

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS MÉDICAS E DA VIDA
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – MODALIDADE MÉDICA

AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRAFICA DA PELE FACIAL EM DIFERENTES
PROCESSOS DO ENVELHECIMENTO CUTÂNEO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA
DA LITERATURA.

MARCO TÚLIO GARCIA ALVES

GOIÂNIA
2026

MARCO TÚLIO GARCIA ALVES

AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRAFICA DA PELE FACIAL EM DIFERENTES
PROCESSOS DO ENVELHECIMENTO CUTÂNEO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA
DA LITERATURA.

Trabalho apresentado a Pontifícia Universidade
Católica de Goiás como requisito, para
conclusão da graduação em Ciências Biológicas
Modalidade Médica.

Orientadora: Prof. Karla Cardoso da Silva

Orientando: Marco Túlio Garcia Alves

GOIÂNIA

2026

RESUMO

O envelhecimento cutâneo é um processo multifatorial caracterizado por alterações estruturais e funcionais da pele, que podem ser avaliadas por diferentes métodos de imagem. Dentre eles, a ultrassonografia de alta frequência permite a análise não invasiva das camadas cutâneas, especialmente da derme. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da avaliação ultrassonográfica da derme facial em diferentes processos do envelhecimento cutâneo, com ênfase na comparação entre pele jovem e pele madura.

A busca bibliográfica foi conduzida nas bases de dados: PubMed, Scielo, CAPES e BVS utilizando os descritores: ultrassonografia de alta frequência e envelhecimento da pele, com aplicação de filtros para o período de publicação nos últimos 5 anos e disponibilidade de texto completo. A seleção dos estudos seguiu as recomendações do protocolo PRISMA.

Após as etapas de triagem e elegibilidade, 24 artigos atenderam aos critérios e compuseram a revisão. Os estudos incluídos demonstraram que o envelhecimento cutâneo está associado à redução da espessura dérmica, alterações na ecogenicidade (que pode apresentar redução ou aumento progressivo) e mudanças mensuráveis do sinal ultrassonográfico, refletindo modificações na matriz extracelular e organização do tecido dérmico.

Dessa forma a ultrassonografia de alta frequência é uma ferramenta eficaz e promissora para a avaliação das alterações estruturais da pele quando associadas ao envelhecimento, que pode atuar como método complementar ao exame clínico e contribuir para o monitoramento de intervenções terapêuticas e para o avanço das pesquisas na área.

Palavras-chave: Ultrassonografia de alta frequência; envelhecimento da pele

ABSTRACT

Skin aging is a multifactorial process characterized by structural and functional changes in the skin, which can be assessed using various imaging methods. Among these, high-frequency ultrasound allows for non-invasive analysis of the skin layers, especially the dermis. The objective of this study was to conduct a systematic review of the literature on the ultrasonographic evaluation of the facial dermis in different processes of skin aging, with an emphasis on the comparison between young and mature skin.

The literature search was conducted in the following databases: PubMed, Scielo, CAPES, and BVS, using the search terms high-frequency ultrasound and skin aging, with filters applied to limit the search to publications from the past 5 years and to include only full-text articles. The selection of studies followed the PRISMA protocol recommendations.

After the screening and eligibility stages, 24 articles met the criteria and were included in the review. The included studies demonstrated that skin aging is associated with reduced dermal thickness, changes in echogenicity (which may show reduction or progressive increase), and measurable changes in ultrasound signals, reflecting modifications in the extracellular matrix and the organization of dermal tissue.

Thus, high-frequency ultrasound is an effective and promising tool for assessing age-related structural changes in the skin; it can serve as a complementary method to clinical examination and contribute to the monitoring of therapeutic interventions and to the advancement of research in this field.

Keywords: High-frequency ultrasonography; skin aging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração dos estratos da epiderme e seus diferentes tipos celulares.....	9
Figura 2 - Representação esquemática das camadas da pele facial.....	10
Figura 3 – Lâmina histológica da derme (coloração hematoxilina-eosina em seções de parafina de 8 µm)	11
Figura 4 - Mecanismo de proteção da pele contra radiação UVB.....	12
Figura 5 - Comparação histológica da derme jovem e idosa: fragmentação das fibras elásticas com o envelhecimento.....	14
Figura 6 - Intensidade de tons de cinza de acordo com a impedância acústica dos tecidos.....	16
Figura 7 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos da revisão sistemática, conforme diretrizes PRISMA.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais diferenças estruturais e fisiológicas entre pele jovem e pele madura.....14

Quadro 2 - Comparação dos principais parâmetros ultrassonográficos entre pele jovem e pele madura.....26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características metodológicas e principais achados incluídos no estudo.....	24
--	----

SUMÁRIO

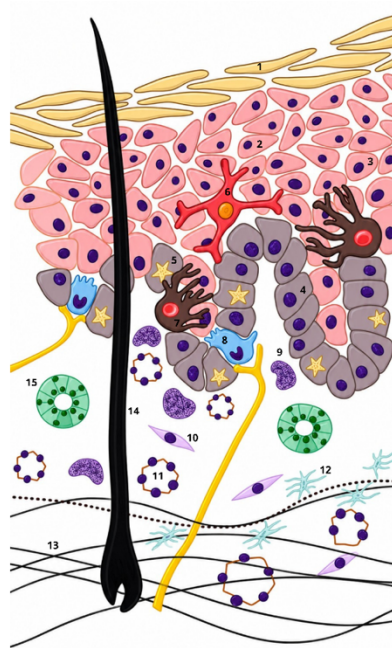
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVO.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	18
3 METODOLOGIA.....	19
4 RESULTADOS.....	22
5 DISCUSSÃO.....	25
6 CONCLUSÃO.....	28
7 REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

A pele é o maior órgão do corpo humano, recobrendo toda a sua superfície externa. Atua como a principal barreira de proteção contra o meio externo, defendendo o organismo contra patógenos, radiação ultravioleta, agentes químicos e traumas mecânicos, além de regular a quantidade de água liberada no ambiente (Yousef *et al.*, 2024).

A pele se transforma continuamente, sendo composta por diferentes tipos de células (figura 1) desde o período fetal até a maturidade e apresentam alterações significativas que impactam suas funções fisiológicas e estruturais, com o envelhecimento há uma redução da espessura das suas camadas. (Lotfollahi, 2024, Yousef *et al.*, 2024).

Figura 1 – Ilustração dos estratos da epiderme e seus diferentes tipos celulares



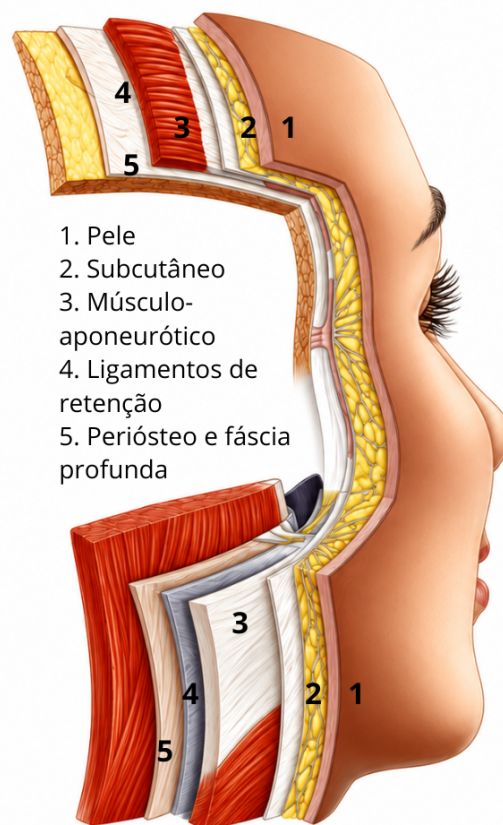
Fonte: Autor (2026)

Nota: Esquema da histologia da pele fotoprotegida, mostrando seus principais componentes celulares e da matriz. 1. Corneócito; 2. Queratinócito granular; 3. Queratinócito espinhoso; 4. Célula basal; 5. Célula mitótica; 6. Célula de Langerhans; 7. Melanócito; 8. Célula de Merkel; 9. Mastócito; 10. Fibroblasto; 11. Vaso sanguíneo; 12. Glicosaminoglicanos; 13. Fibras elásticas; 14. Pelo; 15. Glândula sudorípara.

A pele facial apresenta uma organização anatômica específica, distinta de outras regiões do corpo. Sua estrutura pode ser descrita em cinco camadas sobrepostas: epiderme, tecido adiposo subcutâneo (que inclui a *retinacula cutis*, constituída por tecido conjuntivo fibroso), Sistema Músculo-Aponeurótico Superficial (SMAS), compartimentos de gordura profunda e fáscia profunda (figura 2). Essa disposição estrutural não é homogênea em toda a face e varia conforme a região anatômica analisada. (Veronese, 2024).

Os principais reservatórios de gordura facial também chamados de coxins adiposos são divididos em duas camadas anatômicas distintas. Compartimentos superficiais: entre a derme e fáscia muscular e compartimentos profundos: localizam-se acima da estrutura óssea. (Edi *et al.*, 2023).

Figura 2 - Representação esquemática das camadas da pele facial

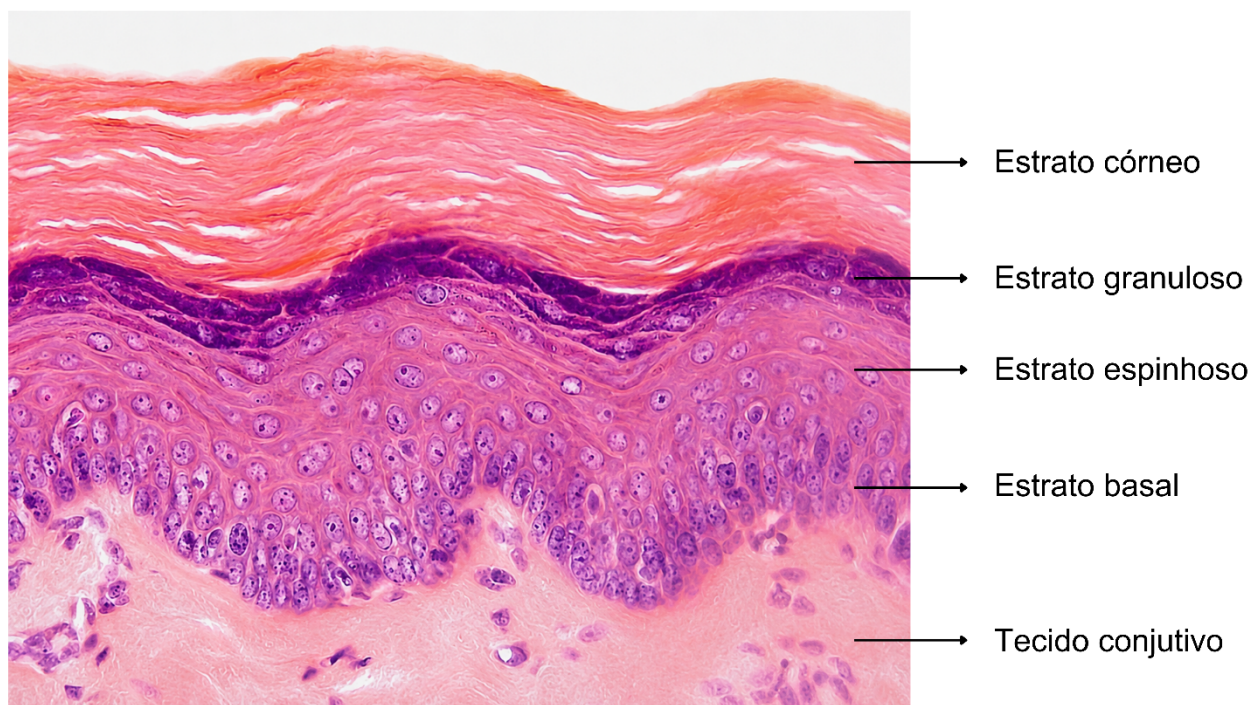


Fonte: Adaptado de Fitzgerald (2018).

Nota: A face é constituída por cinco camadas básicas. Essa estrutura de cinco camadas é mais evidente no couro cabeludo, mas existe no restante da face, com modificações e compactações significativas para adaptação funcional. A camada 4 é a mais significativamente modificada, com espaços alternados de tecido mole facial e ligamentos de retenção.

A epiderme é a camada mais externa da pele é composta por quatro estratos, no qual o estrato basal é o mais profundo, responsável pela renovação contínua das células epidérmicas. Sendo composto por uma única fileira de queratinócitos basais indiferenciados, que apresentam alta atividade mitótica que podem se dividir para manter a população basal e migrar para o estrato espinhoso, onde iniciam o processo de diferenciação e maturação. Durante essa migração, os queratinócitos alteram a morfologia, passando de formato colunar para poligonal, e passam a expressar diferentes tipos de queratina em relação à camada basal (figura 3), (Yin, *et al.*, 2023).

Figura 3 – Lâmina histológica da derme (coloração em hematoxilina-eosina em seções de parafina de 8 µm)

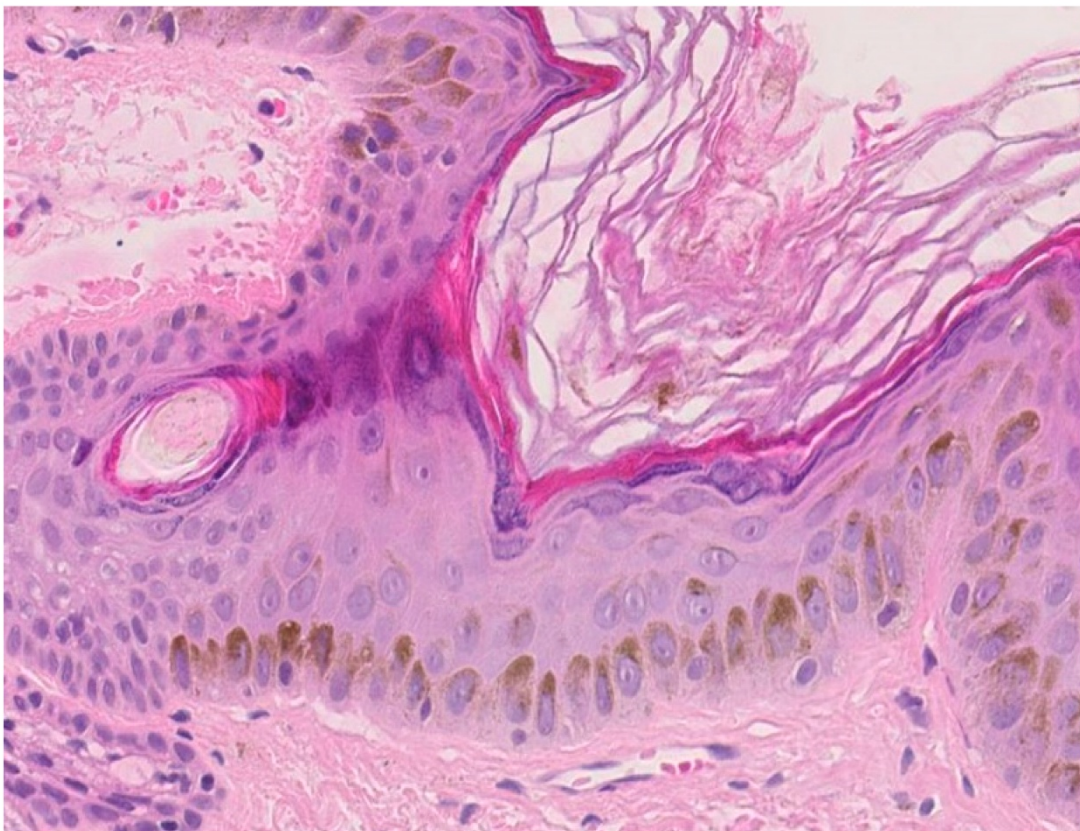


Fonte: Adaptado de Atlas de Histologia de Plantas e Animais (2025).

Os queratinócitos do estrato granuloso (antes da diferenciação) caracterizam-se pela presença de grânulos citoplasmáticos densos, responsáveis pela intensa produção de proteínas e lipídios relacionados à queratinização. Já o estrato córneo é a camada mais externa da epiderme e estágio final de diferenciação dos queratinócitos, sendo responsável pela função de barreira cutânea. Os corneócitos,

células mortas e desprovidas de organelas, formam uma estrutura especializada que impede a entrada de agentes nocivos e reduz a perda transepidérmica de água. Ademais, a epiderme possui células, como os melanócitos, responsáveis pela produção de melanina (figura 4), células de Langerhans, que desempenham papel fundamental na resposta imunológica cutânea, atuando como células sentinela que expressam receptores Toll-like e nucleicos, participando da detecção de patógenos e da ativação de células T efectoras (Soe, 2025).

Figura 4 - Mecanismo de proteção da pele contra radiação UVB



Fonte: Lefèvre-Utile, *et al.*, 2021.

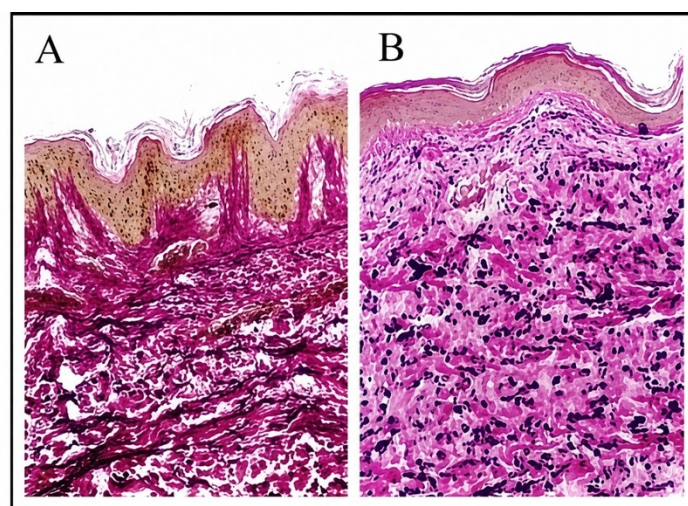
Nota: Pele humana após irradiação solar (ampliação $\times 120$, coloração HES). A luz UVB estimula a secreção de melanina, que atua como protetor solar incorporado. A melanina epidérmica é um absorvedor primário da radiação ultravioleta, protegendo assim os elementos epidérmicos e dérmicos subjacentes.

A derme, localizada imediatamente abaixo da epiderme, tem como função principal fornecer suporte estrutural e nutricional a essa camada. É constituída por tecido conjuntivo irregular de origem mesodérmica, composta principalmente por fibroblastos, mastócitos e macrófagos. A matriz extracelular é rica em fibras colágenas, elásticas e reticulares, que confere resistência mecânica e elasticidade à

pele. Outra característica é a grande vascularização, que é essencial para os processos de suporte metabólico e reparo tecidual (Quan, 2023).

A manutenção da arquitetura tecidual e das propriedades fisiológicas da pele depende fundamentalmente da matriz extracelular do tecido conjuntivo, composta por fibras de colágeno e elastina, proteoglicanos, glicosaminoglicanos e glicoproteínas não colágenas. No envelhecimento cutâneo, ocorrem alterações de origem intrínseca, relacionadas à diminuição da capacidade regenerativa celular e de origem extrínseca, principalmente decorrentes da exposição crônica à radiação ultravioleta (figura 5). Com o envelhecimento fisiológico, a derme torna-se progressivamente menos celular e menos vascularizada, especialmente na fase senil (Cunha, *et al.*, 2020; Chaudhary, *et al.*, 2020).

Figura 5 - Comparação histológica da derme jovem e idosa: fragmentação das fibras elásticas com o envelhecimento



Fonte: Oriá, *et al.*, 2003.

Nota: Espécimes de pele dos grupos jovem (A) e idoso (B) corados pelo tricrômio de Van Gieson-elastina, x200, em que as fibras elásticas são observadas em preto. Note-se a clara fragmentação das fibras elásticas ao longo da derme com o envelhecimento. Na derme superficial, o aparelho elástico perdeu quase completamente sua disposição vertical na pele senil.

Essas modificações incluem o afinamento dérmico, resultante de alterações bioquímicas e estruturais nas fibras e na matriz extracelular, redução na síntese de colágeno, e aumento de sua degradação devido à elevação da atividade de collagenases. Nesse contexto, há alterações no tipo de colágeno predominante, com maior proporção de tipo I em indivíduos jovens e aumento relativo do colágeno tipo III

em indivíduos mais idosos. As fibras de elastina também sofrem redução em quantidade e em diâmetro, comprometendo a elasticidade e o turgor cutâneo. Um dos principais moduladores da expressão gênica do tecido conjuntivo é o fator transformador de crescimento β (TGF- β), cujos níveis encontram-se reduzidos no envelhecimento, contribuindo para a redução da renovação do colágeno (Cunha, *et al.*, 2020; Chaudhary, *et al.*, 2020).

O envelhecimento cutâneo promove uma diminuição da espessura da epiderme e da derme, bem como o achatamento da junção dermoepidérmica. No entanto, esses fenômenos apresentam comportamentos distintos ao longo da vida (quadro 1), enquanto o achatamento da junção dermoepidérmica ocorre de forma progressiva e contínua, a redução da espessura da epiderme e derme não segue um padrão linear, tornando-se mais acentuada apenas nas últimas décadas de vida, especialmente após os 60 anos de idade (Rodriguez, *et al.*, 2025).

Como consequência dessas alterações a pele perde gradualmente funções essenciais como a manutenção do equilíbrio interno, defesa contra agressões externas, retenção hídrica e capacidade de renovação celular. A redução da elasticidade resulta em maior fragilidade, flacidez, atrofia e diminuição do conteúdo vascular, colágeno e tecido adiposo, manifestando-se clinicamente por sinais visíveis do envelhecimento, como rugas, linhas de expressão e flacidez cutânea (Johner *et al.*, 2021).

Quadro 1 – Principais diferenças estruturais e fisiológicas entre pele jovem e pele madura

Parâmetro	Pele Jovem	Pele Madura
Colágeno	Predomínio de fibras organizadas, principalmente colágeno tipo I	Redução da síntese, fragmentação das fibras e aumento relativo de colágeno tipo III
Elastina	Fibras preservadas e funcionais	Redução quantitativa e degeneração das fibras elásticas
Matriz extracelular	Organizada e rica em proteoglicanos e glicosaminoglicanos	Desorganização estrutural e redução dos componentes matriciais
Espessura dérmica	Maior espessura e maior densidade tecidual	Afinamento da derme, mais acentuada após os 60 anos de idade.
Junção dermoepidérmica	Ondulada e bem definida	Achatamento progressivo

Vascularização	Adequada perfusão tecidual	Redução da vascularização
Elasticidade cutânea	Preservada	Reduzida
Hidratação	Equilibrada	Redução de retenção hídrica
Renovação celular	Processo regenerativo eficiente	Renovação celular lenta

Fonte: Autor (2026)

Com o avanço tecnológico, o uso da ultrassonografia (USG) tem se destacado por sua capacidade de fornecer imagens detalhadas de forma não invasiva e contribui para avaliar o processo de envelhecimento. Constitui um método seguro, que não utiliza radiação, baseando-se na emissão de ondas sonoras que atravessam os tecidos cutâneos. (Almuhanna, *et al.*, 2021).

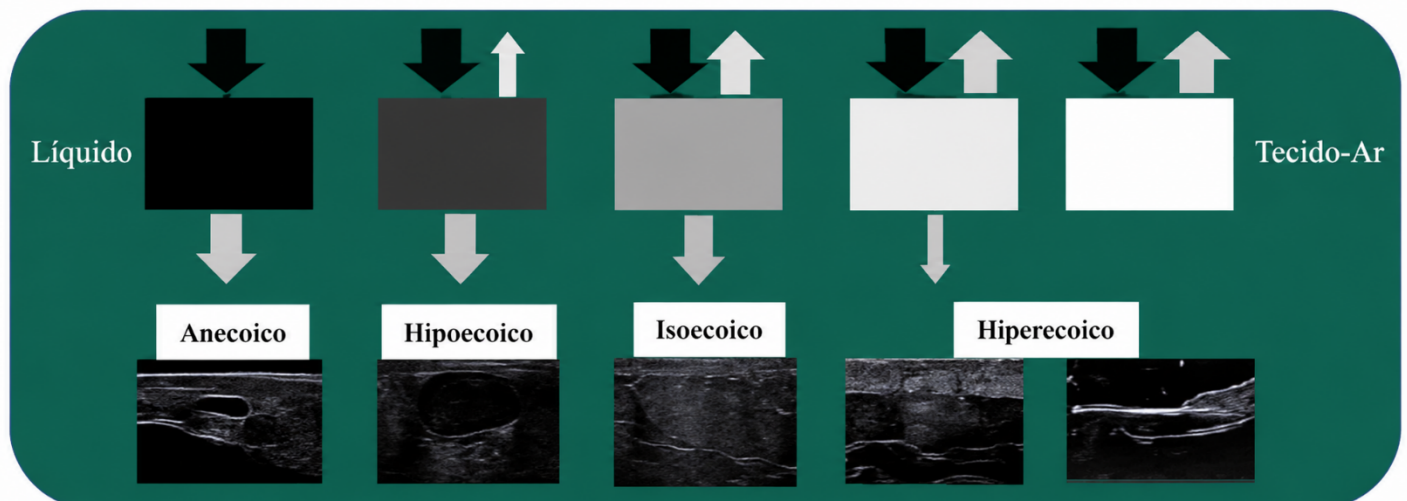
A USG foi introduzida na dermatologia clínica em 1979, e a utilização de transdutores com frequência mínima de 15 MHz permitiu a obtenção de imagens de alta resolução, abrangendo desde o estrato córneo até a fáscia profunda. Para aplicações dermatológicas, recomenda-se o uso de frequências mais elevadas, classificadas como alta (15 MHz), muito alta (20 MHz) e ultra-alta (30–75 MHz), no qual a escolha depende do objetivo da avaliação. Para o estudo da derme facial, aparelhos com frequência de 15 MHz são considerados suficientes por permitirem a visualização das camadas dérmicas e a identificação de alterações morfológicas associadas ao envelhecimento. Quando comparados entre si, frequências mais elevadas (entre 30 MHz e 75 MHz) são mais precisas do que as de (15 MHz e 20 MHz), uma vez que a resolução espacial é diretamente proporcional à frequência, sendo as faixas de muito alta e ultra-alta frequência capazes de fornecer maior definição de detalhes superficiais (Levy, *et al.*, 2021; Tao *et al.*, 2022; Pequeno; Bagatin, 2024).

A formação e a interpretação dessas imagens dependem do comportamento dos ecos refletidos, os quais são gerados e captados pelo transdutor. Este dispositivo utiliza cristais piezoelétricos que vibram quando estimulados por corrente elétrica, gerando ondas sonoras de alta frequência em modo de vibração por espessura, sendo que a frequência de ressonância é inversamente proporcional à espessura do cristal. Durante o exame, o transdutor emite pulsos ultrassônicos que penetram nos tecidos cutâneos, dessa forma as ondas sonoras são parcialmente refletidas nas interfaces entre estruturas de diferentes densidades, retornando ao transdutor como ecos. Os ecos refletidos retornam ao transdutor, formando imagens cuja ecogenicidade depende da densidade dos tecidos e da velocidade de propagação das ondas

sonoras. Na pele, as principais fontes de ecogenicidade são os queratinócitos na epiderme, colágeno na derme e tecido adiposo na hipoderme (Joshi *et al.*, 2025; Almuhanna, *et al.*, 2021).

A ecotextura é um conceito utilizado na USG para descrever o padrão de ecos gerados pelas estruturas anatômicas examinadas, refletindo sua composição, densidade e organização interna. Essa característica permite a visualização de diferentes tecidos em tons de branco, cinza e preto, correspondendo a variações de densidade. No contexto da avaliação cutânea, distinguem-se as ecotexturas anecoica (preto), hipoeicoica (cinza escuro), isoecoica (cinza intermediário) e hipereicoica (branco), sendo que tecidos mais densos refletem maior quantidade de ecos e apresentam maior brilho na imagem (figura 6), (Ricci, *et al.*, 2023).

Figura 6 - Intensidade de tons de cinza de acordo com a impedância acústica dos tecidos



Fonte: Gibbons, 2023.

As ecotexturas variam conforme as camadas da pele. A epiderme é visualizada como uma linha fina hipereicoica, devido à sua elevada densidade celular e caráter queratinizado do epitélio escamoso estratificado. A derme aparece como uma faixa mais espessa, de ecogenicidade variável, levemente hipoeicoica em neonatos e idosos, associada à redução do conteúdo de colágeno e maior hidratação da matriz extracelular. Ao longo do envelhecimento, observa-se diminuição da espessura dérmica e alterações na organização das fibras colágenas. A hipoderme ou tela subcutânea é identificada como uma camada predominantemente hipoeicoica,

entremeada por faixas hiperecoicas correspondentes aos septos fibrosos (Xiang, *et al.*, 2025).

A USG está sujeita à ocorrência de artefatos, definidos como imagens que não representam fielmente as estruturas anatômicas reais. Entre os principais artefatos observados na avaliação cutânea destacam-se o reforço acústico posterior, caracterizado pela intensificação dos ecos abaixo de estruturas que atenuam pouco as ondas ultrassônicas, e a sombra acústica posterior, que se manifesta como áreas de redução do sinal decorrentes de estruturas altamente refletoras, como ossos ou calcificações (Gibbons, 2023).

Diante da relevância de compreender o processo de envelhecimento cutâneo, a USG tem se destacado como um método não invasivo promissor para a avaliação das alterações estruturais da pele. A literatura científica ainda apresenta heterogeneidade metodológica quanto aos parâmetros ultrassonográficos empregados e achados descritos durante o envelhecimento, especialmente no que se refere à derme facial. Observam-se variações metodológicas relacionadas às frequências dos transdutores, regiões analisadas e critérios de interpretação das imagens, o que dificulta a comparação entre estudos e a consolidação do conhecimento. Ao sistematizar a análise da derme facial sob diversas perspectivas cronológicas, este estudo transcende a descrição e avança em direção à padronização dos parâmetros ultrassonográficos, fornecendo subsídios fundamentais para o aprimoramento das condutas diagnósticas e para a compreensão do envelhecimento cutâneo via métodos não invasivos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar, por meio de revisão sistemática da literatura, as características ultrassonográficas da derme facial durante o processo do envelhecimento cutâneo.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os principais parâmetros ultrassonográficos utilizados na avaliação
- da derme facial.
- Comparar as alterações ultrassonográficas da derme durante o envelhecimento.
- Analisar a associação entre envelhecimento cutâneo e modificações estruturais da derme observadas por ultrassonografia.
- Avaliar a utilidade da ultrassonografia como método complementar na investigação do envelhecimento cutâneo.

3 METODOLOGIA

Consiste em uma revisão sistemática da literatura, conduzida em conformidade com as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), com o objetivo de identificar e analisar evidências científicas acerca da avaliação do envelhecimento cutâneo por meio da USG de alta frequência. A busca bibliográfica foi realizada na base de dados PubMed, Scielo, CAPES e BVS utilizando a seguinte estratégia de busca: “*high-frequency ultrasonography*” AND “*skin aging*”. Como critérios de refinamento, foram aplicados filtros referentes ao período de publicação dos últimos cinco anos (2020-2025) e disponíveis completos e gratuito, em inglês ou português.

A busca inicial, na PubMed, resultou em 61 artigos, após a aplicação dos filtros estabelecidos, permaneceram 12 estudos para a etapa de triagem. A seleção dos estudos foi conduzida em etapas sucessivas, iniciando-se pela leitura dos títulos, na qual 3 artigos foram excluídos por não apresentar relação direta com o escopo da pesquisa. Em seguida, procedeu-se à leitura dos resumos, etapa em que 4 artigos adicionais foram excluídos por não abordarem a avaliação do envelhecimento cutâneo por meio da ultrassonografia de alta frequência. Dessa forma, 5 estudos foram selecionados para leitura do texto completo, todos os quais atenderam aos critérios de elegibilidade previamente definidos e foram incluídos na amostra final da revisão sistemática.

A base de dados Scielo não apresentou nenhum resultado para a busca. A pesquisa realizada no portal de periódicos da CAPES, apresentou 26 artigos, após aplicação dos filtros, 7 artigos foram analisados na etapa de triagem. Após a leitura dos títulos, 1 artigo foi excluído por não estabelecer uma relação direta com o tema central da pesquisa. A próxima etapa foi a leitura dos resumos que excluiu 2 artigos por não abordarem o envelhecimento cutâneo. Os 4 artigos restantes foram lidos na íntegra, 1 dos trabalhos não atendeu aos critérios de elegibilidade previamente definidos e foi excluído. Por fim, 3 artigos foram incluídos na amostra final. \

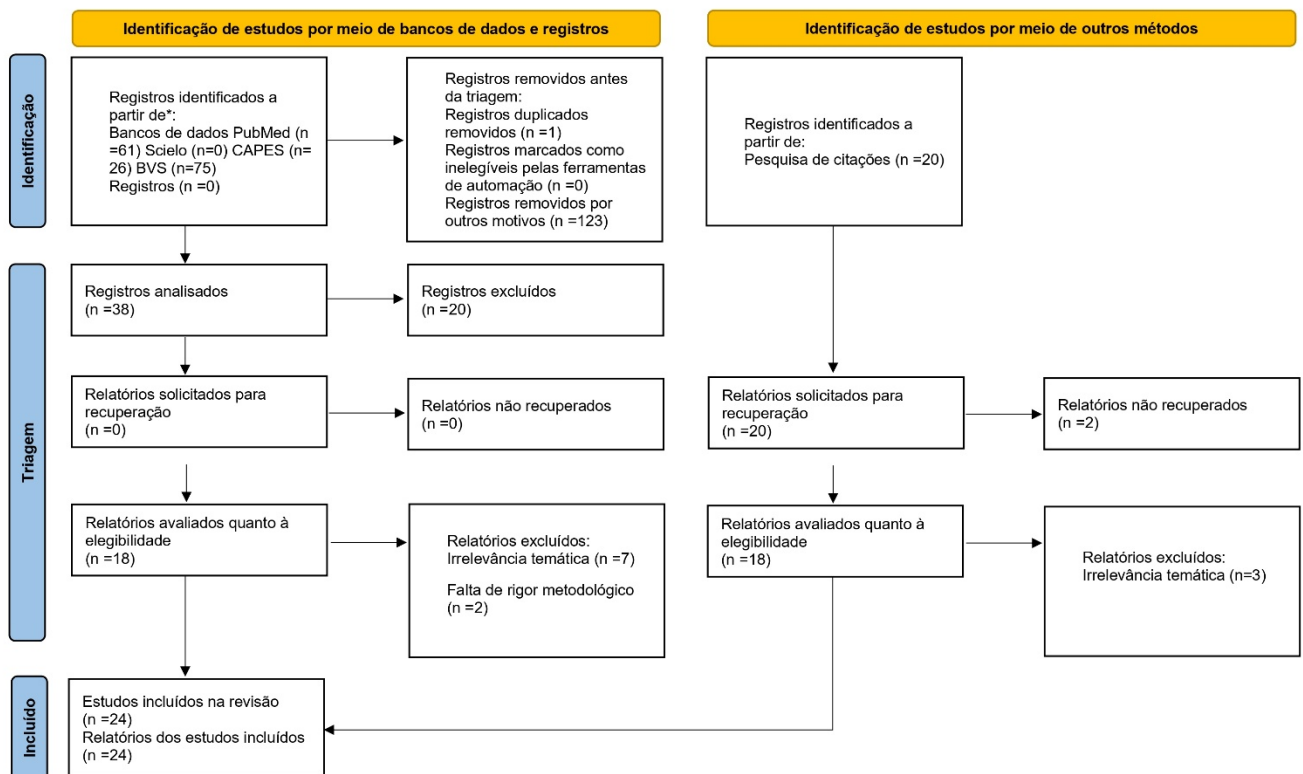
Já na Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), a busca inicial resultou em 75 artigos, após a aplicação dos filtros, permaneceram 31 estudos. Foi utilizada uma ferramenta

adicional da base de dados, que auxilia a filtrar o assunto principal daquele artigo, facilitando assim a exclusão de artigos que tangenciam o texto, restando 19 artigos para a etapa de triagem. A seleção dos estudos foi conduzida em etapas, começando pela leitura dos títulos, na qual 12 artigos foram excluídos por não se encaixarem diretamente com o tema dessa revisão. Em seguida, os resumos dos artigos foram lidos, descartando assim outros 4 artigos por não apresentarem a ultrassonografia de alta frequência. Assim sendo, os três últimos artigos foram lidos na íntegra, 1 não atendeu todos os critérios de elegibilidade e foi descartado, 1 foi excluído por estar duplicado e 1 foi incluído na bibliografia desse trabalho.

Foram considerados elegíveis estudos originais conduzidos em seres humanos que empregassem a ultrassonografia de alta frequência como método de avaliação da pele e investigassem alterações cutâneas relacionadas ao envelhecimento, com ênfase em parâmetros estruturais da derme. Foram excluídos estudos intervencionais, incluindo aqueles que avaliaram tratamentos estéticos, cosméticos, suplementação nutricional ou uso de preenchedores dérmicos, bem como pesquisas realizadas em modelos animais ou *in vitro*, relatos de caso e estudos que não abordassem diretamente a derme ou o processo de envelhecimento cutâneo.

Adicionalmente, foi realizada uma busca manual complementar por meio da técnica de rastreamento de citações (*citation tracking*), a partir dos estudos incluídos na revisão sistemática. Por meio dessa estratégia, foram identificados 20 registros adicionais. Após a remoção de 2 registros cujo texto completo não estava disponível gratuitamente, 18 artigos foram lidos na íntegra. Desses, 3 foram excluídos por irrelevância temática. Dessa forma, 15 estudos complementares foram incorporados à revisão (figura 7).

Figura 7 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos da revisão sistemática, conforme diretrizes PRISMA.



Fonte: Autor (2026).

Conforme demonstrado no fluxograma PRISMA, o processo de busca, triagem e elegibilidade permitiu a seleção dos estudos que atenderam aos critérios previamente estabelecidos, constituindo a amostra final utilizada para análise nesta revisão sistemática.

4. RESULTADOS

Embora a amostra final desta revisão seja composta por 24 artigos para fundamentação e discussão, os resultados a seguir destacam três estudos originais que investigaram as alterações ultrassonográficas da pele humana associadas ao envelhecimento. Esses estudos utilizaram a USG de alta frequência para avaliar parâmetros como espessura cutânea, ecogenicidade dérmica e métricas quantitativas derivadas de análise espectral dos sinais ultrassonográficos, permitindo a comparação entre grupos etários e caracterização objetiva das modificações cutâneas ao longo do processo de envelhecimento.

A espessura da pele facial foi analisada em mulheres de diferentes faixas etárias por meio de USG de alta frequência (75 MHz). Os achados demonstram que a espessura cutânea varia consideravelmente conforme a região anatômica, com valores mais elevados na ponta do nariz e mais reduzidos na pálpebra superior. A localização anatômica representa o principal determinante da variabilidade da espessura, explicando cerca de metade da variância observada (Tabela 1). O efeito isolado da idade sobre a espessura é modesto, embora se observe aumento da espessura da pele nasal nas participantes mais velhas, especialmente naquelas com 54 anos ou mais (Korzekwa *et al.*, 2025).

De forma semelhante, a espessura dérmica apresenta correlação negativa com a idade, sendo menor em indivíduos mais velhos. Há variações relacionadas ao sexo, com homens apresentando maior espessura dérmica quando comparados a mulheres, bem como correlações com o índice de massa corporal, indicando que fatores demográficos e antropométricos podem influenciar as características ultrassonográficas da pele facial (Meng, *et al.*, 2022).

Técnicas avançadas de USG quantitativa de alta frequência permitem analisar características espectrais do sinal ultrassonográfico em pele humana. Por meio de abordagens de modelagem (parâmetros de Nakagami m e Ω) e de não modelagem

(entropia de janela pequena) para extrair métricas quantitativas dos ecos, os estudos demonstram que a pele madura apresenta redução do parâmetro m de Nakagami, diminuição da amplitude do envelope e alterações na entropia do sinal, refletindo uma progressiva desorganização da distribuição das fibras dérmicas quando comparada à pele jovem. Esses parâmetros quantitativos são sensíveis para detectar alterações microscópicas da arquitetura dérmica associadas ao envelhecimento, mesmo em estágios nos quais mudanças morfológicas aparentes ainda não são visíveis por métodos subjetivos, como a observação visual baseada em escalas (Li, *et al.*, 2025).

De maneira integrada, os achados indicam que o processo de envelhecimento cutâneo está associado à redução da espessura dérmica, alterações na ecogenicidade e mudanças nos parâmetros quantitativos derivados da ultrassonografia. A convergência desses resultados, apesar das diferenças metodológicas e de população, reforça o potencial da ultrassonografia de alta frequência como ferramenta não invasiva e objetiva para avaliar as modificações estruturais da derme humana relacionadas ao envelhecimento. Dessa forma, futuras pesquisas devem priorizar a definição de parâmetros padronizados e a validação em diferentes populações para que o método possa ser incorporado à prática clínica de forma ampla e segura.

Tabela 1 – Características metodológicas e principais achados incluído no estudo

Autor (ano)	Título do estudo	Tipo de estudo / Amostra	Região avaliada	Frequência do ultrassom	Parâmetros avaliados	Principais achados	Limitações
Korze kwa, et al. (2025)	<i>Quantitative Analysis of the Human Face Skin Thickness—A High-Frequency Ultrasound Study</i>	Estudo observacional transversal. 45 mulheres, 22-73 anos, divididas em 4 grupos etários	38 sítios anatômicos da face	Alta frequência (75 MHz)	Espessura da pele; mapa de espessura facial; Índice de Espessura Relativa (RTI)	Pele mais espessa na ponta do nariz (mediana 1907 µm); pele mais fina na pálpebra superior (mediana 573,5 µm); localização anatômica explica ~50% da variância ($\eta^2=0,52$, $p<0,001$); idade tem efeito modesto, com aumento da espessura nasal em participantes ≥ 54 anos.	Amostra exclusivamente feminina; participantes recrutadas em clínicas de medicina estética (possível viés de seleção); ausência de correlação histológica direta.
Meng, et al. (2022)	<i>Application of high-frequency ultrasound to assess facial skin thickness in association with gender, age, and BMI in healthy adults</i>	Estudo observacional. Adultos de diferentes idades, sexos e IMC	Regiões faciais específicas	Alta frequência (≥ 20 MHz)	Espessura cutânea	Correlação negativa entre idade e espessura dérmica; homens apresentaram derme mais espessa que mulheres; associação entre espessura cutânea e índice de massa corporal.	População restrita; alguns fatores externos, como a exposição solar, não foram avaliados e análise limitada à espessura cutânea.
Li, et al. (2025)	<i>High-frequency quantitative ultrasound in characterizing human skin aging: an exploration of the non-modeling and modeling approaches</i>	Estudo observacional analítico. Grupos de pele jovem e madura	Pele humana (regiões comparáveis)	USG quantitativa de alta frequência (42 MHz)	Parâmetros espectrais do sinal; métricas quantitativas (modelagem e não modelagem)	Diferenças entre pele jovem e madura nos parâmetros quantitativos do eco; redução da organização estrutural da derme em indivíduos mais velhos; alta sensibilidade para detectar alterações microscópicas.	Amostra composta apenas por mulheres (24-57 anos), as análises foram realizadas apenas nas profundidades de 1 mm e 1,5 mm.

Fonte: Autor.

5. DISCUSSÃO

Os achados desta revisão sistemática evidenciam que a USG de alta frequência é capaz de detectar alterações estruturais da pele associadas ao envelhecimento, especialmente no que se refere à espessura dérmica e aos parâmetros quantitativos do sinal ultrassonográfico. Os estudos incluídos nos resultados, apesar de apresentarem delineamentos e abordagens analíticas distintas, tendem a demonstrar que tais alterações ocorrem de maneira progressiva com o avanço da idade, reforçando a validade do método como ferramenta objetiva para avaliação do envelhecimento cutâneo. Essa convergência é relevante diante do número restrito de estudos elegíveis, pois indica consistência dos achados mesmo em cenários metodológicos diferentes (Korzekwa *et al.*, 2025; Meng, *et al.*, 2022; Li, *et al.*, 2025).

Embora a literatura aponte que transdutores de 15 MHz sejam suficientes para a avaliação da derme facial, os estudos que compuseram esta revisão utilizaram frequências significativamente superior, variando de 20 MHz a 75 MHz. Essa característica metodológica confere maior confiabilidade aos achados de espessura e ecotextura apresentados, uma vez que a resolução da imagem é diretamente proporcional à frequência utilizada (Pequeno; Bagatin, 2024; Korzekwa *et al.*, 2025; Meng, *et al.*, 2022; Li, *et al.*, 2025).

A interpretação desses achados com relação à fisiopatologia do envelhecimento cutâneo mostra uma relação entre os padrões ultrassonográficos observados e processos biológicos subjacentes. A redução da ecogenicidade dérmica, descrita nos estudos analisados, revela alterações na matriz extracelular, como diminuição da densidade de fibras colágenas, fragmentação das fibras elásticas e redução da atividade fibroblástica. Estudos recentes em USG dermatológica destacam que essas modificações estruturais resultam em maior heterogeneidade do tecido dérmico, justificando os padrões de imagem observados em indivíduos mais idosos. Dessa forma, essa tecnologia atua como um método indireto, porém sensível, para a avaliação das transformações fisiológicas do envelhecimento cutâneo (Korzekwa *et al.*, 2025; Pequeno; Bagatin, 2024).

Além das alterações quantitativas da espessura dérmica, a USG de alta frequência tem se mostrado sensível para detectar modificações na ecogenicidade da pele e o surgimento da banda hipoeecótica subepidérmica (SLEB). Embora existam resultados conflitantes na literatura quanto a esse parâmetro, observa-se que a ecogenicidade

dérmica pode apresentar um aumento progressivo em certos contextos, refletindo uma maior densidade de colágeno e redução da substância intercelular. Essa variação quantitativa é demonstrada por análises baseadas em pixels, utilizando a classificação pixels de baixa ecogenicidade LEP (0-30), pixels de média ecogenicidade MEP (50-150) e pixels de alta ecogenicidade HEP (200-255). Já a SLEB, caracterizada como uma faixa bem delimitada de baixa ecogenicidade localizada imediatamente abaixo da epiderme, está diretamente associada ao fotoenvelhecimento e ao acúmulo de proteoglicanos na derme papilar, sendo considerada um marcador valioso do dano actínico. Estudos têm demonstrado que a SLEB aumenta linearmente com a idade e pode regredir ou até desaparecer após intervenções terapêuticas, como o uso tópico de tretinoína 0,05% por seis meses, evidenciando seu potencial como parâmetro objetivo para monitorar respostas a tratamentos antienvelhecimento (Pequeno; Bagatin, 2024)

O afinamento dérmico e redução da ecogenicidade identificados por USG estão relacionados à perda de colágeno, desorganização da matriz extracelular e alterações microvasculares observadas em análises histológicas da pele envelhecida. Embora os estudos incluídos nesta revisão não tenham realizado correlação histológica direta, a literatura de apoio demonstra que a USG de alta frequência apresenta boa concordância estrutural com achados microscópicos, o que amplia sua aplicabilidade em contextos clínicos e de pesquisa (quadro 2), (Nicolescu, *et al.*, 2023).

Quadro 2 – Comparação dos principais parâmetros ultrassonográficos entre pele jovem e pele madura

Parâmetro ultrassonográfico	Pele jovem	Pele madura
Ecogenicidade dérmica	Homogênea e hiperecoica	Variável e heterogênea
Espessura dérmica	Preservada	Reduzida
Ecotextura	Regular e uniforme	Heterogênea
Banda hipoecoica subepidérmica (SLEB)	Ausente ou discreta	Evidente e associada ao fotoenvelhecimento
Envelope do sinal ultrassonográfico	Maior amplitude	Redução da amplitude
Parâmetro de Nakagami (m)	Valores mais elevados	Valores reduzidos
Entropia do sinal	Menor heterogeneidade	Maior heterogeneidade

Fonte: Autor 2026.

Nesse cenário, a USG de alta frequência se consolida como um método complementar ao exame clínico na avaliação do envelhecimento cutâneo. Enquanto a avaliação clínica permanece essencial para a identificação de sinais visíveis, como rugas e flacidez, a USG permite a análise objetiva das camadas profundas da pele,

oferecendo dados quantitativos que não podem ser obtidos apenas pela inspeção visual. Estudos destacam que essa abordagem complementar contribui para uma avaliação mais precisa do estado estrutural da pele e possibilita o acompanhamento longitudinal de alterações relacionadas à idade ou a intervenções terapêuticas (Czajkowska, *et al.*, 2023).

É fundamental reconhecer as limitações metodológicas dos estudos analisados. A variedade dos protocolos de imagem, variação nas frequências dos transdutores utilizados e diferenças nos critérios de seleção das amostras dificultam a comparação direta entre os estudos. A predominância de delineamentos transversais limita a compreensão da progressão temporal do envelhecimento cutâneo. Essas limitações metodológicas ajudam a explicar o número reduzido de estudos incluídos nos resultados e reforçam a necessidade de padronização dos métodos em futuras investigações (Meng, *et al.*, 2022; Nicolescu, *et al.*, 2023).

No que diz respeito às implicações clínicas e científicas, os achados indicam que terapias antienvelhecimento podem ser monitoradas objetivamente por meio da USG. Estudos que utilizaram parâmetros USG para acompanhar intervenções demonstraram sensibilidade do método em detectar mudanças estruturais da derme, indicando sua utilidade na avaliação da eficácia terapêutica. Assim, a ultrassonografia pode contribuir para abordagens mais individualizadas e baseadas em evidências no manejo do envelhecimento cutâneo (Czajkowska, *et al.*, 2023).

Os avanços na USG quantitativa abrem perspectivas para a pesquisa científica na área do envelhecimento cutâneo. Abordagens baseadas em análise quantitativa e modelagem matemática do sinal ultrassonográfico podem identificar alterações estruturais sutis não detectáveis por métodos convencionais. Aliadas às inovações tecnológicas descritas na literatura, essas abordagens representam um caminho promissor para o desenvolvimento de parâmetros ultrassonográficos quantitativos para o envelhecimento da pele, destacando a necessidade de estudos longitudinais, com amostras maiores e protocolos padronizados (Li, *et al.*, 2025; YaPingTao, *et al.*, 2022).

6. CONCLUSÃO

A USG de alta frequência constitui um método eficaz e sensível para a avaliação das alterações estruturais da pele associadas ao envelhecimento. Foi demonstrado que parâmetros como espessura dérmica, ecogenicidade, presença da banda hipoecoica subepidérmica (SLEB) e medidas quantitativas do sinal ultrassonográfico sofrem modificações progressivas com o avanço da idade, refletindo alterações fisiológicas da matriz extracelular e da organização tecidual. Esses achados reforçam a relevância da USG como ferramenta objetiva na investigação do envelhecimento cutâneo, especialmente quando métodos invasivos não são desejáveis.

Além disso, a análise integrada dos estudos evidenciou que os padrões ultrassonográficos observados apresentam relação consistente com os processos fisiopatológicos do envelhecimento da pele descritos na literatura, como a redução da densidade de colágeno, a fragmentação das fibras elásticas e a diminuição da atividade fibroblástica. Embora os estudos incluídos não tenham realizado correlação histológica direta, a literatura sustenta que a ultrassonografia de alta frequência demonstra que essas alterações microscópicas, fortalecem a aplicabilidade como método complementar na avaliação estrutural da pele envelhecida.

A capacidade de fornecer dados quantitativos permite não apenas a caracterização do estado da pele, mas o acompanhamento de intervenções terapêuticas, auxiliando na tomada de decisões clínicas baseadas em evidências. Nesse contexto, o método se mostra promissor no monitoramento de terapias antienvelhecimento.

Entretanto, esta revisão também evidencia limitações importantes, como o número reduzido de estudos elegíveis, a heterogeneidade dos protocolos ultrassonográficos e a predominância de delineamentos transversais. Essas limitações dificultam a comparação direta entre os estudos e restringem a generalização dos achados, ressaltando a necessidade de maior padronização metodológica e de investigações longitudinais que permitam compreender a progressão temporal das alterações cutâneas associadas ao envelhecimento.

Os avanços tecnológicos e o desenvolvimento de abordagens quantitativas na USG de alta frequência apontam perspectivas promissoras para futuras pesquisas. A incorporação de técnicas de análise avançada do sinal ultrassonográfico pode contribuir para a identificação de marcadores ultrassonográficos do envelhecimento

cutâneo, ampliando o papel da USG tanto na prática clínica quanto na pesquisa científica. Assim, é fundamental que estudos futuros apresentem protocolos padronizados e integrados com dados clínicos, ultrassonográficos e histológicos para consolidação do uso dessa tecnologia na avaliação do envelhecimento da pele.

REFERÊNCIAS

ALMUHANNA, N. *et al.* Overview of Ultrasound Imaging Applications in Dermatology. **Journal of Medical Cutaneous Surgery**, v. 25, n. 5, p. 521-529, 2021.

CHAUDHARY, M. *et al.* Skin Ageing: Pathophysiology and Current Market Treatment Approaches. **Current Aging Science**, v. 13, n.1, 2020.

CUNHA, M. G.; ENGRACIA, M.; SOUZA, L. G. Bioestimuladores e seus mecanismos de ação. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 12, n. 2, p. 109-117, 2020.

CZAJKOWSKA, J. *et al.* High-frequency ultrasound in anti-aging skin therapy monitoring. **Scientific reports**, v. 13, n.1, p.1-13, 2023.

EDI, L. *et al.* Fat Compartment Gliding Theory – A Novel Technique for the Repositioning of Superficial Fat Compartments for Facial Rejuvenation. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. 16, n. 1, p. 3077-3090, 2023.

GIBBONS, I. L. **Ultrassonografia de alta frequência e Doppler no diagnóstico, caracterização e seguimento dos tumores cutâneos**. 2023. Dissertação (Doutorado em Oncologia) — Fundação Antônio Prudente, São Paulo, 2023.

JOHNER, K.; GOELZER, C. F. Análise dos fatores de risco para o envelhecimento da pele: aspectos nutricionais. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 3, p. 10000-1018, 2021.

JOSHI, S. V.; SADEGHPOUR, S.; KUZNETSOVA, N.; WANG, C.; KRAFT, M. Flexible micromachined ultrasound transducers (MUTs) for biomedical applications. **Microsystems & Nanoengineering**, v. 11, n. 9, p. 1-21, 2025.

KORZEKWA, S. *et al.* Quantitative analysis of the human face skin thickness—a high-frequency ultrasound study. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 23, p. 8401-8420, 2025.

LEVY, J. *et al.* High-frequency ultrasound in clinical dermatology: a review. **The Ultrasound Journal**, v. 13, n.1, p. 24, 2021.

LI, Y. *et al.* High-frequency quantitative ultrasound in characterizing human skin aging: an exploration of the non-modeling and modeling approaches. **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, v.15, n.7, p.6372-6385, 2025.

LOTFOLLAHI, Z. The anatomy, physiology and function of all skin layers and the impact of ageing on the skin. **Wound Practice and Research**, v. 32, n.1, p. 6-10, 2024.

MENG, Y. *et al.* Application of high-frequency ultrasound to assess facial skin thickness in association with gender, age, and BMI in healthy adults. **BMC Medical Imaging**, v. 22, n.113, p. 1-7, 2022.

NICOLESCU, A. *et al.* Subepidermal Low-Echogenic Band-Its Utility in Clinical Practice: A Systematic Review. **Diagnostics**, v. 13, n.4, p.970, 2023

PEQUENO, A.L.V.; BAGATIN, E. Dermatological ultrasound in assessing skin aging. **Frontiers**, v. 11, n. 1, p.1-4, 2024.

QUAN, T. Molecular insights of human skin epidermal and dermal aging. **Journal of Dermatological Science**, v.112, n. 2, p. 48-53, 2023.

RICCI, V. *et al.* From Histopathology to High-Resolution Ultrasound Imaging of Skin Scars. **Diagnostics**, v. 13, n. 1, p. 3629, 2023.

RODRIGUEZ, J. *et al.* Decoding Skin Aging: A Review of Mechanisms, Markers, and Modern Therapies. **Cosmetics**, v. 12, n. 4, p.144-173, 2025.

SOE, Y.; SIM, V.; KUMARI, S. Innate Immune Sensors and Cell Death—Frontiers Coordinating Homeostasis, Immunity, and Inflammation in Skin. **Viruses**, v. 17, n. 2, p. 241-275, 2025.

TAO, Y. *et al.* Emerging High-Frequency Ultrasound Imaging in Medical Cosmetology. **Frontiers**, v.13, n.1, p. 1-13, 2022.

VERONESE, S. *et al.* Histological analysis of the dermal and hypodermal layers of the face and correlation with high-frequency 24 MHz ultrasonography and elastosonography. **European Journal of Histochemistry**, v. 68, n.2, p. 1-10, 2024.

XIANG, X. *et al.* Advances and Applications in Dermatological Ultrasound. **Sciopen**, v.4, n.1, p. 457-466, 2025.

YIN, H.; HU, M.; LI, D. Regulação da estratificação epidermal e desenvolvimento por queratinócitos basais. **Journal of Cellular Physiology**, v. 238, n. 4, p. 742-748, 2023.

YOUSEF, H. *et al.* Anatomy, skin (integument), epidermis. **StatPearls**, v. 1, n.1, p.1, 2024.