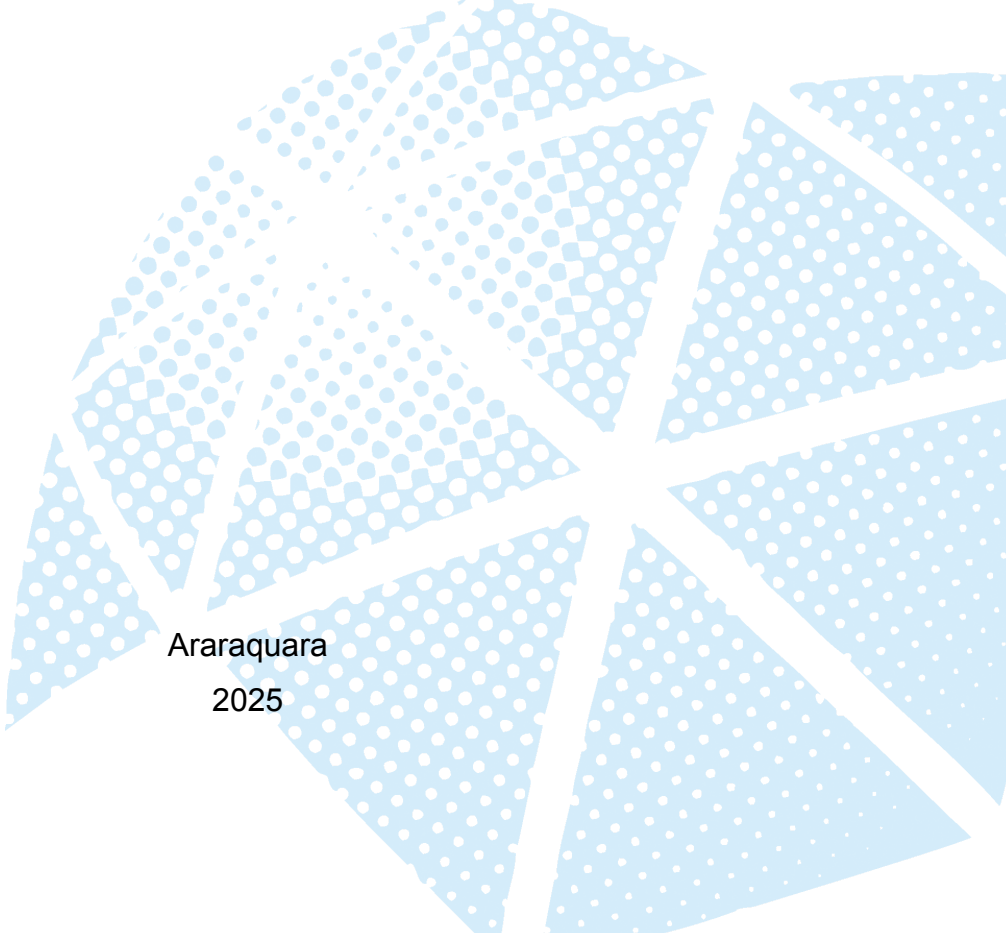


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

Virgínia Faria Ribeiro

NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS:
desenvolvimento de dermocosméticos anti-idade

Araraquara
2025



Virgínia Faria Ribeiro

NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS:
desenvolvimento de dermocosméticos anti-idade

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências
Farmacêuticas, Araraquara, para
obtenção do título de Bacharela em
Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcel Otávio Cerri

Araraquara
2025

R484n Ribeiro, Virgínia Faria.
Nanotecnologia na indústria de cosméticos: desenvolvimento de
dermocosméticos anti-idade / Virgínia Faria Ribeiro. –
Araraquara, 2025.
53 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Engenharia de
Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara.

Orientador: Marcel Otavio Cerri.

1. Nanotecnologia. 2. Cosméticos. 3. Dermocosméticos. 4. Anti-
idade. 5. Nanocarreadores. 6. Cosméticos – Indústria. I. Cerri,
Marcel Otavio, orient. II. Título.

Virgínia Faria Ribeiro

NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS:
desenvolvimento de dermocosméticos anti-idade

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Universidade
Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências
Farmacêuticas, Araraquara, para
obtenção do título de Bacharela em
Engenharia de Bioprocessos e
Biotecnologia.

Data da defesa: 04/12/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcel Otávio Cerri
UNESP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

Prof. Dr. Alvaro de Baptista Neto
UNESP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

Prof. Dr. Guilherme Peixoto
UNESP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

Prof. Dr. Heitor Buzetti Simões Bento
UNESP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

Prof. Dr. Fernando Masarin
UNESP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

Dedico este trabalho à minha família, em todas as suas formas. Por me apoiarem e acreditarem em mim em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que cruzaram minha vida em meio à loucura da faculdade, mas em especial:

Aos meus pais, Vânia e Marcelo, que me ensinaram a sonhar alto e trabalhar muito para correr atrás de tudo que quero alcançar. Obrigada por cada conversa, por cada sermão que no fim virou abraço e por cada “vai dar certo” dito no momento exato. Este trabalho carrega o exemplo de resiliência, coragem e determinação que recebi de vocês, junto à certeza de que amor e trabalho honesto constroem caminhos.

À minha irmã, Letícia, presença leve e constante, que me lembra de rir de mim mesma e de seguir em frente com a cabeça erguida. Obrigada por me ouvir sem pressa, por celebrar minhas pequenas vitórias e por estender a mão quando o mundo parecia grande demais. Ter você como irmã é um presente que me fortalece todos os dias.

Ao meu parceiro, Eduardo, meu lugar de paz e de volta. Obrigada por transformar cansaço em colo, dúvida em coragem e silêncio em presença. Você segurou minha mão nas noites longas, celebrou cada pequena conquista como se fosse a maior de todas e me lembrou, com paciência e ternura, que eu podia ir mais longe. Seu amor acalmou minhas pressas e seu humor clareou meus dias, obrigada por acreditar em mim até quando eu precisei reaprender a acreditar.

Aos meus avós, Neusa e Cláudio, que sempre me apoiaram em todos os momentos. Obrigada pelos conselhos simples que viram sabedoria para a vida inteira, pelas histórias que aquecem a memória e pela certeza de pertença que só o amor dos avós oferece.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Marcel Otávio Cerri, minha sincera gratidão pela confiança, pela leitura atenta e pelas perguntas que empurraram este trabalho para além do óbvio. Obrigada por me orientar com firmeza e respeito.

À minha segunda família, República Lolitas, que foi casa, aprendizado e abraço coletivo. Obrigada por cada mesa compartilhada, por cada madrugada virada

para estudar e por cada gargalhada que salvou o dia. Levo comigo as memórias que fizemos e a certeza de que amizade e afeto também constroem futuros.

*“Aprender é a única coisa que a mente
nunca se cansa, nunca tem medo e nunca
se arrepende.” (Leonardo da Vinci)*

RESUMO

A nanotecnologia vem redesenhando a forma como a indústria cosmética desenvolve produtos, sobretudo no segmento de dermocosméticos anti-idade, que hoje reúne alta demanda do consumidor, forte competição entre marcas e exigência crescente por eficácia demonstrável e segurança. Este trabalho apresenta uma revisão crítica do tema, articulando o contexto de mercado, marcado por um crescimento contínuo e preferência por fórmulas com comprovação instrumental, com o emprego de nanossistemas em formulações de uso tópico. Discute-se como lipossomas, nanoemulsões, nanopartículas lipídicas sólidas (SLN), carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC) e nanopartículas poliméricas têm sido incorporados para proteger ativos sensíveis, como retinoides e vitamina C, modular a liberação e favorecer a permanência local nas camadas superficiais da pele e nos óstios foliculares, elevando a probabilidade de ganhos em hidratação, melhoria da textura e elasticidade e com boa tolerabilidade. No plano industrial, o texto destaca fatores que sustentam a viabilidade competitiva dessas soluções, e métodos para assegurar reprodutibilidade de tamanho, PDI (índice de polidispersidade), potencial zeta, eficiência de encapsulação e estabilidade. Também sintetiza diretrizes regulatórias e tendências de inovação, como sistemas híbridos, escolhas de materiais mais sustentáveis, conectando-as a estratégias de posicionamento e aceitação do consumidor. Conclui-se que a nanotecnologia, entendida como ferramenta de engenharia de formulações, representa um papel central para alinhar expectativas de mercado a desempenho clínico confiável, desde que acompanhada de padronização metodológica, estudos clínicos comparáveis e práticas de produção robustas.

Palavras-chave: nanotecnologia; cosméticos; dermocosméticos; anti-idade; nanocarreadores; mercado.

ABSTRACT

Nanotechnology has been redesigning the way the cosmetic industry develops products, especially in the anti-aging dermocosmetics segment, which today brings together high consumer demand, strong competition between brands and a growing demand for demonstrable efficacy and safety. This paper presents a critical review of the theme, articulating the market context, marked by continuous growth and preference for formulas with instrumental proof, with the use of nanosystems in formulations for topical use. It is discussed how liposomes, nanoemulsions, solid lipid nanoparticles (SLN), nanostructured lipid carriers (NLC) and polymeric nanoparticles have been incorporated to protect sensitive actives, such as retinoids and vitamin C, modulate the release and favor local permanence in the superficial layers of the skin and follicular ostia, increasing the probability of gains in hydration, improvement of texture and elasticity and with good tolerability. At the industrial level, the text highlights factors that support the competitive viability of these solutions, and methods to ensure size reproducibility, PDI (Polydispersity Index), zeta potential, encapsulation efficiency, and stability. It also synthesizes regulatory guidelines and innovation trends, such as hybrid systems, more sustainable material choices, connecting them to positioning strategies and consumer acceptance. It is concluded that nanotechnology, understood as a formulation engineering tool, plays a central role in aligning market expectations with reliable clinical performance, as long as it is accompanied by methodological standardization, comparable clinical studies and robust production practices.

Keywords: nanotechnology; cosmetics; dermocosmetics; anti-aging; nanocarriers; market.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organização das Camadas da Pele e da Epiderme	21
Figura 2 – Rejuvenescedor Facial Reviline Retinol Sérum da marca Mantecorp Skincare	29
Figura 3 – Rejuvenescedor Facial Ivy C Aox Gel da marca Mantecorp Skincare	30
Figura 4 – Sérum Niacinamide B Complex 20% da marca Creamy	31
Figura 5 – Fusion water da marca ISDIN	32
Figura 6 – Fusion Fluid Mineral da marca ISDIN	33
Figura 7 – Anthelios SPF 50 Gentle Lotion Mineral Sunscreen da marca La Roche-Posay	36
Figura 8 – C-VIT Liposomal Serum da marca Sesderma	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tendências de mercado de cosméticos nanotecnológicos

39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV - Análise do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment – LCA*).

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

AP-1 - *Activator Protein-1* (fator de transcrição ligado a resposta a estresse/UV).

CMA(s) - *Critical Material Attributes* (atributos críticos de matéria-prima).

CoQ10 - Coenzima Q10 (antioxidante lipofílico).

CQA(s) - *Critical Quality Attributes* (atributos críticos de qualidade).

CPP(s) - *Critical Process Parameters* (parâmetros críticos de processo).

CPV - *Continued Process Verification* (verificação contínua do processo).

DLS - *Dynamic Light Scattering* (espalhamento dinâmico de luz; tamanho/PDI).

DoE - *Design of Experiments* (planejamento de experimentos).

EE% - Eficiência de encapsulação (percentual do ativo encapsulado).

ESG - *Environmental, Social and Governance* (critérios ambientais, sociais e governança).

FDA - *Food and Drug Administration* (EUA).

HLB - *Hydrophilic–Lipophilic Balance* (equilíbrio hidrófilo–lipófilo de tensoativos).

HPH - *High-Pressure Homogenization* (homogeneização em alta pressão).

HPLC - *High-Performance Liquid Chromatography* (cromatografia líquida de alta eficiência).

INCI - *International Nomenclature of Cosmetic Ingredients* (nomenclatura internacional de ingredientes cosméticos).

ISO - *International Organization for Standardization*.

IVPT - *In Vitro Permeation Test* (teste de permeação in vitro).

IVRT - *In Vitro Release Test* (teste de liberação in vitro).

LCA - *Life Cycle Assessment* (ver ACV).

MAPK - *Mitogen-Activated Protein Kinase* (via de sinalização celular).

MDA - *Malondialdehyde* (marcador de peroxidação lipídica).

MMP(s) - *Matrix Metalloproteinases* (metaloproteinases de matriz).

NLC - *Nanostructured Lipid Carriers* (carreadores lipídicos nanoestruturados).

PDI - *Polydispersity Index* (índice de polidispersidade).

PIT - *Phase Inversion Temperature* (temperatura de inversão de fase, nanoemulsões).

PNP(s) - *Polymeric Nanoparticles* (nanopartículas poliméricas).

QbD - *Quality by Design* (qualidade por desenho).

QTPP - *Quality Target Product Profile* (perfil-alvo de qualidade do produto).

ROS - *Reactive Oxygen Species* (espécies reativas de oxigênio).

SCCS - *Scientific Committee on Consumer Safety* (Comitê Científico de Segurança do Consumidor, UE).

SLN - *Solid Lipid Nanoparticles* (nanopartículas lipídicas sólidas).

TEWL - *Transepidermal Water Loss* (perda transepidérmica de água).

TiO₂ - Dióxido de titânio (filtro inorgânico).

UE - União Europeia.

UPLC - *Ultra-Performance Liquid Chromatography* (cromatografia líquida de ultra performance).

UV / UVA / UVB - Ultravioleta / faixas A e B da radiação.

ZnO - Óxido de zinco (filtro inorgânico).

ζ (zeta) - Potencial zeta (carga superficial coloidal).

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	METODOLOGIA	19
3.	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE NANOTECNOLOGIA	20
4.	A PELE: ORGANIZAÇÃO, BARREIRA E IMPLICAÇÕES PARA NANOSSISTEMAS	22
4.1.	ROTAS DE ENTRADA E RELEVÂNCIA PARA NANOSSISTEMAS	23
4.2.	ENVELHECIMENTO CUTÂNEO: BASES ESSENCIAIS	23
4.3.	MICROAMBIENTE CUTÂNEO E DESEMPENHO DAS FORMULAÇÕES	24
5.	A EVOLUÇÃO DA NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA COSMÉTICA	26
6.	APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA EM COSMÉTICOS	28
6.1.	NANOCARREADORES PARA ATIVOS COSMÉTICOS	28
6.2.	DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE NANOSSISTEMAS	29
6.3.	O USO DOS NANOCARREADORES NO DESENVOLVIMENTO DE COSMÉTICOS ANTI-IDADE	31
6.3.1.	Retinóides	32
6.3.2.	Vitamina C e derivados	33
6.3.3.	Peptídeos sinalizadores e niacinamida	34
6.3.4.	Fotoproteção em nanoescala	35
7.	TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE MERCADO	38
7.1.	DESAFIOS DE ESCALABILIDADE E CUSTO	40
7.1.1.	Reprodutibilidade de atributos críticos	40
7.1.2.	Estabilidade e vida útil	40
7.1.3.	Custos analíticos e regulatórios	41
7.1.4.	Processabilidade e rendimento	41
8.	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

A indústria de cosméticos ocupa uma posição de grande relevância na economia mundial, movimentando bilhões de dólares anualmente e apresentando taxas consistentes de crescimento. No Brasil, esse setor também tem destaque, colocando o país entre os maiores mercados consumidores globais, com forte presença de marcas nacionais e multinacionais (Trancoso; Osório; Jalles, 2021). Esse cenário evidencia não apenas a dimensão econômica do segmento, mas também sua relação direta com aspectos culturais, sociais e comportamentais da sociedade contemporânea.

Nos últimos anos, a nanotecnologia tem ganhado destaque na indústria cosmética por permitir o desenvolvimento de produtos mais eficazes e seguros. Essa tecnologia possibilita a criação de sistemas em escala nanométrica, capazes de proteger ingredientes sensíveis, controlar a liberação das substâncias ativas e melhorar a absorção delas nas camadas da pele (Gupta *et al.*, 2022). Tais atributos tornaram os dermocosméticos anti-idade um eixo estratégico do portfólio da área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) das empresas, com especial ênfase em plataformas lipídicas e vesiculares (Pan *et al.*, 2025; Rezaie *et al.*, 2024).

Segundo dados recentes, o mercado global de produtos anti-idade foi estimado em US\$52,44 bilhões em 2024, com projeção de alcançar US\$80,61 bilhões até 2030, o que representa um crescimento anual de cerca de 7,7% (Grand View Research, 2024a). No mesmo período, o segmento de cuidados faciais ultrapassou US\$110 bilhões, evidenciando a demanda por formulações com desempenho tecnicamente sustentado (Grand View Research, 2024b; Pan *et al.*, 2025). Embora dados de consultorias sejam úteis para dimensionar o mercado, a adoção dessas tecnologias deve se apoiar em evidências científicas e em marcos regulatórios claros.

Do ponto de vista normativo, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) disciplina o setor no Brasil por meio da RDC n.º 752/2022, atualizada em 2024, que trata de classificação, rotulagem e controle de qualidade com foco em segurança e comprovação de eficácia (Anvisa, 2022; 2024). Na União Europeia, o Regulamento (CE) n.º 1223/2009 estabelece que ingredientes em forma nano sejam identificados no rótulo e avaliados quanto à segurança antes da comercialização (European Union, 2009). Nos Estados Unidos, a FDA recomenda caracterização detalhada das nanopartículas e testes toxicológicos específicos (FDA, 2014; 2022). Em síntese, os marcos consultados convergem para avaliação de segurança, transparência e rastreabilidade como princípios orientadores da inovação com nanomateriais (Pan *et al.*, 2025; Basudkar *et al.*, 2022).

A nanotecnologia cosmética envolve o uso de estruturas muito pequenas, com dimensões entre 1 e 100 nanômetros, chamadas nanossistemas. Esses sistemas podem ser lipossomas, nanoemulsões, nanopartículas lipídicas sólidas (SLN), carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC) ou nanocápsulas poliméricas, e são projetados para aumentar a penetração de ativos na pele, reduzir irritações e aumentar a estabilidade das formulações (Viegas *et al.*, 2023). Esses avanços têm impulsionado especialmente o desenvolvimento de dermocosméticos anti-idade, que representam um dos segmentos mais promissores do mercado atual (Gupta *et al.*, 2022).

Além do aspecto tecnológico, o crescimento do mercado global de cosméticos está relacionado ao aumento da expectativa de vida e à busca por produtos com resultados cientificamente comprovados. Estimativas apontam que o setor de cosméticos nanotecnológicos deve continuar crescendo de forma constante, impulsionado pela demanda por produtos multifuncionais e sustentáveis (Fytianos *et al.*, 2020).

O crescimento do mercado de cosméticos se associa a fatores demográficos (maior expectativa de vida), comportamentais (rotinas de cuidado) e tecnológicos (formulações multifuncionais e sustentáveis), com perspectiva de expansão para produtos *nano-enabled* (Fytianos *et al.*, 2020; Singh; Abdala; Jahan, 2025). Em paralelo, o envelhecimento cutâneo é um processo multifatorial que envolve determinantes intrínsecos (genéticos e hormonais) e extrínsecos (radiação solar, poluição, estilo de vida), resultando na redução de colágeno/elastina, aumento de metaloproteinases de matriz (MMPs) e estresse oxidativo, com manifestações clínicas como rugas, flacidez e ressecamento (Shin *et al.*, 2023). Tais mecanismos justificam a busca por sistemas nano que estabilizem e entreguem antioxidantes, retinoides e peptídeos nas camadas da pele onde precisam agir. (Pan *et al.*, 2025).

No campo da Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, o desenvolvimento de cosméticos nanotecnológicos exige integração entre controle de processos, formulação e escalonamento industrial. É necessário garantir reprodutibilidade no tamanho de partícula, potencial zeta e pureza do produto, mantendo a qualidade e a estabilidade da formulação. Além disso, normas internacionais, como as diretrizes da ISO 80004, orientam a padronização de termos e parâmetros relacionados a nanomateriais, favorecendo a segurança e a transparência no setor (Ferraris *et al.*, 2021).

Ainda neste contexto, a área exige um olhar voltado tanto para a ciência dos materiais quanto para o desenvolvimento de processos produtivos. A fabricação de cosméticos nanotecnológicos requer controle rigoroso de parâmetros como tamanho das partículas, estabilidade, carga elétrica e pureza dos ingredientes. Além disso, é necessário desenvolver métodos de produção escaláveis e sustentáveis, que mantenham a qualidade e a segurança do produto (Viegas *et al.*, 2023). Consideram-se também aspectos de sustentabilidade do processo (uso de solventes verdes, eficiência energética, descarte responsável) e de ética e rotulagem transparente para nanomateriais, dada a relevância de rastreabilidade e comunicação clara ao consumidor nos mercados regulados (Pan *et al.*, 2025; Basudkar *et al.*, 2022).

A relevância deste estudo justifica-se pelo crescente interesse da indústria cosmética em desenvolver produtos com maior eficácia, segurança e inovação tecnológica, capazes de atender às demandas de um mercado altamente competitivo e em constante expansão. A nanotecnologia, nesse contexto, representa um avanço significativo, uma vez que possibilita a melhoria na absorção cutânea dos ativos, o aumento da estabilidade das formulações e o desenvolvimento de sistemas inteligentes de liberação controlada. Além disso, compreender os aspectos regulatórios, éticos e de biossegurança relacionados a essa tecnologia é essencial para garantir práticas responsáveis e sustentáveis no setor cosmético.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da nanotecnologia na indústria de cosméticos, com enfoque na formulação de dermocosméticos anti-idade. A pesquisa busca discutir o contexto de mercado, bem como os fundamentos nanotecnológicos que sustentam o desenvolvimento desses produtos. Pretende-se, assim, contribuir para o aprofundamento do conhecimento científico acerca dos avanços, limitações e perspectivas futuras dessa área, caracterizada pela interdisciplinaridade entre biotecnologia, engenharia de processos e inovação cosmética.

2. METODOLOGIA

Metodologicamente, este trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica narrativa, baseada na análise de artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos publicados nos últimos anos. As buscas foram realizadas em bases de dados especializadas, como *SciELO*, *PubMed*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*, utilizando descritores relacionados à nanotecnologia, dermocosméticos e cosméticos anti-idade. Foram selecionados estudos que abordam aspectos tecnológicos, funcionais, regulatórios e de segurança da aplicação da nanotecnologia em formulações cosméticas. A partir da sistematização e análise crítica das informações coletadas, buscou-se identificar tendências, benefícios, limitações e perspectivas futuras para o uso dessa tecnologia no setor.

3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia é considerada uma ciência multidisciplinar, pois combina fundamentos de física, química, biologia, engenharia e ciência dos materiais. Essa integração permite que sejam criadas estruturas e dispositivos com propriedades otimizadas e com potencial de aplicação em diversas áreas, como saúde, energia, agricultura, meio ambiente, eletrônica e cosméticos (European Commission, 2020).

A nanotecnologia é o campo da ciência e da engenharia que estuda, desenvolve e aplica materiais e sistemas em uma escala muito pequena, chamada escala nanométrica, que vai aproximadamente de 1 a 100 nanômetros (nm). Para efeito de comparação, um nanômetro equivale a um bilionésimo de metro. Segundo a ISO 80004-1:2023, a nanotecnologia envolve os processos usados para “pesquisar, projetar e fabricar materiais, dispositivos e sistemas” dentro dessa escala reduzida (ISO, 2023). No contexto cosmético e dermocosmético, interessam especialmente sistemas coloidais, ou nanossistemas, aplicados à pele, como lipossomas, nanoemulsões, nanopartículas lipídicas sólidas (SLN), carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC) e nanopartículas poliméricas (PNPs), empregados para proteger ativos sensíveis, controlar a liberação e otimizar a aplicação local (Pan *et al.*, 2025; Rezaie *et al.*, 2024).

Os materiais em escala nanométrica apresentam comportamentos diferentes daqueles observados em dimensões maiores. Isso se deve, principalmente, ao aumento da razão entre a área superficial e o volume, que intensifica a reatividade e as interações entre as partículas, favorece a formação de filmes oclusivos e ajustes finos de estabilidade físico-química e cinética de liberação (Basudkar *et al.*, 2022; Bhushan, 2017). Em formulações tópicas, essas características se traduzem, de forma prática, em maior retenção nas camadas superficiais e nos folículos, melhora de hidratação/oclusão e proteção contra oxidação/fotodegradação de ativos anti-idade (Pan *et al.*, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Entre as plataformas, as nanopartículas poliméricas (PNPs), por exemplo PLA, PLGA, quitosana, são valorizadas por sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e pela capacidade de encapsular compostos hidrofílicos e lipofílicos, aumentando estabilidade e biodisponibilidade (Bregni, 2020;

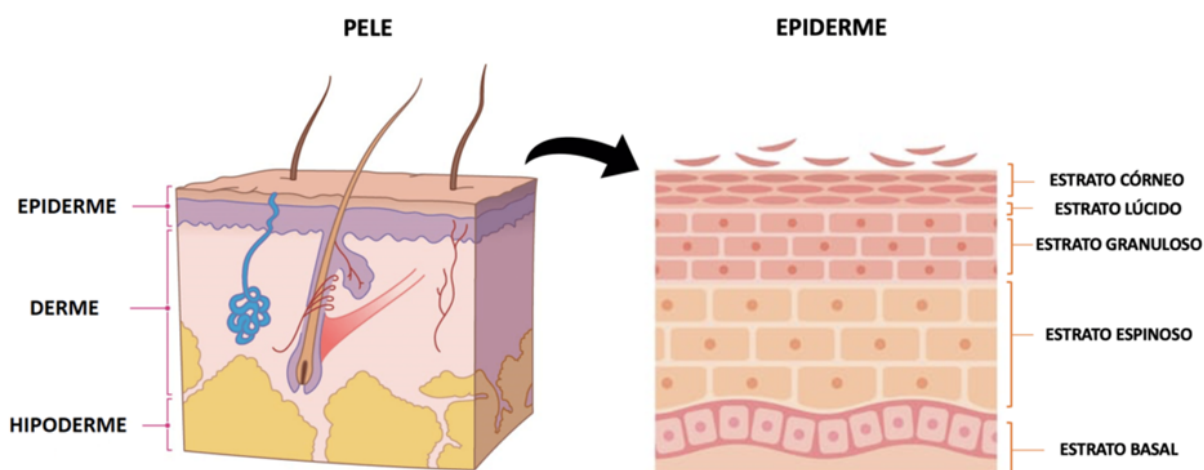
Geszke-moritz; Moritz, 2024). Contudo, em dermocosméticos, sistemas lipídicos (SLN/NLC, nanoemulsões e lipossomas) têm uso muito difundido pela aceitabilidade sensorial, hidratação e ajuste de Balanço Hidrofílico-Lipofílico (HLB) e carga superficial, atributos que impactam diretamente tamanho hidrodinâmico, eficiência de encapsulação (EE%) e estabilidade, parâmetros críticos de qualidade relevantes para desempenho e segurança (Basudkar et al., 2022; Rezaie *et al.*, 2024).

De modo geral, a nanotecnologia representa um dos maiores avanços científicos e tecnológicos das últimas décadas, por permitir o controle da estrutura da matéria em nível molecular, o que possibilita o desenvolvimento de materiais e produtos com propriedades completamente novas. Essa capacidade de manipulação em escala atômica tem impulsionado inovações em diversos setores industriais, inclusive no cosmético, em que é utilizada para aumentar a penetração, a estabilidade e a eficácia dos ingredientes ativos em produtos de cuidado com a pele. (Pan *et al.*, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

4. A PELE: ORGANIZAÇÃO, BARREIRA E IMPLICAÇÕES PARA NANOSSISTEMAS

A pele - Figura 1 - é organizada em epiderme, derme e hipoderme, além de anexos (folículos pilosos e glândulas). A epiderme atua como primeira interface com o meio externo e abriga o estrato córneo (EC), que responde pela principal barreira físico-química. A derme sustenta o tecido com fibras estruturais (colágeno e elastina), vasos e inervações; a hipoderme contribui para proteção mecânica e reserva energética. Em formulações tópicas anti-idade, essa arquitetura impõe que os sistemas de entrega priorizem ação local e tolerabilidade, em vez de aumentar a exposição sistêmica (Pan *et al.*, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Figura 1 - Organização das Camadas da Pele e da Epiderme



Fonte: Vilas Boas (2020)

O estrato córneo é frequentemente comparado ao modelo de “tijolos e cimento”, sendo estruturado como uma matriz na qual os corneócitos — células rígidas, ricas em queratina — correspondem aos “tijolos”, enquanto as lamelas lipídicas, compostas por ceramidas, colesterol e ácidos graxos, representam o “cimento”. Essa organização complexa atua como uma barreira fisiológica essencial, que regula a perda transepidérmica de água (TEWL) e restringe a penetração de substâncias externas. No contexto dos produtos anti-idade, a principal estratégia tecnológica consiste em promover a retenção dos ativos nas camadas superficiais e nos folículos, além de proteger os compostos bioativos contra a degradação e

controlar sua liberação. Esses mecanismos permitem sustentar o efeito terapêutico e aumentar a tolerabilidade cutânea (Pan *et al.*, 2025; Rezaie *et al.*, 2024; Basudkar *et al.*, 2022).

4.1. ROTAS DE ENTRADA E RELEVÂNCIA PARA NANOSSISTEMAS

A literatura descreve três principais rotas de absorção cutânea por meio das quais os ativos atingem seu local de ação:

- a) intercelular (transepidérmica): ocorre através da difusão pelos domínios lipídicos do estrato córneo, sendo favorecida por sistemas com afinidade lipídica e tamanho reduzido;
- b) transcelular: caracteriza-se pela passagem alternada por regiões hidrofílicas e lipofílicas no interior do corneócito, representando uma via menos frequente para estruturas de maior porte molecular;
- c) folicular: envolve o depósito dos ativos nos óstios foliculares e dutos das glândulas sebáceas, formando reservatórios cutâneos que possibilitam liberação gradual e prolongada. Essa rota apresenta grande relevância para nanossistemas, como nanopartículas lipídicas sólidas (SLN), sistemas lipídicos nanoestruturados (NLC), nanoemulsões e vesículas lipossomais (Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022; Rezaie *et al.*, 2024).

Assim, nanossistemas como lipossomas, nanoemulsões e nanopartículas lipídicas sólidas ou nanoestruturadas (SLN/NLC) são recorrentes em anti-idade por aliarem estabilidade, retenção local e liberação modulada (Pan *et al.*, 2025; Basudkar *et al.*, 2022; Rezaie *et al.*, 2024).

4.2. ENVELHECIMENTO CUTÂNEO: BASES ESSENCIAIS

O envelhecimento cutâneo decorre da interação entre fatores intrínsecos, relacionados à idade e às alterações hormonais, e fatores extrínsecos, relacionados a estímulos ambientais e comportamentais que aceleram alterações estruturais e funcionais da pele ao longo da vida. A radiação UV é o principal motor desse processo: aumenta a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS), ativa vias

pró-inflamatórias e eleva a expressão de metaloproteinases de matriz (MMPs), resultando em degradação de colágeno e elastina, perda de elasticidade e formação de rugas. A poluição atmosférica e hábitos de vida, como por exemplo, tabagismo e rotinas de cuidado inadequadas, reforçam o estresse oxidativo e a inflamação, contribuindo para ressecamento, aumento da perda transepidermica de água (TEWL) e textura irregular. Diante disso, as revisões destacam que estratégias tópicas eficazes combinam fotoproteção diária e ativos antioxidantes e anti-inflamatórios veiculados em nanocarreadores, como lipossomas, nanoemulsões e SLN/NLC, os quais favorecem estabilidade do ativo, retenção superficial e folicular e liberação mais controlada, melhorando desfechos instrumentais (hidratação, TEWL, elasticidade) com boa tolerabilidade (Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022; Pan, 2025; Rezaie *et al.*, 2024; Basudkar *et al.*, 2022; Singh; Abdala; Jahan, 2025).

Nesse contexto, o uso de antioxidantes, retinoides e peptídeos veiculados em nanossistemas busca proteger o ativo, direcioná-los de forma mais eficiente ao local de ação e minimizar possíveis irritações, otimizando a eficácia e a segurança dos dermocosméticos anti-idade. (Pan *et al.*, 2025; Basudkar *et al.*, 2022).

4.3. MICROAMBIENTE CUTÂNEO E DESEMPENHO DAS FORMULAÇÕES

Alguns fatores locais influenciam diretamente o desempenho dos nanossistemas aplicados topicamente:

- a) hidratação e oclusão: os sistemas lipídicos, como as nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) e os carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC), formam filmes sobre a superfície da pele que reduzem a perda transepidermica de água (TEWL) e aumentam a hidratação cutânea. Esse efeito contribui para maior conforto de uso e melhora na aparência de linhas finas (Rezaie *et al.*, 2024);
- b) estabilidade do ativo: lipossomas e matrizes lipídicas protegem compostos sensíveis, como antioxidantes e retinoides, contra oxidação e fotodegradação, preservando sua eficácia (Pan *et al.*, 2025; Basudkar *et al.*, 2022);

- c) distribuição local: o tamanho das partículas e as propriedades de superfície influenciam a retenção folicular e a interação com os lipídios do estrato córneo, favorecendo a permanência prolongada dos ativos e sua biodisponibilidade (Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

5. A EVOLUÇÃO DA NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA COSMÉTICA

A incorporação da nanotecnologia à indústria cosmética teve início na década de 1990, principalmente em produtos como filtros solares com uso de dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO) em escala nanométrica e em sistemas lipídicos de liberação controlada, que passaram a proteger ativos sensíveis e a otimizar sua aplicação, e foram os primeiros a se beneficiar da manipulação de partículas em escala nanométrica (Pan *et al.*, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Com o avanço das pesquisas, a nanotecnologia passou a ser aplicada também em formulações voltadas ao tratamento da pele e dos cabelos, visando aumentar a eficácia, a estabilidade e o tempo de ação dos ativos. Em nível global, a nanotecnologia figura entre as áreas mais inovadoras e promissoras do setor de beleza e cuidados pessoais, impulsionada pela crescente demanda por produtos de alta performance, seguros e sustentáveis.

Pesquisas recentes apontam uma tendência para o desenvolvimento de sistemas híbridos, que combinam componentes lipídicos e poliméricos, permitindo melhor liberação dos ativos e redução da irritação cutânea em substâncias como retinoides e antioxidantes (Gupta *et al.*, 2022).

No campo regulatório, a União Europeia estabeleceu normas específicas para garantir segurança e transparência no uso de nanotecnologia em cosméticos. O Regulamento (CE) nº 1223/2009 determina que ingredientes em forma nano sejam declarados na lista INCI com a indicação “nano” e submetidos à avaliações toxicológicas específicas antes da comercialização. Além disso, a Comissão Europeia mantém um catálogo público de nanomateriais empregados em cosméticos, com o objetivo de reforçar a rastreabilidade e a disponibilização de informações aos consumidores e às autoridades competentes (European Commission, 2018).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) atualizou as normas aplicáveis ao setor com a publicação da Resolução RDC nº 752/2022, que define regras para classificação, rotulagem, regularização e controle de qualidade de produtos cosméticos. Essa regulamentação inclui parâmetros específicos para o uso de tecnologias em nanoescala, alinhando o marco regulatório nacional às práticas

internacionais. Em 2024, a agência consolidou e revisou suas normas para simplificar os procedimentos de registro e adequar as exigências de segurança e eficácia de produtos contendo nanomateriais (Anvisa, 2022; Anvisa, 2024).

O cenário nacional demonstra crescimento expressivo na adoção dessas tecnologias. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC, 2024a), o Brasil ocupa a quarta posição mundial no mercado de beleza e cuidados pessoais, consolidando-se como um dos principais polos de inovação cosmética. As empresas brasileiras têm incorporado nanotecnologia em seus processos produtivos para aprimorar a eficácia, otimizar o desempenho sensorial e atender à demanda crescente por cosméticos tecnológicos e sustentáveis.

Além do avanço científico e industrial, observa-se uma tendência crescente de sustentabilidade na nanotecnologia cosmética, com o uso de biopolímeros biodegradáveis, redução de solventes orgânicos e desenvolvimento de processos produtivos de menor consumo energético. Essas práticas visam minimizar impactos ambientais e garantir maior segurança ao consumidor (Ferraris *et al.*, 2021). A combinação entre inovação tecnológica e responsabilidade ambiental tem fortalecido o posicionamento das marcas e elevado o valor agregado dos produtos desenvolvidos com nanotecnologia.

Em síntese, a evolução da nanotecnologia na indústria cosmética reflete a integração entre ciência, mercado e regulação, em um contexto que prioriza transparência, segurança e eficácia. No cenário internacional, o foco recai sobre a padronização e o controle de riscos; enquanto, no Brasil, o principal desafio consiste em ampliar a pesquisa aplicada e assegurar o uso seguro e responsável dessas tecnologias, mantendo o país entre os líderes em inovação cosmética.

6. APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA EM COSMÉTICOS

6.1. NANOCARREADORES PARA ATIVOS COSMÉTICOS

A nanotecnologia tem sido amplamente utilizada na indústria cosmética para aprimorar a eficácia e a estabilidade das formulações, permitindo a liberação controlada de ingredientes ativos e o aumento da penetração cutânea. Essa tecnologia possibilita o encapsulamento de substâncias sensíveis, protegendo-as da oxidação, da luz e da umidade, o que prolonga sua ação e reduz possíveis reações adversas. As partículas em escala nanométrica favorecem maior adesão à pele, ampliam o tempo de ação do ativo e proporcionam resultados mais uniformes na pele, especialmente em produtos com finalidade hidratante, protetora e anti-idade (Ferraris *et al.*, 2021).

Entre as principais tecnologias utilizadas na cosmética moderna destacam-se as nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) e os carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC), que consistem em matrizes formadas por lipídios sólidos ou pela combinação de lipídios sólidos e líquidos. Esses sistemas são capazes de reter compostos ativos e liberá-los de forma gradual, aumentando sua estabilidade e eficiência. Essa característica promove maior retenção cutânea e melhor aproveitamento de ingredientes sensíveis, como retinoides, coenzima Q10 e vitamina E, resultando em formulações mais seguras e eficazes (Viegas *et al.*, 2023).

Outra importante classe de nanocarreadores são os lipossomas, vesículas esféricas constituídas por uma ou mais bicamadas fosfolipídicas capazes de encapsular simultaneamente ingredientes hidrofílicos (no núcleo aquoso) e lipofílicos (na bicamada). Essa estrutura favorece uma boa estabilidade, proteção contra degradação e entrega cutânea mais eficiente. Revisões recentes apontam que os lipossomas melhoram a retenção cutânea por interação com os lipídios do estrato córneo, ampliam a biodisponibilidade tópica e potencializam a eficácia de formulações anti-idade, hidratantes e fotoprotetoras, ao reduzir a volatilização e a oxidação de ativos sensíveis (Huang *et al.*, 2024).

As nanopartículas poliméricas e nanocápsulas também têm ganhado relevância nas formulações de cosméticos avançados. Constituídas por polímeros biodegradáveis e biocompatíveis, como o ácido polilático (PLA), o copolímero de

ácido láctico e glicólico (PLGA) e a quitosana, permitem encapsular ingredientes ativos de forma estável e controlada. Esses sistemas oferecem alta eficiência de encapsulação, liberação prolongada e melhor penetração cutânea, sendo amplamente estudados para uso em produtos contendo vitamina C, niacinamida, resveratrol e ácido hialurônico, substâncias reconhecidas por seu potencial antioxidante e regenerador da pele (Geszke-moritz; Moritz, 2024).

No campo da fotoproteção, o uso de nanopartículas inorgânicas, como o dióxido de titânio e o óxido de zinco, constitui uma das aplicações mais consolidadas. Quando reduzidas à escala nanométrica, essas partículas tornam-se transparentes sobre a pele, mantendo a capacidade de refletir e dispersar a radiação ultravioleta (UV), sem deixar resíduos esbranquiçados. O Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS) da União Europeia considera o uso dessas nanopartículas seguro em concentrações apropriadas, desde que as formulações evitem exposição por inalação, como em sprays e aerossóis (SCCS, 2022).

De maneira geral, a nanotecnologia aplicada à indústria cosmética tem possibilitado o desenvolvimento de produtos mais eficazes, estáveis e seguros, capazes de oferecer resultados perceptíveis e sustentados. Essa integração entre biotecnologia, ciência de materiais e engenharia química representa uma das principais transformações do setor, promovendo cosméticos com maior desempenho e alinhamento às exigências de segurança e regulações internacionais.

6.2. DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE NANOSSISTEMAS

O desenvolvimento de nanossistemas dermocosméticos parte de dois pilares: fundamentos da nanotecnologia e engenharia de processos. Do lado conceitual, a relação de área superficial por volume, os efeitos de escala e as rotas de fabricação do tipo *bottom-up* (auto-organização a partir de unidades moleculares) e *top-down* (redução mecânica de tamanho) explicam por que e como surgem nanopartículas estáveis, e essa base é bem delineada nas introduções clássicas de nanotecnologia (Embrapa, 2022). Do lado prático, traduzimos esses princípios em atributos críticos de qualidade (CQAs), como tamanho hidrodinâmico, PDI, potencial zeta (ζ), eficiência de encapsulação (EE%), perfil de liberação, pH e estabilidade, e escolhemos matérias-primas e parâmetros de processo capazes de manter esses

atributos em faixas que se conectam a desfechos clínicos eficientes (hidratação/TEWL, elasticidade e textura) e com boa tolerabilidade (Pan, 2025; Basudkar *et al.*, 2022; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

O ciclo começa pela definição do perfil de qualidade alvo do produto (QTPP), ou seja a forma cosmética, faixa de tamanho (100–200 nm), $PDI \leq 0,25$, ζ suficientemente negativo ou positivo para estabilidade, EE% mínima e comportamento de liberação compatível com uso diário. Em seguida, mapeiam-se atributos críticos do material (CMAs), como tipo de lipídio, fosfolipídio ou polímero, mistura de tensoativos e Equilíbrio Hidrofílico-Lipofílico (HLB), antioxidantes ou quelantes, grau de pureza. Então mapeia-se os parâmetros críticos do processo (CPPs), como pressão e número de passes na homogeneização em alta pressão (HPH) ou microfluidização, energia e tempo de ultrassom, temperatura e curva de resfriamento, ordem de adição e taxa de cisalhamento. Com o planejamento experimental (DoE), modela-se a relação de causa e efeito e define-se o espaço de desenho (faixas operacionais seguras) que garantem CQAs estáveis com reprodutibilidade de lote (Basudkar *et al.*, 2022; Pan, 2025). A execução se completa com a estratégia de controle (controles em processo, DLS pós HPH, pH e viscosidade) e a verificação contínua, reduzindo variações e custos de não-qualidade.

Lipossomas são sistemas formados segundo um modelo *bottom-up*, no qual lipídios e tensoativos auto-organizam-se em bicamadas ao entrarem em contato com a água. Os métodos mais empregados para sua obtenção incluem a hidratação de filme lipídico, em que o solvente é evaporado e o filme resultante é posteriormente hidratado com uma fase aquosa, e a injeção de solvente. Depois disso, passa por sonicação ou microfluidização, que reduzem o tamanho e estreitam o PDI. A composição (fosfolipídio, colesterol, co-tensoativos) e a temperatura acima da transição de fase definem o tamanho, PDI, ζ e EE%. O resultado típico é proteção contra oxidação e fotodegradação (retinoides, derivados de vitamina C) e liberação mais estável, favorecendo deposição superficial e folicular com sensorial agradável (Embrapa, 2022; Pan, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Nanoemulsões podem seguir o modelo *top-down* (HPH, microfluidização ou ultrassom) ou rotas de baixa energia (inversão de fase), dependendo da sua

composição. O HLB da mistura de tensoativos, a fração oleosa, a viscosidade e a energia específica determinam tamanho, PDI e resistência à coalescência. São veículos ideais para ativos lipofílicos (retinoides, CoQ10), combinando a liberação sustentada pela fase oleosa com acabamento leve (Basudkar *et al.*, 2022; Pan, 2025).

Para as nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) e os carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC) o modelo a seguir seria top-down com solidificação controlada. Em SLN, todo o lipídio é sólido em temperatura ambiente, já em NLC, mistura-se sólido e líquido para criar “imperfeições” que aumentam a capacidade de carga e melhoram a liberação. O processo típico é hot-HPH (pré-emulsão quente seguida de homogeneização de alta pressão e finalizada com resfriamento controlado) ou cold-HPH (homogeneização de alta pressão a frio) para ativos termo-sensíveis. A razão sólido líquido, tipo e percentual de tensoativo, pressão e curva de resfriamento regulam o tamanho, PDI, ζ , EE% e perfil de liberação. O filme lipídico gera oclusão e redução de TEWL, muito úteis para tratamentos anti-idade (Embrapa, 2022; Basudkar *et al.*, 2022; Pan, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Nanopartículas poliméricas (PNPs), utilizam principalmente o método bottom-up, por nanoprecipitação, onde o polímero ou ativo em solvente miscível gotejado em água ou anti-solvente, ou emulsão–evaporação de solvente, onde o polímero é adicionado em solvente imiscível que é emulsificado e depois evaporado. A concentração de polímero e ativo, razão de fases, taxa de mistura e tipo de tensoativo determinam o tamanho, PDI, EE% e liberação. A remoção de solventes, pureza e estabilidade são essenciais, mantendo a biocompatibilidade e o foco na ação local (Embrapa,2022; Basudkar *et al.*, 2022).

6.3. O USO DOS NANOCARREADORES NO DESENVOLVIMENTO DE COSMÉTICOS ANTI-IDADE

De forma geral, quando os ativos anti-idade são veiculados em nanocarreadores (lipossomas, nanoemulsões, SLN/NLC, nanopartículas poliméricas), observa-se maior estabilidade do ingrediente, melhor permanência nas camadas superficiais e nos folículos e liberação mais controlada. Esses fatores costumam se traduzir em ganhos de hidratação/TEWL, melhora de textura e

elasticidade e melhor tolerabilidade em comparação às formas livres dos ativos (Pan, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022; Basudkar *et al.*, 2022; Rezaie *et al.*, 2024).

6.3.1. Retinóides

Os retinóides (retinol, retinaldeído e ésteres) são eficazes, mas instáveis e podem causar irritação na pele. O encapsulamento em lipossomas, SLN/NLC ou nanoemulsões ajuda a proteger da luz e oxidação, reduz picos de liberação e favorece retenção local com menor desconforto (epiderme e óstios foliculares) (Pan, 2025; Basudkar *et al.*, 2022).

Em ensaios relatados nas revisões, é possível notar a redução de linhas finas e melhora de textura e elasticidade com o uso de retinoides nanoencapsulados, muitas vezes acompanhadas de mais hidratação quando se empregam sistemas lipídicos (Rezaie *et al.*, 2024; Pan, 2025).

Para o desenvolvimento de cosméticos com retinóides, recomenda-se manter tamanho controlado, PDI baixo e potencial zeta adequado, além de rotas de processo reprodutíveis. Em pele saudável, busca-se efeito local, sem aumentar a exposição sistêmica (Basudkar *et al.*, 2022; Pan, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Um exemplo de aplicação de Retinol e retinóides veiculados em nanossistemas é o Rejuvenescedor Facial Reviline Retinol Sérum da marca Mantecorp Skincare - Figura 2 -, que é composto por Retinol e Retiopnato nanoencapsulados, o que diminui a possibilidade de irritação, melhora a absorção cutânea e promove uma liberação controlada do ativo nas camadas da pele.

Figura 2 - Rejuvenescedor Facial Reviline Retinol Sérum da marca Mantecorp Skincare



Fonte: Mantecorp Skincare (2024)

6.3.2. Vitamina C e derivados

A vitamina C (ácido ascórbico) é muito instável em meio aquoso e sensível à oxidação; derivados, como por exemplo, derivados lipofílicos ou fosfatos, melhoram estabilidade, mas ainda se beneficiam de carreadores nano para proteger, trafegar em meio lipídico e otimizar a entrega local (Basudkar *et al.*, 2022; Pan, 2025).

Revisões relatam o aumento de hidratação (corneometria), redução de TEWL e melhoras em uniformidade e viço da pele quando a vitamina C (ou seus derivados) é encapsulada em lipossomas, nanoemulsões ou SLN/NLC, o que se relaciona à estabilidade superior e à liberação sustentada na epiderme (Rezaie *et al.*, 2024; Pan, 2025).

A encapsulação tende a reduzir a irritabilidade em comparação a soluções livres, desde que se mantenham atributos críticos (tamanho reduzido, PDI baixo, ζ adequado) e veículos não aerossolizados (Basudkar *et al.*, 2022; Pan, 2025; Singh; Abdala; Jahan, 2025).

Um exemplo de aplicação de Vitamina C veiculada em nanossistemas é o gel rejuvenescedor facial Ivy C Aox - Figura 3 - da marca Mantecorp Skincare, que é

composto por vitamina C nanoencapsulada, o que confere maior estabilidade e melhora a permeação cutânea, potencializando a ação antioxidante (Mantecorp Skincare, 2024).

Figura 3 - Rejuvenescedor Facial Ivy C Aox Gel da marca Mantecorp Skincare



Fonte: Mantecorp Skincare (2024)

6.3.3. Peptídeos sinalizadores e niacinamida

Peptídeos sinalizadores e niacinamida atuam na barreira cutânea, na hidratação e em mecanismos celulares ligados ao estresse oxidativo e à qualidade da matriz. Em nanossistemas, busca-se a proteção contra degradação, melhor distribuição superficial e folicular e liberação mais estável, impactando diretamente as linhas finas, melhorando a elasticidade e deixando a pele mais uniforme (Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022; Pan, 2025).

As revisões apontam ganhos consistentes em hidratação e TEWL quando peptídeos e niacinamida são veiculados em sistemas lipídicos (efeito oclusivo somado a liberação controlada), além de fornecer uma melhoria no sensorial e na adesão do produto por reduzir a irritabilidade (Rezaie *et al.*, 2024; Pan, 2025).

O uso de tamanhos controlados e composições biocompatíveis favorece o uso diário com efeitos adversos mínimos, reforçando a orientação de ação local (Basudkar *et al.*, 2022; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Um exemplo de aplicação de Niacinamida veiculada em nanossistemas é Sérum Niacinamide B Complex 20% da marca Creamy - Figura 4 - , que utiliza uma tecnologia de tripla entrega da niacinamida, combinando sua forma livre com a nanoencapsulada e em bicossomas para garantir a atuação do ativo em diferentes camadas da pele, melhor absorção do ativo e sua liberação controlada para efeito prolongado (Creamy Skincare, 2023).

Figura 4 - Sérum Niacinamide B Complex 20% da marca Creamy



Fonte: Creamy Skincare (2024)

6.3.4. Fotoproteção em nanoescala

Os raios UV são um dos principais promotores do fotoenvelhecimento via espécies reativas de oxigênio (ROS), que promove estresse oxidativo e a ativação de metaloproteinases da matriz (MMPs), que degradam colágeno e outros componentes estruturais. Por isso, a fotoproteção é o componente central de qualquer estratégia anti-idade (Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022).

Em fotoprotetores, o uso de TiO_2/ZnO é relatado para elevar a proteção contra raios UVA e UVB e melhorar o acabamento do cosmético, deixando seu efeito na pele menos esbranquiçado, e mantendo sua ação na superfície da pele. Quando formulados em bases não aerossolizadas, alinham-se a práticas de segurança e

transparência, com rotulagem adequada do ingrediente em nano quando aplicável (Pan, 2025; Singh; Abdala; Jahan, 2025).

As revisões colocam a fotoproteção como elo direto com desfechos anti-idade, pois ao reduzir a carga de raios UV, diminuem-se ROS e metaloproteinases, o que preserva o colágeno e a elastina e retarda rugas e flacidez, além de preservar a hidratação e a textura da pele. (Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022; Pan, 2025; Rezaie *et al.*, 2024).

É importante enfatizar uso tópico em pele saudável, aplicação superficial e que a embalagem apresente a comunicação regulatória, incluindo indicação de forma nano quando exigida, como pilares para adaptação e uso contínuo (Singh; Abdala; Jahan, 2025; Pan, 2025; Basudkar *et al.*, 2022).

A marca ISDIN utiliza essa tecnologia em alguns de seus produtos, a textura ultraleve e de absorção imediata de seus protetores solares *Fusion Water* e *Fusion Fluid* é o resultado direto da aplicação da nanotecnologia na formulação, especificamente por meio da criação de sistemas de microemulsão de fase aquosa (ISDIN, 2025a).

A elevada cosmetividade da linha *Fusion Water* - Figura 5 - é atribuída à sua natureza de fase aquosa e à formulação em microemulsão, um nanossistema que garante a absorção imediata e a eliminação do resíduo oleoso, mesmo com alta concentração de filtros (ISDIN, 2025b).

Figura 5 - Fusion water da marca ISDIN



Fonte: ISDIN (2025b)

Protetores solares minerais de última geração, como o Fusion Fluid Mineral - Figura 6 -, garantem a proteção de amplo espectro ao mesmo tempo em que eliminam o resíduo esbranquiçado pelo uso de filtros como o Zinc Oxide [nano] e o Titanium Dioxide [nano], o que demonstra a aplicação direta da nanotecnologia para melhoria da cosmetecidade (DROGASIL, 2025; DROGA RAIA, 2025).

Figura 6 - Fusion Fluid Mineral da marca ISDIN



Fonte: ISDIN (2025c)

7. TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE MERCADO

As inovações em dermocosméticos anti-idade evoluem em duas direções principais:

- a) nanocarreadores mais estáveis e toleráveis: Lipossomas, nanoemulsões e carreadores lipídicos (SLN/NLC), como nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) e carreadores lipídicos nanoestruturados (NLC), têm sido empregados para proteger ativos sensíveis como retinóides e antioxidantes da oxidação e da exposição à luz. Esses sistemas também reduzem o potencial de irritação e favorecem a liberação mais lenta na superfície da pele e nos folículos. O objetivo é alcançar um efeito local mais intenso, com menos efeitos adversos (Pan *et al.*, 2025; Sharma; Kuhad; Bhandari, 2022; Basudkar *et al.*, 2022; Rezaie *et al.*, 2024);
- b) foco em sustentabilidade e segurança: Há um movimento crescente quanto à utilização de biopolímeros e lipídios de origem renovável, aliado à redução do uso de solventes orgânicos e à adoção de rotulagem mais transparente para ingredientes em forma nano (por exemplo, TiO_2 e ZnO em fotoprotetores). As revisões recentes reforçam a importância de não utilizar nanopartículas em formulações em spray ou aerossóis, devido ao risco de inalação, além de recomendar avaliações contínuas de segurança e rastreabilidade (Singh; Abdala; Jahan, 2025; Basudkar *et al.*, 2022; Pan *et al.*, 2025).

Diversas marcas de cuidados com a pele utilizam a nanotecnologia, tanto grandes marcas quanto menores. Alguns exemplos de produtos comercializados:

- a) fotoproteção mineral com TiO_2/ZnO em escala nano (La Roche-Posay/ Grupo L'Oréal): A L'Oréal informa o uso de dióxido de titânio [nano] e óxido de zinco [nano] quando esses ingredientes melhoram o desempenho e a estética da formulação, garantindo conformidade com a rotulagem “[nano]” conforme a regulamentação, e evitando o uso em aerossóis. A empresa baseia-se em pareceres do *Scientific Committee on Consumer Safety* (SCCS), que atestam a segurança desses

ingredientes em produtos não inaláveis (L'oréal, 2020; Comissão Europeia, 2014, 2020). O produto “Anthelios Mineral SPF 50 Gentle Lotion Sunscreen” - Figura 7 - para o rosto, tem como ingrediente ativo o TiO_2 (e, em algumas versões, também ZnO) – o que exemplifica o uso de filtros minerais em sua forma nano por marcas de grande porte (la roche-posay, 2020);

Figura 7 - Anthelios SPF 50 Gentle Lotion Mineral Sunscreen da marca La Roche-Posay



Fonte: La Roche-Posay (2020)

- b) vitamina C encapsulada em lipossomas (Sesderma, linha C-VIT): A marca declara empregar lipossomas de aproximadamente 100 nm para encapsular ativos e ampliar sua penetração e estabilidade. A linha *C-VIT Liposomal* é descrita como composta por “ativos encapsulados em lipossomas para maior eficácia”, evidenciando o uso estratégico da nanotecnologia na potencialização da ação antioxidante (Sesderma, 2020a; Sesderma, 2020b).

Figura 8 - *C-VIT Liposomal* Serum da marca Sesderma



Fonte: Sesderma (2020b)

7.1. DESAFIOS DE ESCALABILIDADE E CUSTO

A transição de um protótipo de bancada para produção em escala industrial impõe desafios técnicos, econômicos e regulatórios que devem ser considerados desde as etapas iniciais de desenvolvimento.

7.1.1. Reprodutibilidade de atributos críticos

Em larga escala, é essencial garantir a consistência de parâmetros tais quais o tamanho de partícula, índice de polidispersidade (PDI), potencial zeta (ζ), eficiência de encapsulação e perfil de liberação. Para isso, recomenda-se o controle rigoroso do processo (microfluidização, alta pressão ou ultrassom), formulações robustas e a aplicação de metodologias de *Quality by Design* (QbD), que minimizam variações entre lotes (Basudkar *et al.*, 2022; Rezaie *et al.*, 2024).

7.1.2 Estabilidade e vida útil

A prevenção de fenômenos como coalescência, crescimento de partícula e oxidação requer o uso de antioxidantes compatíveis, embalagens protetoras e, em alguns casos, processos a frio. Tais medidas elevam o custo e a complexidade operacional, mas são essenciais para garantir a estabilidade do produto ao longo do tempo (Pan *et al.*, 2025; Rezaie *et al.*, 2024).

7.1.3. Custos analíticos e regulatórios

O uso de matérias-primas de alto grau de pureza, como fosfolipídios, lipídios e polímeros grau cosmético, e as análises necessárias, como *Dynamic Light Scattering* (DLS), potencial zeta, cromatografia líquida (HPLC/UPLC) e estudos de estabilidade, representam despesas significativas. Além disso, a conformidade regulatória, incluindo a rotulagem “[nano]”, demanda documentação técnica e prazos adicionais (Basudkar *et al.*, 2022; Singh; Abdala; Jahan, 2025; Pan *et al.*, 2025).

7.1.4. Processabilidade e rendimento

Rotas industriais como homogeneização em alta pressão e microfluidização exigem investimento em equipamentos e validação contínua. A perda de rendimento, resultante de baixa eficiência de encapsulação ou etapas de purificação complexas, aumenta o custo por quilograma de produto (Rezaie *et al.*, 2024; Basudkar *et al.*, 2022).

Existem algumas estratégias que podem ser utilizadas para minimizar os custos e facilitar a escala industrial de nanocarreadores, recomenda-se adotar QbD desde o início, com definição de *design space* para parâmetros críticos e planos de controle, reduzindo variação lote a lote (Basudkar *et al.*, 2022); optar por composições simplificadas e por excipientes com cadeia de suprimentos estável, minimizando riscos de preço e disponibilidade (Singh; Abdala; Jahan, 2025); escolher deliberadamente a rota de processo (p. ex., microfluidização/homogeneização em alta pressão) visando rendimento e replicabilidade (Rezaie *et al.*, 2024); e planejar estudos de estabilidade (acelerada e em tempo real), além de embalagem compatível com o mecanismo do sistema, para preservar desempenho ao longo da vida de prateleira (Pan *et al.*, 2025).

Os exemplos mencionados anteriormente ilustram esses princípios. Os séruns lipossomais da Sesderma (C-VIT) representam uma solução eficiente para estabilização e entrega da vitamina C, enquanto os fotoprotetores minerais da La Roche-Posay (Grupo L’Oréal) demonstram o equilíbrio entre desempenho da formulação, segurança e conformidade regulatória (Sesderma, 2020a; Sesderma, 2020b; L’oréal, 2020; Comissão Europeia, 2014, 2020).

Na Tabela 1, são apresentadas as principais tendências de mercado de cosméticos nanotecnológicos, acompanhadas de suas justificativas de uso, implicações para pesquisa e desenvolvimento (P&D) e exemplos representativos de ativos e de aplicação.

Tabela 1 - Tendências de mercado de cosméticos nanotecnológicos

Tendência	Razão/Objetivo	Implicações para P&D	Exemplos de sistemas/ativos	Referências
Sistemas responsivos (pH/ROS/enzimas)	Modular liberação conforme o microambiente; reduzir picos irritativos	Mapeamento de gatilhos dos sistemas; liberação in vitro; tolerabilidade	Lipossomas/PNPs; retinoides, antioxidantes	Sharma; Kuhad; Bhandari (2022); Pan (2025)
Híbridos lipídico–poliméricos e lipossomas otimizados	Unir estabilidade, oclusão/hidratação e proteção do ativo	Design de composição (lipídios+tensoativos+polímeros) e QbD	SLN/NLC + lipossomas; vitamina C, CoQ10	Rezaie <i>et al.</i> (2024); Pan (2025); Basudkar <i>et al.</i> (2022)
Foco em retenção local e reserva folicular	Ação superficial/óstio folicular; segurança por desenho (<i>safe by design</i>)	Mapear distribuição cutânea; evitar narrativa de penetração profunda	Nanoemulsões, SLN/NLC; retinoides, polifenóis	Sharma; Kuhad; Bhandari (2022); Rezaie <i>et al.</i> (2024)
Sustentabilidade e materiais ‘verdes’	Reduzir solventes e usar biopolímeros/lipídios renováveis	Avaliar LCA/ACV, fornecedores e rotulagem transparente	PNPs biodegradáveis; derivados de vitamina C	Basudkar <i>et al.</i> (2022); Singh; Abdala; Jahan (2025)

Engenharia de estabilidade e embalagem funcional	Evitar coalescência/Ostwald/oxidação; manter o prazo de validade	Estudos acelerados; antioxidantes compatíveis; embalagem protetora	SLN/NLC; CoQ10, retinoides	Rezaie <i>et al.</i> (2024); Pan (2025)
Escalonamento com QbD e analítica avançada	Reprodutibilidade (tamanho, PDI, ζ , EE%) e custo competitivo	HPH/microfluidização; DLS, ζ -potential, HPLC/UPLC; controle de processo	SLN/NLC, lipossomas, PNPs	Basudkar <i>et al.</i> (2022); Rezaie <i>et al.</i> (2024)
Integração 'ativo + veículo' como proposição clínica	Sinergia de ativos e veículo para efeito percebido e instrumental	Combinações racionais (retinoide + antioxidante); liberação modulada	Lipossomas/SLN; retinol + vitamina C	Pan (2025); Rezaie <i>et al.</i> (2024)
Formatos alinhados à segurança regulatória	Evitar inalação; aceitação regulatória e do consumidor	Preferir cremes/loções; rotulagem [nano] quando aplicável	TiO ₂ /ZnO nano em cremes; veículos não aerossolizados	Basudkar <i>et al.</i> (2022); Singh; Abdala; Jahan (2025); Pan (2025)
Design centrado no sensorial e boa adesão dos usuários	Toque, espalhabilidade e acabamento compatíveis com uso diário	Ajustar reologia, tamanho e fase externa; testes de consumidor	Nanoemulsões de baixa viscosidade; peptídeos / niacinamida	Rezaie <i>et al.</i> (2024); Pan (2025)

Fonte: Elaborado pela autora.

O tema proposto justifica-se pela relevância científica, tecnológica e econômica dos dermocosméticos anti-idade no cenário atual da indústria cosmética, segmento em crescimento contínuo e marcado por alta exigência de eficácia e segurança. A nanotecnologia, tratada como ferramenta de engenharia de

formulações, oferece meios concretos para proteger ativos instáveis, modular a liberação e favorecer a retenção local nas camadas superficiais da pele, conectando escolhas de processo a desfechos clínicos mensuráveis. Do ponto de vista acadêmico e formativo, o estudo integra fundamentos de bioprocessos, ciência de materiais e controle de qualidade, aproximando teoria e prática por meio de conceitos como atributos críticos de qualidade, planejamento de experimentos e qualidade por desenho, pertinentes à formação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Do ponto de vista setorial, a revisão crítica consolida evidências, identifica lacunas metodológicas (padronização de endpoints e de métodos de deposição) e discute escalabilidade e custo, aspectos decisivos para a translação do laboratório à produção. A vinculação do trabalho ao estágio profissional amplia sua pertinência aplicada, ao alinhar necessidades reais de desenvolvimento e posicionamento de produtos às diretrizes regulatórias e às expectativas do consumidor quanto à transparência e desempenho. Assim, o estudo contribui para a tomada de decisão em P&D e para a comunicação técnica responsável, oferecendo um referencial atualizado para projetos de formulação, validação e escala em dermocosméticos anti-idade baseados em nanotecnologia.

8. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura analisada mostra que a nanotecnologia trouxe avanços concretos para o desenvolvimento de dermocosméticos anti-idade. Em especial, os nanocarreadores (lipossomas, nanoemulsões, SLN/NLC e PNPs) ajudam a proteger ativos instáveis, a liberar ingredientes de forma controlada e a permanecer nas camadas superficiais e nos óstios foliculares, onde de fato precisam agir. Na prática, esses fatores resultam em maior hidratação, menor TEWL, melhoria na textura e elasticidade, mantendo boa tolerabilidade quando usados topicamente em pele saudável.

Ao comparar as quatro revisões principais, observa-se um ponto de convergência: os melhores resultados e benefícios são obtidos quando o foco não está na “penetração profunda” dos ativos, mas sim em uma entrega local estrategicamente planejada. Em outras palavras, a retenção controlada do ativo na superfície e nas camadas epidérmicas, com liberação gradual, tende a minimizar picos de irritação e prolongar os efeitos desejados. Esse entendimento direciona a atenção para atributos críticos de qualidade, como tamanho molecular, índice de polidispersidade (PDI), potencial zeta e eficiência de encapsulamento (EE%), além de ressaltar a importância de processos consistentes e reproduzíveis, conforme preconiza a abordagem *Quality by Design* (QbD).

Em paralelo, a análise sob a perspectiva de materiais e mercado evidencia dois eixos centrais: fotoproteção e transparência. Nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) e óxido de zinco (ZnO), por exemplo, podem potencializar a proteção contra radiação ultravioleta (UV) e melhorar o acabamento sensorial e estético dos cosméticos na pele, desde que utilizadas em formatos não aerossolizados e

acompanhadas de rotulagem adequada quando em forma nano. Essa abordagem reforça os princípios de segurança por concepção (*safe by design*) e fortalece a confiança do consumidor.

Entretanto, persistem limitações significativas que dificultam a conversão de resultados positivos de estudos isolados em padrões de evidência reproduzíveis. Entre os principais desafios, destacam-se a falta de padronização metodológica, como o uso de protocolos distintos de retenção cutânea e a variação dos equipamentos empregados para mensuração de parâmetros como hidratação, perda transepidermica de água (TEWL), rugas e elasticidade. Além disso, observa-se a escassez de ensaios clínicos comparativos e robustos, com duração suficiente para validar efeitos sustentados. Essas lacunas comprometem a comparabilidade entre diferentes formulações, marcas e tipos de carreadores, dificultando a consolidação de evidências científicas consistentes para o setor.

Do ponto de vista de desenvolvimento e escala industrial, os desafios mais frequentes são: manter reprodutibilidade dos atributos críticos em produção, garantir estabilidade físico-química, evitar crescimento de partícula, coalescência e oxidação, qualificar cadeias de suprimento de excipientes e cumprir a carga analítica e regulatória necessária. O QbD, com espaço de projeto bem definido e planos de controle, é a estratégia recomendada para reduzir variações a cada lote.

Para a prática dermocosmética, a melhor síntese é simples: associar fotoproteção diária a ativos nanoencapsulados, por exemplo, retinoides (remodelagem e textura), vitamina C e derivados (estabilidade antioxidante, brilho e viço) e niacinamida (barreira e hidratação). A preferência por sistemas estáveis, de uso tópico e bem tolerados aumenta a adesão e melhora a experiência do usuário, além de trazer resultados promissores quando utilizados de maneira correta e na frequência adequada.

Como direções futuras, recomenda-se: adotar QbD desde o início, com metas claras para tamanho, PDI, ζ , EE% e perfil de liberação, escolher o tipo de carreador pelo mecanismo do ativo e pelo desfecho clínico desejado, padronizar métodos de análise e mensuração (Corneometer, TEWL, cutometria, perfilometria 3D) e protocolos de deposição, integrar sustentabilidade de forma mensurável (materiais,

processo e embalagem) e priorizar formatos não aerossolizados e comunicação transparente de rotulagem quando houver nano.

Em síntese, a nanotecnologia pode ser considerada uma das melhores ferramentas da engenharia de formulações quando o objetivo final é gerar benefício clínico real, seguro e perceptível. Porém precisa ser muito bem especificado e controlado, pois assim aumenta a probabilidade de eficácia com segurança em dermocosméticos anti-idade. O avanço do campo dependerá menos de novos nomes de carreadores e mais de uma boa ciência de formulação, ensaios clínicos comparáveis e escala industrial sustentável e transparente. Com essas condições, a área tende a evoluir de promessas fragmentadas para benefícios reproduzíveis, sustentados por métricas objetivas e aceitos por reguladores e consumidores.

Em síntese, a nanotecnologia consolida-se como uma das principais ferramentas da engenharia de formulações, especialmente quando o objetivo é promover benefícios clínicos reais, seguros e perceptíveis. No entanto, sua aplicação requer especificidade e controle rigoroso dos parâmetros de desenvolvimento, de modo a aumentar a probabilidade de eficácia com segurança em dermocosméticos anti-idade. O avanço do campo, portanto, dependerá menos da criação de novos tipos de carreadores e mais do fortalecimento de uma ciência de formulação sólida, apoiada em ensaios clínicos comparáveis, processos reprodutíveis e escalas industriais sustentáveis e transparentes. Sob essas condições, a área tende a evoluir de promessas pontuais para resultados consistentes, respaldados por métricas objetivas e aceitos tanto por órgãos reguladores quanto pelos consumidores.

REFERÊNCIAS

- ABIHPEC. **A Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos: Panorama do Setor** (ago. 2024). São Paulo: Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos, 2024a. Disponível em: https://abihpec.org.br/site2019/wp-content/uploads/2024/02/Panorama_do_Setor_Atualizado_12.08.24_Port_Nova.pdf. Acesso em: 9 set. 2025.
- ANVISA. **Resolução RDC n.º 752, de 19 de setembro de 2022**. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022. Disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=449665>. Acesso em: 9 set. 2025.
- ANVISA. **Anvisa revisa e consolida normas das áreas de cosméticos e saneantes**. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2024/anvisa-revisa-e-consolida-normas-das-areas-de-cosmeticos-e-saneantes>. Acesso em: 9 set. 2025.
- BASUDKAR, V. *et al.* A Review of Anti-Aging Nanoformulations: Recent Developments in Excipients for Nanocosmeceuticals and Regulatory Guidelines. **Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems**, v. 39, n. 3, p. 45–97, 2022. DOI: 10.1615/CritRevTherDrugCarrierSyst.2021039544. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35381135/>. Acesso em: 12 set. 2025.
- CREAMY SKINCARE. **Sérum Fortalecedor Antioleosidade - Niacinamide B**. Creamy, 2024. Disponível em: <https://www.creamy.com.br/niacinamide-b-complex/p>. Acesso em: 13 set. 2025.
- CREAMY SKINCARE. **Niacinamide B Complex 20%: por dentro da fórmula**. Blog Creamy Skincare, 9 nov. 2023. Disponível em: <https://blog.creamy.com.br/niacinamide-b-complex-20-por-dentro-da-formula/>. Acesso em: 13 set. 2025.
- DROGASIL. **Isdin Fotoprotector Fusion Fluid Mineral Fps 50 50ML**. [S. l.]: Drogasil, [2025]. Disponível em: <https://www.drogasil.com.br/isdin-fotoprotector-fusion-fluid-mineral-fps-50-50ml-1197778.html>. Acesso em: 13 set. 2025.
- DROGA RAIA. **Protetor Solar Facial Isdin Fotoprotector Fusion Fluid Mineral Fps50 50ml**. [S. l.]: Droga Raia, [2025?]. Disponível em: <https://www.drogaraia.com.br/protetor-solar-facial-isdin-fotoprotector-fusion-fluid-mineral-fps50-50ml-1211343.html>. Acesso em: 13 set. 2025.

EMBRAPA. **Introdução à Nanotecnologia**, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1148352/1/P-INTRODUCAO-A-NANOTECNOLOGIA.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Nanomaterials in Cosmetic Products**. Bruxelas: European Commission, 2018. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/cosmetics/cosmetic-products-specific-topics/nanomaterials_en. Acesso em: 9 set. 2025.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council on cosmetic products**. Bruxelas: EU, 2009. Disponível em: https://health.ec.europa.eu/system/files/2016-11/cosmetic_1223_2009_regulation_en_0.pdf. Acesso em: 9 set. 2025.

FDA. **Guidance for Industry: Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products**. Silver Spring: U.S. Food and Drug Administration, 2014. Disponível em: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-safety-nanomaterials-cosmetic-products>. Acesso em: 9 set. 2025.

FDA. **Cosmetics Nanotechnology**. Silver Spring: U.S. Food and Drug Administration, 2022. Disponível em: <https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetics-science-research/cosmetics-nanotechnology>. Acesso em: 9 set. 2025.

FERRARIS, C. *et al.* Nanosystems in Cosmetic Products: A Brief Overview. **Pharmaceutics**, v. 13, n. 9, p. 1408, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34575484/>. Acesso em: 6 set. 2025.

FYTIANOS, G. *et al.* Nanomaterials in Cosmetics: Recent Updates. **Nanomaterials**, v. 10, n. 5, p. 979, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32443655/>. Acesso em: 6 set. 2025.

GESZKE-MORITZ, M.; MORITZ, M. Biodegradable Polymeric Nanoparticle-Based Drug Delivery Systems: Comprehensive Overview, **Perspectives and Challenges**. **Polymers**, v. 16, n. 17, p. 2536, 2024. DOI: 10.3390/polym16172536. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39274168/>. Acesso em: 9 set. 2025.

GRAND VIEW RESEARCH. **Anti-Aging Products Market Size, Share & Trends 2030**. São Francisco: Grand View Research, 2024a. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/anti-aging-products-market>. Acesso em: 9 set. 2025.

GRAND VIEW RESEARCH. **Facial Care Market Size and Share 2030**. São Francisco: Grand View Research, 2024b. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/facial-care-market>. Acesso em: 9 set. 2025.

GUPTA, V. *et al.* Nanotechnology in Cosmetics and Cosmeceuticals: A Review of Latest Advancements. **Gels**, v. 8, n. 3, p. 173, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8951203/>. Acesso em: 6 set. 2025.

HUANG, Z. *et al.* Liposomes in the cosmetics: present and outlook. **Journal of Liposome Research**, v. 34, n. 4, p. 715–727, 2024. DOI: 10.1080/08982104.2024.2341139. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38712581/>. Acesso em: 9 set. 2025.

ISDIN. **Fotoprotector ISDIN Fusion Water FPS 60**. [S. l.]: Isdin, [2025a]. Disponível em: <https://www.isdin.com/pt-BR/produto/fotoprotector-isdin/fusion-water-fps-60>. Acesso em: 13 set. 2025.

ISDIN. **Protetor solar facial ISDIN. Melhor proteção solar para o rosto**. [S. l.]: Isdin, [2025b]. Disponível em: <https://www.isdin.com/pt-BR/protetor-solar/rosto/>. Acesso em: 13 set. 2025.

ISDIN. **Fotoprotector ISDIN Fusion Fluid MINERAL FPS 50**. [S. l.]: Isdin, [2025c]. Disponível em: <https://www.isdin.com/pt-BR/produto/fotoprotector-isdin/fusion-fluid-mineral-spf-50>. Acesso em: 08 dez. 2025.

LA ROCHE-POSAY. **Anthelios SPF 50 Mineral Sunscreen Gentle Lotion** – página de produto (EUA). 2020. Disponível em: <https://www.laroche-posay.us/our-products/sun/body-sunscreen/anthelios-spf-50-mineral-sunscreen-gentle-lotion-3606000520837.html>. Acesso em: 10 set. 2025.

L'ORÉAL. **Nanoparticles**: Inside our products. 2020. Disponível em: <https://inside-our-products.loreal.com/ingredients/nanoparticles>. Acesso em: 10 set. 2025. inside-our-products.loreal.com

MANTECORP SKINCARE. **Nanotecnologia em cosméticos**: inovação e eficácia no cuidado com a pele. Acesso em: 10 de set. 2024. Disponível em: <https://www.mantecorpskincare.com.br/blog/skincare/nanotecnologia-cosmetica>.

PAN, X. *et al.* Application of nanotechnology in anti-aging cosmetics: advantages, challenges, and prospects. **Polymer Bulletin**, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00289-025-05903-3>. Acesso em: 12 set. 2025.

REZAIE, F. *et al.* A Review on the Use of Lipid Nanocarriers in Anti-Wrinkle Skin Products. **Journal of Mazandaran University of Medical Sciences**, v. 34, n. 234, p. 183–199, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382086267_A_Review_on_the_Use_of_Lipid_Nanocarriers_in_Anti-Wrinkle_Skin_Products. Acesso em: 12 set. 2025.

SCCS – Scientific Committee on Consumer Safety. **Notes of Guidance for the Testing of Cosmetic Ingredients and Their Safety Evaluation** – 12th revision (SCCS/1647/22). Bruxelas: European Commission, 2022. Disponível em: https://health.ec.europa.eu/system/files/2023-12/sccs_o_273_final.pdf. Acesso em: 12 set. 2025.

SESDERMA. **Tecnologia Nanotech** – página institucional. s.d.-a. Disponível em: https://www.sesderma.com/pt_pt/nanotech.html. Acesso em: 10 set. 2025.

SESDERMA. **C-VIT Liposomal Serum** – página de produto. s.d.-b. Disponível em: https://www.sesderma.com/pt_pt/c-vit-liposomal-serum-40002447.html. Acesso em: 10 set. 2025.

SHARMA, A.; KUHAD, A.; BHANDARI, R. Novel nanotechnological approaches for treatment of skin-aging. **Journal of Tissue Viability**, v. 31, n. 3, p. 374–386, 2022. DOI: 10.1016/j.jtv.2022.04.010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35550314/>. Acesso em: 10 set. 2025.

SHIN, S. H. *et al.* Skin Aging from Mechanisms to Interventions. **Frontiers in Physiology**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2023.1195272/full>. Acesso em: 6 set. 2025.

SINGH, N. B.; ABDALA, A.; JAHAN, M. I. Nanomaterials in cosmetics: Transforming beauty through innovation and science. **Nano-Structures & Nano-Objects**, v. 44, 101551, 2025. DOI: 10.1016/j.nanoso.2025.101551. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352507X25001210>. Acesso em: 10 set. 2025.

TRANCOSO, P. A.; OSÓRIO, T.; JALLES, V. **Nanotecnologia em cosmética**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Vila Velha, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uvv.br/bitstream/123456789/1932/4/TCC%20PEDRO%20AGUIAR%20TRANCOSO%2C%20THAINA%20OSORIO%20e%20VIT%3C%93RIA%20JALLES.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

VIEGAS, C. *et al.* Solid Lipid Nanoparticles vs. Nanostructured Lipid Carriers: A Comprehensive Review. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 6, p. 1593, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37376042/>. Acesso em: 6 set. 2025.

VILAS BOAS, C. **A importância do estrato córneo no acne** (e outros problemas de pele). Disponível em: <https://catiavilasboas.com/a-importancia-do-estrato-corneo-no-acne-e-outros-problemas-de-pele/>. Acesso em: 10 set. 2025.