al. Nutritional composition evaluation with emphasis on the lipid quality of infant formulas. Journal of Food Composition and Analysis, v. 135, p. 106683, nov. 2024.
- BRAMBILLA, P. et al. Do the opinions of pediatricians influence their recommendations on complementary feeding? Preliminary results. European Journal of Pediatrics, v. 179, n. 4, p. 627–634, 21 abr. 2020.
- BRENNNA, J. T. et al. Docosahexaenoic and arachidonic acid concentrations in human breast milk worldwide. The American Journal of Clinical Nutrition, v. 85, n. 6, p. 1457–1464, jun. 2007.
- CAPRA, M. E. et al. Complementary Feeding: Tradition, Innovation and Pitfalls. Nutrients, v. 16, n. 5, p. 737, 4 mar. 2024.
- CARR, L. E. et al. Role of Human Milk Bioactives on Infants' Gut and Immune Health. Frontiers in Immunology, v. 12, 12 fev. 2021.
- CASSOTTA, M. et al. Human-based new approach methodologies to accelerate advances in nutrition research. Food Frontiers, v. 5, n. 3, p. 1031–1062, 5 maio 2024.
- CHAVEZSERVIN, J. et al. Analysis of vitamins A, E and C, iron and selenium contents in infant milk-based powdered formula during full shelf-life. Food Chemistry, v. 107, n. 3, p. 1187–1197, 1 abr. 2008.
- COLOMBO, J. et al. Long-term effects of LCPUFA supplementation on childhood cognitive outcomes. The American Journal of Clinical Nutrition, v. 98, n. 2, p. 403–412, ago. 2013.
- DAOUD, S. et al. Detection of Lipid Oxidation in Infant Formulas: Application of Infrared Spectroscopy to Complex Food Systems. Foods, v. 9, n. 10, p. 1432, 9 out. 2020.
- DARMA, A. et al. Lactose Intolerance versus Cow's Milk Allergy in Infants: A Clinical Dilemma. Nutrients, v. 16, n. 3, p. 414, 31 jan. 2024.

DEGLAIRE, A. et al. Towards more biomimetic and sustainable infant formula: challenges and future opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, v. 137, p. 109–123, jul. 2023.

DELPLANQUE, B. et al. Lipid Quality in Infant Nutrition. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, v. 61, n. 1, p. 8–17, jul. 2015.

DRAPALA, K. P. et al. Influence of lecithin on the processing stability of model whey protein hydrolysate-based infant formula emulsions. *International Journal of Dairy Technology*, v. 68, n. 3, p. 322–333, 25 ago. 2015.

ELISIA, I.; KITTS, D. D. Differences in Vitamin E and C Profile Between Infant Formula and Human Milk and Relative Susceptibility to Lipid Oxidation. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, v. 83, n. 5, p. 311–319, 1 out. 2013.

EUROPEAN COMISSION (EUR). Commission Delegated Regulation (EU) 2016/127 of 25 September 2015 supplementing Regulation (EU) No 609/2013 of the European Parliament and of the Council as regards the specific compositional and information requirements for infant formula and follow-on . Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2016/127/oj>. Acesso em: 24 out. 2025.

FOMON, S. J. Infant Feeding in the 20th Century: Formula and Beikost. *The Journal of Nutrition*, v. 131, n. 2, p. 409S-420S, fev. 2001.

GALLIER, S. et al. A novel infant milk formula concept: Mimicking the human milk fat globule structure. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 136, p. 329–339, dez. 2015.

GESTEIRO, E. et al. Palm Oil on the Edge. *Nutrients*, v. 11, n. 9, p. 2008, 26 ago. 2019.

GIBSON, R. A.; KNEEBONE, G. M. Fatty acid composition of human colostrum and mature breast milk. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 34, n. 2, p. 252–257, fev. 1981.

HADLEY, K. et al. The Essentiality of Arachidonic Acid in Infant Development. *Nutrients*, v. 8, n. 4, p. 216, 12 abr. 2016.

INNIS, S. M. Impact of maternal diet on human milk composition and neurological development of infants. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 99, n. 3, p. 734S-741S, mar. 2014.

INNIS, S. M. Palmitic Acid in Early Human Development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 56, n. 12, p. 1952–1959, 9 set. 2016.

JOHANSSON, Å. et al. Precision medicine in complex diseases—Molecular subgrouping for improved prediction and treatment stratification. *Journal of Internal Medicine*, v. 294, n. 4, p. 378–396, 24 out. 2023.

KOLETZKO, B. et al. Global Standard for the Composition of Infant Formula: Recommendations of an ESPGHAN Coordinated International Expert Group. *Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition*, v. 41, n. 5, p. 584–599, nov. 2005.

KOLETZKO, B. Human Milk Lipids. *Annals of Nutrition and Metabolism*, v. 69, n. Suppl. 2, p. 27–40, 2016.

KORMA, S. A. et al. A comparative study of lipid composition and powder quality among powdered infant formula with novel functional structured lipids and commercial infant formulas. *European Food Research and Technology*, v. 246, n. 12, p. 2569–2586, 17 dez. 2020.

LAWRENCE, R. A. Biochemistry of Human Milk. In: *Breastfeeding*. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 93–144.

LICHENSTEIN, A. H. et al. Diet and Lifestyle Recommendations Revision 2006. *Circulation*, v. 114, n. 1, p. 82–96, 4 jul. 2006.

LIMA, R. S.; BLOCK, J. M. Coconut oil: what do we really know about it so far? *Food Quality and Safety*, v. 3, n. 2, p. 61–72, 10 jun. 2019.

LÖNNERDAL, B. Bioactive Proteins in Human Milk: Mechanisms of Action. *The Journal of Pediatrics*, v. 156, n. 2, p. S26–S30, fev. 2010.

MA, Q. et al. Novel trends and challenges in fat modification of next-generation infant formula: Considering the structure of milk fat globules to improve lipid digestion and metabolism of infants. *Food Research International*, v. 174, p. 113574, dez. 2023.

MASSON, L. Omega 3 and omega 6 fatty acids in human health. In: *Phytochemicals of nutraceutical importance*. UK: CABI, 2014. p. 116–131.

MEIJARD, E. et al. Dietary Fats, Human Nutrition and the Environment: Balance and Sustainability. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, 25 abr. 2022.

MOHAMMADI, T.; FARANI, J.; PIRAVI-VANAK, Z. Formulation and Characterization of Human Milk Fat Substitutes Made from Blends of Refined Palm Olein, and Soybean, Olive, Fish, and Virgin Coconut Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 96, n. 5, p. 555–569, 27 maio 2019.

NOMMSEN-RIVERS, L. et al. An equitable, community-engaged translational framework for science in human lactation and infant feeding—a report from “Breastmilk Ecology: Genesis of Infant Nutrition (BEGIN)” Working Group 5. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 117, p. S87–S105, maio 2023.

OTTRIA, R. et al. Lipids and lipid signaling molecules in human milk and infant formula, a chemical characterization of relevant biochemical components. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 126, p. 109580, abr. 2024.

PERRETTA, L. et al. High versus low medium chain triglyceride content of formula for promoting short-term growth of preterm infants. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, v. 2021, n. 2, 23 fev. 2021.

SÁNCHEZ, C. et al. Breast Milk: A Source of Functional Compounds with Potential Application in Nutrition and Therapy. *Nutrients*, v. 13, n. 3, p. 1026, 22 mar. 2021.

SILVA, R. C.; COLLERAN, H. L.; IBRAHIM, S. A. Milk fat globule membrane in infant nutrition: a dairy industry perspective. *Journal of Dairy Research*, v. 88, n. 1, p. 105–116, 16 fev. 2021.

TAMIME, A. Y. (ORG.). *Dairy Powders and Concentrated Products*. [S.l.]: Wiley, 2009.

TANG, J.; WICHERS, H. J.; HETTINGA, K. A. Comprehensive evaluation of plant proteins as potential dairy substitutes in infant formula: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 148, p. 104528, jun. 2024.

TONG, H. et al. Perspectives on 3D printed personalized medicines for pediatrics. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 653, p. 123867, mar. 2024.

VERDUCI, E. et al. Use of Soy-Based Formulas and Cow's Milk Allergy: Lights and Shadows. *Frontiers in Pediatrics*, v. 8, 17 nov. 2020.

VIRIATO, R. L. S. et al. Design of new lipids from bovine milk fat for baby nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 62, n. 1, p. 145–159, 2 jan. 2022.

WEI, W.; JIN, Q.; WANG, X. Human milk fat substitutes: Past achievements and current trends. *Progress in Lipid Research*, v. 74, p. 69–86, abr. 2019.