Fotobiomodulação no tratamento da alopecia androgenética: mecanismos de ação e evidências clínicas

Photobiomodulation in the Treatment of Androgenetic Alopecia: Mechanisms of Action and Clinical Evidence

1. Alanna Almeida de Camargo
1. Nicolly Passos Silva
2. Orientadora: Ma. Patrícia Lius Melo Alves
Afiliação: 1. Acadêmicas do curso de Biomedicina da Universidade de Sorocaba
2. Professora assistente da Universidade de Sorocaba

RESUMO: A alopecia androgenética é a forma mais comum de perda capilar em homens e mulheres, caracterizada pela miniaturização progressiva dos folículos pilosos e impacto significativo na qualidade de vida. Diante das limitações de terapias convencionais, a fotobiomodulação por laser de baixa intensidade tem sido investigada como uma alternativa terapêutica não invasiva. O presente estudo tem como objetivo analisar os mecanismos de ação e as evidências clínicas da fotobiomodulação no tratamento da alopecia androgenética. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, realizada a partir de bases de dados como *PubMed, MEDLINE, SciELO*, Biblioteca Virtual em Saúde e *Google Scholar*, incluindo artigos publicados entre 2008 e 2025, em língua portuguesa e inglesa, disponíveis na íntegra e relacionados ao tema. Os estudos analisados indicam que a fotobiomodulação atua por meio da estimulação mitocondrial, aumento da produção de ATP, modulação inflamatória e prolongamento da fase anágena, contribuindo para melhora da densidade e espessura capilar. No entanto, foram identificadas limitações importantes, como a falta de padronização dos protocolos, variabilidade dos dispositivos e necessidade de estudos com maior tempo de seguimento. Conclui-se que a fotobiomodulação apresenta resultados promissores como terapia adjuvante no tratamento da alopecia androgenética, embora ainda sejam necessários estudos mais robustos para consolidar sua aplicação clínica.

Palavras-chave: Alopecia androgenética; Fotobiomodulação; Laser de baixa intensidade; Terapia capilar; Crescimento capilar.

ABSTRACT: Androgenetic alopecia is the most common form of hair loss in men and women, characterized by progressive miniaturization of hair follicles and significant.impact on quality of life. Due to the limitations of conventional therapies, low-level laser photobiomodulation has been investigated as a non-invasive therapeutic alternative. This study aims to analyze the mechanisms of action and clinical evidence of photobiomodulation in the treatment of androgenetic alopecia. This is a narrative literature review based on databases such as PubMed, MEDLINE, SciELO, Virtual Health Library and Google Scholar, including studies published between 2010 and 2025, in English and Portuguese, with full-text availability and relevance to the proposed topic. The analyzed studies indicate that photobiomodulation acts through mitochondrial stimulation, increased ATP production, inflammatory modulation and prolongation of the anagen phase, contributing to improvements in hair density and thickness. However, important limitations were identified, including lack of protocol standardization, variability of devices and need for longer follow-up studies. It is concluded that photobiomodulation shows promising results as an adjuvant therapy for androgenetic alopecia, although more robust studies are still needed to support its clinical application.

Keywords: Androgenetic alopecia; Photobiomodulation; Low-level laser therapy; Hair therapy; Hair growth

1 INTRODUÇÃO

A alopecia androgenética (AAG) é a forma mais comum de perda capilar em homens e mulheres, caracterizando-se pela miniaturização progressiva dos folículos pilosos em indivíduos geneticamente predispostos[1], [2]. Essa condição está diretamente relacionada à ação dos hormônios androgênicos, especialmente a di-hidrotestosterona (DHT), que atua sobre os folículos, promovendo a redução gradual da espessura e do comprimento dos fios, resultando na rarefação capilar observada clinicamente[1-4].

Além do sistema hormonal e a genética, a fisiopatologia da AAG envolve muitos mecanismos internos, como o aumento de processos inflamatórios, alterações microvasculares e disfunções no ciclo de vida do folículo piloso[2-4]. O folículo piloso apresenta um ciclo recorrente composto pelas fases anágena, catágena e telógena, alterações nesse ciclo causadas por desequilíbrios do sistema capilar levam à

redução da fase de crescimento e ao aumento do afinamento dos fios[2, 4]. Essas alterações impactam diretamente a qualidade de vida das pessoas que sofrem com essa patologia, afetando aspectos psicológicos e sociais[1, 4].

O aumento de casos da alopecia androgenética reforça sua relevância clínica. Estudos apontam que uma quantidade significativa da população pode desenvolver algum grau da condição ao longo da vida, com aumento progressivo do envelhecimento[3,5]. Dessa forma, a AAG não deve ser considerada apenas uma condição estética, estudos indicam que ela afeta a autoestima e bem-estar emocional tendo um impacto biopsicossocial importante[5].

Atualmente, o manejo da AAG envolve diferentes abordagens e tratamentos. Entre os protocolos mais utilizados destacam-se o minoxidil e a finasterida, que atuam na estabilização do ciclo capilar e no estímulo ao crescimento dos fios[6-10]. No entanto, essas terapias apresentam limitações, como necessidade de uso contínuo, possíveis efeitos colaterais e resposta variável entre os pacientes[5-7].

Nesse contexto, a fotobiomodulação por laser de baixa intensidade (*Low-Level Laser Therapy – LLLT*) tem se mostrado como uma alternativa terapêutica não invasiva e inovadora. Essa técnica utiliza luz em comprimentos de onda específicos, geralmente nas faixas do vermelho e infravermelho próximo, com o objetivo de estimular processos celulares e metabólicos nos tecidos[7, 8].

Estudos científicos mostram que a fotobiomodulação atua principalmente na mitocôndria dentro da célula, aumentando a produção de ATP, melhorando processos inflamatórios e estímulo à atividade celular do folículo piloso[9, 10]. Esses efeitos contribuem para o prolongamento da fase de crescimento, a fase anágena e para a melhora da densidade e espessura capilar[7, 10].

Diante disso, esse estudo narrativo tem como objetivo analisar os mecanismos de ação e as evidências clínicas da fotobiomodulação por laser de baixa intensidade no tratamento da alopecia androgenética.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Seleção dos artigos

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados eletrônicas amplamente utilizadas na área da saúde e das ciências biomédicas, *incluindo PubMed, MEDLINE, SciELO*, Biblioteca Virtual em Saúde e *Google Scholar*. Foram utilizados descritores

em inglês “*androgenetic alopecia*”, “*photobiomodulation*”, “*low-level laser therapy*” e *“hair growth*” combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR a fim de ampliar e refinar os resultados da busca. Essas bases de dados foram selecionadas por reunirem muitas publicações científicas relevantes na área biomédica.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos publicados no período de 1994 a 2025, redigidos em língua inglesa ou portuguesa, disponíveis em acesso aberto (PDF) e que abordassem diretamente o uso da fotobiomodulação por laser de baixa intensidade no tratamento da alopecia androgenética.

Foram excluídos da análise estudos duplicados, artigos que não apresentavam relação direta com o tema proposto, publicações sem acesso ao texto completo e estudos publicados antes do ano de 1994, por não atenderem aos critérios estabelecidos para esta revisão.

2.2 Alopecia androgenética

A alopecia androgenética (AAG) é uma doença crônica, progressiva e pode se desenvolver a partir de fatores multifatoriais. Suas características clínicas envolvem miniaturização dos folículos pilosos em indivíduos com predisposição genética, mediada principalmente pela ação dos andrógenos, especialmente a di-hidrotestosterona (DHT)[1,2,3].

A fisiopatologia da AAG envolve a alteração e interação entre fatores hormonais, genéticos e moleculares. A conversão da testosterona em DHT pela enzima 5-alfa-redutase causa a ligação deste hormônio aos receptores androgênicos presentes na papila dérmica, favorecendo uma cascata de eventos que levam à miniaturização folicular[2,3].

Esse processo resulta na diminuição progressiva da fase anágena (fase de crescimento dos fios) e no aumento relativo da fase telógena (fase de queda dos fios), alterando o ciclo de crescimento capilar e favorecendo a produção de fios mais finos e curtos. Estudos também demonstram a participação de fatores adicionais, como epigenética, inflamação perifolicular, alterações microvasculares e estresse oxidativo, que contribuem para a progressão da doença[3,4].

Além disso, evidências atuais apontam que a as alterações no funcionamento mitocondrial e a redução da atividade metabólica celular desempenham papel

relevante na diminuição da capacidade regenerativa dos folículos pilosos, tornando o ambiente folicular menos favorável ao crescimento capilar[4,5].

2.2.2 Aspectos Clínicos e Classificação

A manifestação clínica da AAG apresenta padrões diferentes entre os sexos conforme ao quadro 1. Nos homens, observa-se tipicamente recessão da linha frontal associada à rarefação no vértice, sendo classificada pela escala de Hamilton-Norwood. Nas mulheres, o padrão mais comum é o afinamento difuso na região central da linha do couro cabeludo, classificado pela escala de Ludwig[6].

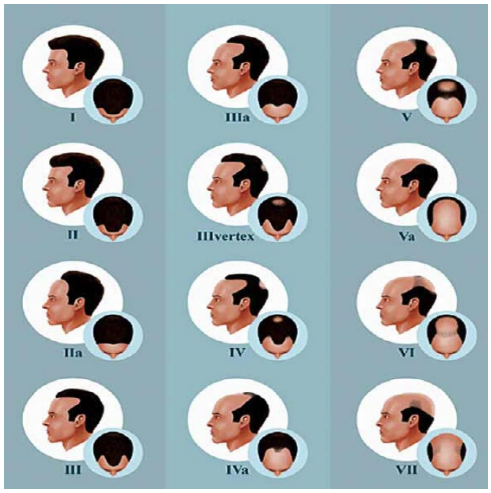
Essas diferenças refletem não apenas a influência hormonal, mas também a distribuição dos receptores androgênicos e a sensibilidade folicular em diferentes regiões do couro cabeludo, incluindo a região frontal e vértice conforme as imagens das figuras 1 e 2 [1], [4].

Quadro 1. Comparação entre os padrões clínicos da alopecia androgenética masculina e feminina.

Característica	**Masculina**	**Feminina**
Padrão de perda	Recuo frontal e vértice	Rarefação difusa central
Linha Frontal	Recuada	Preservada
Classificação	*Hamiltom-Norwood*	*Ludwing*
Influência hormonal	Alta (DHT dominante)	Moderada (fatores hormonais e envelhecimento)
Progressão	Mais rápida e evidente	Mais lenta e difusa
Impacto estético	Evidente precocemente	Mais perceptível em estágios avançados

Fonte: Adaptado de (Hamblin; Chung et al; Karu)[7–9].

Figura 1. Classificação da alopecia androgenética masculina segundo Hamilton-Norwood.



Fonte: Adaptado de (De Freitas; Hamblin) [10].

Figura 2. Classificação da alopecia androgenética feminina segundo Ludwig.

Fonte: Adaptado de (De Freitas; Hamblin) [10].

2.2.3 Evidências Epidemiológicas

A alopecia androgenética é uma condição comum no mundo todo. Estudos indicam que a condição afeta uma parcela significativa da população, com aumento progressivo da incidência ao longo das décadas de vida[6,10,11].

Revisões e estudos clínicos mostram que a AAG não é apenas uma condição estética, mas um distúrbio com base biológica bem estabelecida, envolvendo alterações estruturais e funcionais da pele do couro cabeludo e dos folículos pilosos[11].

Embora ela não interfira diretamente a saúde sistêmica, a AAG apresenta impacto significativo na qualidade de vida dos pacientes. A perda dos cabelos está associada a alterações emocionais, incluindo baixa autoestima, ansiedade e prejuízos na interação social, sendo esses efeitos mais evidentes em mulheres[11].

2.2.4 Abordagens Terapêuticas Atuais

O manejo da alopecia androgenética envolve estratégias medicamentosas e não medicamentosas. Entre os tratamentos mais comuns, destacam-se o minoxidil tópico e a finasterida oral, amplamente descritos na literatura como opções eficazes na estabilização da perda capilar e estímulo ao crescimento dos fios[12]. A finasterida atua por meio da inibição da enzima 5-alfa-redutase, reduzindo os níveis de di-hidrotestosterona (DHT), principal hormônio envolvido na miniaturização folicular[13,14].

Ao longo dos últimos anos, as terapias que utilizam luz foram ganhando espaço, como a fotobiomodulação por laser de baixa intensidade (*low-level laser therapy – LLLT*), têm ganhado destaque na abordagem alternativa e não medicamentosa no tratamento da AAG. Estudos recentes demonstram que essa tecnologia pode promover aumento da densidade capilar e estímulo da atividade celular dos folículos[15-17].

Pesquisas recentes indicam uma ligação entre terapias tradicionais e tecnologias baseadas em luz tende a apresentar melhores resultados clínicos, destacando a importância de abordagens combinadas com outras técnicas no tratamento da alopecia androgenética[15-17].

2.3 Fotobiomodulação por laser de baixa intensidade

2.3.1 Conceito de fotobiomodulação

A fotobiomodulação é uma terapia que recorre a luz de baixa intensidade com o objetivo de promover reações biológicas na pele, sem causar efeitos térmicos ou danos nas células. Essa técnica atua principalmente regulando a atividade celular, facilitando a regeneração de tecidos, reduzindo processos inflamatórios e melhorando a função do metabolismo celular. Nos últimos anos, a fotobiomodulação tem se destacado na área da saúde, incluindo a tricologia, sendo considerada uma alternativa terapêutica complementar no manejo da alopecia androgenética[18-20].

Nesse contexto, essa abordagem tem sido avaliada por sua ação direta no folículo piloso, estimulando sua atividade celular e favorecendo o funcionamento adequado do ciclo capilar. Além disso, é um método não invasivo, indolor e de fácil aplicação, o que melhora a aderência ao tratamento. Mas apesar de ser uma técnica relativamente recente na tricologia seus mecanismos já vêm sendo amplamente investigados na literatura científica[18-19].

2.3.2 Diferença entre laser e outras fontes luminosas como LED

O laser possui propriedades físicas específicas que o distinguem de outras fontes de luz utilizadas na área da pele, como por exemplo, os diodos emissores de luz (*light-emitting diodes* – LED). Entre essas propriedades estão a coerência, a monocromaticidade e a colimação, que permitem que a luz seja emitida de forma coerente e colimada, com um único comprimento de onda e em uma direção bem definida. Essas características permitem controlar a entrega de energia ao tecido[20,21].

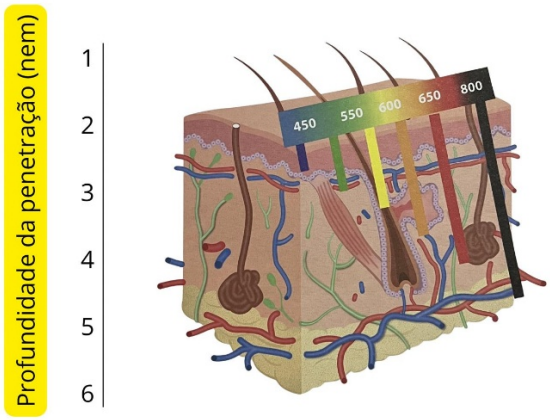
Por outro lado, os LEDs emitem luz de forma menos coerente e com espectro mais amplo de comprimentos de onda, o que pode influenciar a distribuição da energia na pele. Porém, apesar dessas diferenças físicas, ambos podem ser usados na fotobiomodulação, desde que respeitem parâmetros e protocolos adequados de comprimento de onda, potência e tempo de aplicação[19,21,22.] Estudos indicam que tanto o laser quanto o LED podem produzir efeitos biológicos semelhantes, embora existam diferenças na forma de entrega da energia e na padronização dos protocolos utilizados[21,23].

2.3.3 Faixas de comprimento de onda mais utilizadas e parâmetros terapêuticos

As faixas de comprimento de onda mais usadas na fotobiomodulação capilar estão entre 600 e 1100 nm, usando a luz vermelha e o infravermelho próximo. Essas faixas são consideradas ideais devido à sua capacidade de penetrar nas camadas da pele do couro cabeludo e atingir o folículo piloso, que é o foco principal nesse tipo de tratamento[24,25].

Comprimentos de onda na faixa do vermelho entre (630 a 700 nm) apresentam ação mais superficial, enquanto os comprimentos na faixa do infravermelho próximo de (800 nm) possuem maior capacidade de penetração, atingindo tecidos mais profundos. Essa diferença é importante na definição dos parâmetros terapêuticos, uma vez que a profundidade de ação pode influenciar diretamente na resposta do tratamento. Conforme a imagem da figura 3 [24-27]

Figura 3 – Profundidade de penetração em nanômetros.



Fonte adaptada de (Martins & Britto)[27].

2.3.4 Comparação entre laser e LED

Na Quadro 2 a seguir, com base em pesquisas científicas na tabela 1 são apresentadas as principais diferenças entre Laser e LED.

Quadro 2. Comparação entre os aparelhos de Laser e Led.

Faixa espectral	Comprimento de onda (nm)	Cor da luz	Ação biológica	Aplicação da fotobiomodulação na AAG
Luz violeta/azul	~400 – 495 nm	Azul	Ação antimicrobiana superficial	Pouco utilizada para crescimento capilar
Luz vermelha	~622 – 780 nm	Vermelho	Boa penetração, estimula mitocôndria e ATP	Muito usada na AAG
Infravermelho	~780 – 1100 nm	Invisível	Maior penetração tecidual	Atinge estruturas mais profundas do folículo
Luz verde	~495 – 570 nm	Verde	Modulação superficial	Uso complementar
Amarelo/ âmbar	~570 – 622 nm	Amarelo /âmbar	Ação superficial, possível efeito anti-inflamatório leve	Uso complementar

Fonte adaptada de (Martins & Britto)[27].

2.3.5 Efeitos da luz azul na modulação do ambiente folicular e possíveis implicações no crescimento capilar

Estudos mostraram que o LED azul não apresenta evidências diretas no estímulo do crescimento capilar. Sua ação antimicrobiana e anti-inflamatória pode contribuir diretamente na pele do couro cabeludo e consequentemente na modulação do folículo piloso. Considerando que processos inflamatórios e biológicos estão envolvidos na fisiopatologia da AAG, a melhora desse ambiente pode, de forma indireta, favorecer a saúde folicular [2,4,7,10,20].

2.3.6 Princípios gerais da LLLT

Os princípios da terapia com laser de baixa intensidade LLLT *(Low-Level-Laser Therapy*) estão diretamente relacionados à interação da luz com cromóforos celulares, especialmente a enzima mitocondrial citocromo c oxidase. A absorção da luz por essa enzima desencadeia uma série de reações bioquímicas que resultam no aumento da produção de ATP (adenosina trifosfato), principal fonte de energia das células. Esse aumento de energia melhora a ativação celular e aumenta o metabolismo dos tecidos[27].

Além disso, a fotobiomodulação também ajuda na modulação de processos inflamatórios, na melhora da circulação sanguínea local e na liberação de fatores de crescimento, que são fundamentais para a saúde do folículo piloso. Na alopecia androgenética, esses efeitos podem favorecer a transição dos folículos pilosos da fase telógena para a fase anágena, melhorando o crescimento dos fios e o aumento da densidade capilar[27-29].

Apesar dos resultados positivos que a literatura demonstra, ainda existem variações nos protocolos utilizados, incluindo diferenças de potência, tempo de aplicação, frequência das sessões e nos comprimentos de onda usados. Essa falta de padronização demonstra uma limitação importante e reforça a necessidade de mais estudos clínicos para assegurar resultados mais consistentes e terapêuticos[30,31].

2.4 Mecanismos de ação da fotobiomodulação no folículo piloso

A fotobiomodulação atua em processos celulares fundamentais para a manutenção e o crescimento dois fios. Seu principal mecanismo de ação está relacionado à absorção da luz por cromóforos que se localizam entre as células, especialmente a enzima citocromo c oxidase, localizada dentro das células na mitocôndria, considerada um dos principais alvos da terapia[20, 31,32].

A ativação da enzima citocromo c oxidase, aumenta a produção de adenosina trifosfato (ATP), principal fonte de energia celular, resultando na maior atividade energética das células do folículo piloso. Esse aumento de energia melhora processos como proliferação, diferenciação e reparo celular, contribuindo para o estímulo do crescimento capilar[31-33].

Além disso, a fotobiomodulação também aumenta um pouco a produção de espécies reativas de oxigênio (*reactive oxygen species* – ROS), que agem como sinalizadores importantes das células. Em níveis normais, essas moléculas ajudam na ativação de vias relacionadas à sobrevivência e multiplicação celular, contribuindo para a equilibrar do ambiente do folículo piloso[12].

Outro mecanismo que envolve a ativação dessas vias de sinalização das células e o aumento da produção de fatores de crescimento, promovendo a multiplicação das células da matriz folicular. Esse processo está muito associado ao aumento da densidade e da espessura dos fios de cabelo[33,34].

A melhoria da circulação local também é citada como um efeito importante da fotobiomodulação, podendo estar associada ao aumento da microcirculação local por meio da liberação de óxido nítrico (NO), redução de vasodilatação e aumento da circulação sanguínea no couro cabeludo. Esse aumento do transporte de oxigênio e outros nutrientes contribui para a manutenção da atividade fisiológica do folículo piloso e para um ambiente mais saudável ao crescimento capilar[34,35].

A terapia por laser de baixa potência também possui efeito modulador sobre processos de inflamação, reduzindo mediadores inflamatórios o que contribui para um ambiente mais equilibrado no couro cabeludo, o que ajuda na progressão da miniaturização folicular[34-36].

Por fim, a fotobiomodulação tem sido associada ao possível prolongamento da fase anágena do ciclo capilar, fazendo com que a fase de crescimento perdure por mais tempo. Estudos clínicos demonstram aumento da densidade capilar e melhora do crescimento dos fios, embora os mecanismos exatos ainda não estejam completamente elucidados[15-17].

2.4.1 Citocromo COoxidase e aumento de ATP

A fotobiomodulação atua principalmente na mitocôndria dentro das células do folículo piloso, sendo a enzima citocromo c oxidase um dos principais cromóforos responsáveis pela absorção da luz. Essa enzima tem um papel fundamental na cadeia respiratória, sendo essencial para a produção de energia das células[20,31,32].

Quando estimulada pela luz, ocorre aumento da atividade da cadeia de transporte de elétrons, o que leva à elevação do gradiente de prótons e do potencial elétrico da membrana mitocondrial. E a partir disso, há aumento na produção de ATP (adenosina trifosfato), principal fonte de energia celular[20,31,32].

Esse aumento de energia é relevante para o folículo piloso, que apresenta alta demanda metabólica e energética. Com maior disponibilidade de ATP, as células foliculares, como queratinócitos e melanócitos, apresentam melhora na sua atividade funcional, o que pode favorecer processos como proliferação, diferenciação e manutenção do crescimento dos cabelos[20,31,32].

Além disso, o aumento da atividade da mitocôndria causa alterações no equilíbrio iônico das células, incluindo alterações no funcionamento das bombas de sódio (Na^+) e potássio (K^+), e o aumento do fluxo de cálcio (Ca^{2+}). Essas alterações contribuem para a ativação de vias de sinalização entre as células, influenciando diretamente a produção de RNA e DNA[37-39].

Outro efeito importante está ligado ao equilíbrio do processo de oxirredução nas células, o que promove à liberação de óxido nítrico (NO). O óxido nítrico produzido pela atividade da enzima citocromo c oxidase, aumenta a vasodilatação e o aumento do da circulação sanguínea, garantindo maior entrega de oxigênio e nutrientes ao folículo piloso[37-39].

Dessa forma, a fotobiomodulação promove muitas alterações energéticas e bioquímicas que melhoram o metabolismo celular e criam um ambiente mais propício para a manutenção do folículo piloso[37-39].

2.4.2 Modulação de espécies reativas de oxigênio e sinalização celular

Outro mecanismo importante da fotobiomodulação atua regulando às espécies reativas de oxigênio (*reactive oxygen species* – ROS). Embora muitas vezes estejam

associadas a danos, pois quando produzidas em excesso podem oxidar componentes como lipídeos, proteínas e DNA. Em níveis fisiológicos, essas moléculas possuem um papel positivo ajudando na sinalização celular[12,19,32].

Esses efeitos contribuem para a melhora da atividade do folículo piloso e para a manutenção do equilíbrio do ciclo capilar[12,19,32].

2.4.3 Proliferação celular e microcirculação

A partir das alterações de metabolismo celular induzidas pela fotobiomodulação, observa-se que a fotobiomodulação tem sido associada ao aumento da proliferação celular, incluindo queratinócitos, como demonstrado em estudos experimentais in vitro, sugerindo um possível efeito na estimulação da atividade do folículo piloso[37.] Esse efeito está relacionado ao aumento da produção de ATP e à ativação de vias de metabolismo celular, contribuindo para o estímulo ao crescimento capilar e para o aumento da densidade dos fios[32].

2.4.4 Modulação inflamatória e prolongamento da fase anágena

Outro efeito importante da fotobiomodulação é sua ação moduladora sobre processos inflamatórios. Estudos demonstram que essa terapia pode reduzir a liberação de mediadores inflamatórios e modular vias de sinalização celular, contribuindo para um ambiente folicular mais equilibrado[7,10].

Como consequência dos efeitos metabólicos, circulatórios e anti-inflamatórios, a fotobiomodulação tem sido associada ao estímulo do crescimento capilar, podendo favorecer a manutenção dos fios na fase anágena por mais tempo. Esse efeito contribui para a redução da queda e para o aumento da densidade capilar[14,22].

2.4.5 Ciclo biológico Capilar

O folículo piloso apresenta um ciclo biológico, ou seja, cada fio de cabelo passa por fases bem definidas: anágena, catágena e telógena. Conforme a figura 4. [40-42]

A fase anágena é o período de crescimento ativo, caracterizado por intensa atividade de mitose celular intensa na matriz folicular. Essa fase pode durar de 2 a 7 anos no couro cabeludo, sendo responsável pelo tamanho final dos cabelos.

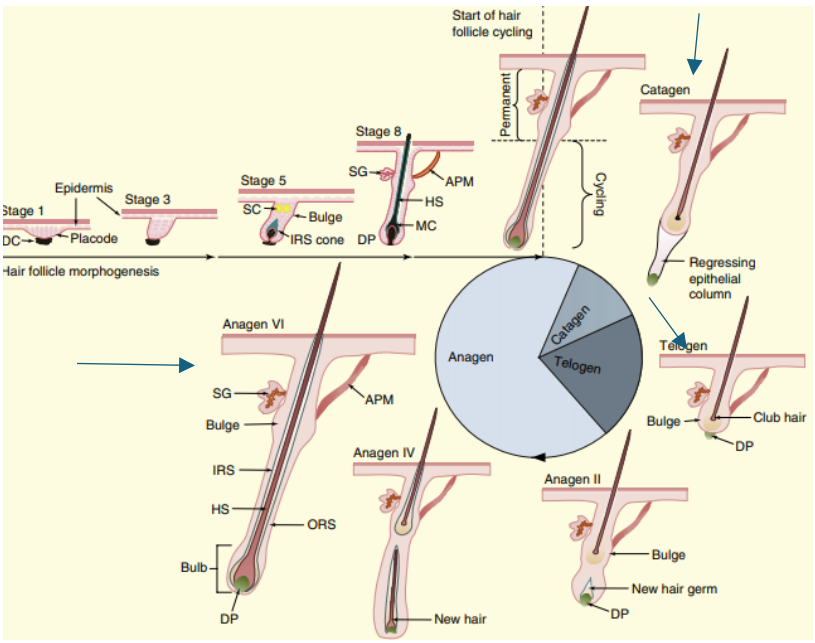
Aproximadamente 85 a 90% dos cabelos encontram-se nessa fase em indivíduos saudáveis[40-42].

A fase catágena é uma fase de transição, caracterizada pela regressão do folículo piloso por meio de apoptose programada. É uma fase curta, com duração média de 2 a 3 semanas, na qual ocorre a involução da estrutura folicular. [40-42]

A fase telógena corresponde ao período de repouso do ciclo capilar, com duração aproximada de 2 a 4 meses. Nessa fase, o fio encontra-se totalmente formado, porém sem atividade proliferativa, permanecendo no folículo até sua liberação. Cerca de 10 a 15% dos fios estão nessa fase. [40-42]

Em condições normais, existe um equilíbrio entre as fases do ciclo capilar. Porém, na alopecia androgenética, observa-se um encurtamento progressivo da fase anágena, associado ao aumento relativo da fase telógena, além da possível ocorrência da fase quenógena, caracterizada por um intervalo em que o folículo permanece vazio antes do início de um novo ciclo. [40-42]

Figura 4 – Ciclo do folículo piloso e suas fases.



Fonte: Adaptado de (Schneider ; Schmidt et al Paus; Qi; Garza LA; Paus; Cotsarelis) [40-42].

2.5 Evidências clínicas da fotobiomodulação na alopecia androgenética

2.5.1 Ensaios clínicos

A eficácia da fotobiomodulação por laser de baixa intensidade no tratamento da alopecia androgenética tem sido avaliada em diversos ensaios clínicos ao longo dos últimos anos. Estudos randomizados e controlados, incluindo comparações com o efeito placebo, demonstram que a terapia pode promover melhora significativa nos parâmetros capilares, especialmente quando utilizada de forma contínua e dentro de protocolos definidos. Esses estudos são fundamentais para sustentar o uso clínico da técnica, uma vez que permitem avaliar a resposta terapêutica de forma mais objetiva e controlada[22,23,28].

2.5.2 Melhora da densidade capilar

Entre os principais achados clínicos, o aumento da densidade capilar é o desfecho mais relatado na literatura. Ensaios clínicos demonstraram que pacientes submetidos à fotobiomodulação apresentaram aumento significativo no número de fios terminais em comparação aos grupos controle, indicando estímulo efetivo ao crescimento capilar[22, 23, 28]. Esse resultado é considerado um dos principais indicadores de eficácia da terapia, sendo frequentemente utilizado como parâmetro objetivo em estudos clínicos[22, 23, 28].

2.5.3 Espessura dos fios

A melhora na espessura dos fios também é descrita em alguns estudos, embora de forma menos consistente quando comparada à densidade capilar. Revisões da literatura apontam que a fotobiomodulação pode contribuir para o aumento do diâmetro dos fios, possivelmente devido à maior atividade metabólica do folículo piloso[6,8,18]. No entanto, esse desfecho ainda apresenta variabilidade entre os estudos, o que pode estar relacionado às diferenças nos protocolos utilizados[6,8,18].

2.5.4 Resposta em homens e mulheres

A resposta ao tratamento com fotobiomodulação tem sido observada tanto em homens quanto em mulheres com alopecia androgenética. Estudos clínicos e revisões

da literatura indicam que ambos os grupos podem apresentar melhora especialmente no aumento da densidade e na contagem de fios terminais[9,17,24,34].

Entretanto, variações na resposta ao tratamento podem ocorrer entre os sexos e de acordo com a região acometida. Em homens, alguns estudos sugerem melhor resposta em áreas com menor grau de miniaturização folicular, como regiões iniciais de rarefação, enquanto áreas mais avançadas podem apresentar resposta limitada[18,39].

Nas mulheres, a resposta tende a ser mais difusa, com melhora homogênea da densidade capilar, principalmente em quadros iniciais e moderados. Alterações hormonais, como aquelas observadas no período pós-menopausa, podem influenciar tanto a progressão da alopecia quanto a resposta ao tratamento[17].

Além disso, fatores individuais como o estágio da alopecia, presença de inflamação, adesão ao tratamento e associação com outras terapias desempenham papel fundamental nos resultados obtidos, independentemente do sexo. Dessa forma, embora a fotobiomodulação apresente eficácia em ambos os grupos, a resposta clínica pode variar de acordo com características individuais e estágio da doença, reforçando a importância de uma abordagem terapêutica personalizada[17,24,34].

2.5.5 Comparação com placebo e terapias associadas

Ensaios clínicos controlados demonstram que a fotobiomodulação apresenta resultados superiores ao placebo, especialmente no aumento da densidade capilar e na melhora de crescimento dos fios. Esses achados são reforçados por meta-análises recentes, que evidenciam a eficácia do laser na alopecia androgenética, mostrando seu papel como uma opção terapêutica [9,17,18,39].

Além disso, estudos indicam que a associação da fotobiomodulação com outras terapias, como o uso de Minoxidil, pode potencializar os efeitos clínicos, promovendo melhores resultados quando comparados ao uso isolado das intervenções[32, 31]. Essa abordagem tem sido frequentemente explorada na prática como estratégia para melhorar os resultados dos protocolos[31,34].

No entanto, a combinação de diferentes terapias pode dificultar a avaliação isolada do efeito da fotobiomodulação, trazendo uma limitação importante na interpretação dos resultados. Além disso, a diversidade dos protocolos utilizados entre os estudos também contribui para a variabilidade dos achados clínicos[8,12,31].

2.5.6 Métodos de avaliação da eficácia da fotobiomodulação

Ensaios clínicos randomizados mostraram que a avaliação da eficácia da fotobiomodulação por laser de baixa intensidade no tratamento da alopecia androgenética é realizada por meio de parâmetros objetivos e subjetivos, sendo fundamental para comparar parar os resultados clínicos através de dados concretos e percepções. Permitindo a comparação entre diferentes protocolos terapêuticos. Estudos clássicos utilizaram a contagem de fios e a análise da densidade capilar como principais métodos de avaliação[23].

Entre os métodos muito utilizados na literatura, mostra-se a contagem de fios (*hair count*) em áreas delimitadas do couro cabeludo, geralmente em número de fios por centímetro quadrado (fios/cm²). Esse método mostra uma análise quantitativa direta do crescimento capilar e é muito usada em ensaios clínicos randomizados[23].

Outro parâmetro frequentemente utilizado é a densidade capilar, avaliada por meio de técnicas como o fototricograma e a tricoscopia digital. Essas ferramentas possibilitam uma análise detalhada do couro cabeludo, ampliando a visibilidade das estruturas, permitindo a identificação de alterações no ciclo capilar, miniaturização folicular e proporção entre fios terminais e velos, sendo consideradas métodos mais precisos e reprodutíveis[23].

A espessura dos fios (diâmetro capilar) também é avaliada em alguns estudos, geralmente por meio de dispositivos digitais com software de análise de imagem. Embora esse parâmetro seja relevante, os resultados na literatura apresentam maior variabilidade quando comparados à densidade capilar[25,34].

Além dos métodos objetivos, muitos estudos utilizam registros fotográficos padronizados (*global photography*), realizados em condições controladas de iluminação, distância e posicionamento. Esse método permite a comparação visual da evolução clínica, embora apresente caráter mais subjetivo[23,41].

Adicionalmente, são empregadas escalas de avaliação global, realizadas por investigadores ou pelos próprios pacientes, bem como questionários de satisfação e qualidade de vida, que contribuem para a análise da percepção dos resultados terapêuticos[17,25].

Apesar da variedade de métodos disponíveis, a literatura evidencia uma importante limitação relacionada à falta de padronização dos critérios de avaliação, o que dificulta a comparação direta entre os estudos e a definição de parâmetros clínicos

universais[34,35]. Dessa forma, a combinação de métodos objetivos, como tricoscopia e contagem de fios, com avaliações subjetivas tem sido considerada a abordagem mais adequada para análise da eficácia da fotobiomodulação[17,25,34,35].

2.6 Limitações, controvérsias e perspectivas clínicas

2.6.1 Falta de padronização dos protocolos

Um dos principais desafios na aplicação da fotobiomodulação no tratamento da alopecia androgenética é a ausência de padronização dos protocolos utilizados nos estudos. Há variações nos parâmetros como comprimento de onda, energia, tempo de exposição, frequência das sessões e duração total do tratamento, o que compromete a comparabilidade entre os resultados clínicos[28, 34].

Essa heterogeneidade metodológica dificulta a definição de diretrizes terapêuticas bem estabelecidas, limitando a reprodutibilidade dos resultados e a consolidação de um protocolo clínico ideal[28, 35]. Como consequência, a aplicação prática da técnica pode apresentar variações na resposta entre pacientes, especialmente quando não há individualização adequada dos parâmetros utilizados[34,35].

2.6.2 Variabilidade dos aparelhos

A variabilidade dos dispositivos utilizados na fotobiomodulação também representa um fator relevante na interpretação dos resultados clínicos. Diferentes aparelhos, como capacetes, pentes e dispositivos clínicos a laser ou LED, apresentam variações significativas em parâmetros como potência, comprimento de onda, densidade de energia e forma de distribuição da luz no couro cabeludo. Essas diferenças técnicas podem impactar diretamente a eficácia do tratamento, dificultando a padronização dos resultados entre os estudos. Além disso, nem todos os dispositivos disponíveis no mercado possuem o mesmo nível de evidência científica, o que reforça a necessidade de avaliação criteriosa na escolha do equipamento[28, 30, 33, 34, 43].

2.6.3 Tempo de seguimento

Outro aspecto relevante refere-se ao tempo de seguimento dos estudos. Muitos ensaios clínicos avaliam os efeitos da fotobiomodulação em períodos relativamente curtos, o que limita a compreensão sobre a durabilidade dos resultados ao longo do tempo. Ainda não está claramente estabelecido por quanto tempo os benefícios se mantêm após a interrupção do tratamento, nem qual seria a necessidade de terapias de manutenção a longo prazo[25,28,32,34,44].

2.6.4 Amostras pequenas

Grande parte dos estudos clínicos apresenta amostras reduzidas, o que limita a robustez estatística dos achados. Amostras pequenas aumentam o risco de viés e dificultam a generalização dos resultados para diferentes populações. Dessa forma, embora os dados disponíveis sejam promissores, é necessário cautela na extrapolação dos resultados para a prática clínica[24,25,32,35,44-46].

2.6.5 Associação com outras terapias

Outro ponto amplamente discutido na literatura é a associação da fotobiomodulação com outras terapias, como minoxidil e finasterida. Embora estudos indiquem que essa combinação pode potencializar os resultados clínicos, essa abordagem dificulta a avaliação isolada da eficácia da fotobiomodulação, uma vez que os efeitos observados podem resultar da ação conjunta das intervenções [24,32,34,47,48].

Além das terapias farmacológicas convencionais, outras abordagens complementares também vêm sendo investigadas, como o uso de óleos essenciais. Alguns estudos sugerem que esses compostos apresentam propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas e moduladoras da microcirculação, podendo contribuir para a melhora do microambiente do couro cabeludo. No entanto, as evidências ainda são limitadas e heterogêneas, com escassez de ensaios clínicos robustos, sendo seu uso considerado adjuvante às terapias principais[27.]

2.6.6 Necessidade de mais estudos

Diante dessas limitações, a literatura recente reforça a necessidade de estudos clínicos mais robustos, com amostras maiores, protocolos padronizados e

acompanhamento a longo prazo. Esses fatores são essenciais para consolidar o papel da fotobiomodulação no tratamento da alopecia androgenética e aumentar a confiabilidade de sua aplicação na prática clínica[24,32,34,35].

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão teve como objetivo analisar os mecanismos de ação e as evidências clínicas da fotobiomodulação por laser de baixa intensidade no tratamento da alopecia androgenética. A partir dos estudos analisados, foi possível observar que essa terapia atua principalmente na estimulação da atividade mitocondrial, aumento da produção de ATP (adenosina trifosfato), modulação de processos inflamatórios e prolongamento da fase anágena, contribuindo para a melhora da densidade e espessura dos fios.

Do ponto de vista clínico, a fotobiomodulação se apresenta como uma alternativa terapêutica promissora, especialmente por ser um método não invasivo e com baixo risco de efeitos adversos. No entanto, sua eficácia ainda apresenta variações, principalmente em função da falta de padronização dos protocolos, da diversidade dos dispositivos utilizados e das diferenças metodológicas entre os estudos.

Além disso, observa-se que, na prática clínica, a fotobiomodulação é frequentemente associada a outras terapias, como o uso de Minoxidil e Finasterida, o que pode potencializar os resultados, mas também dificulta a avaliação isolada da sua efetividade.

Diante disso, torna-se evidente a necessidade de estudos clínicos mais robustos, com amostras maiores, protocolos padronizados e acompanhamento a longo prazo, a fim de consolidar o papel da fotobiomodulação no tratamento da alopecia androgenética.

Assim, conclui-se que, embora os resultados atuais sejam promissores, a fotobiomodulação deve ser compreendida como uma terapia adjuvante, cuja aplicação clínica deve ser baseada em evidências científicas e associada a uma abordagem individualizada para cada paciente.

REFERÊNCIAS

1. Sinclair RD. Male pattern androgenetic alopecia. BMJ. 1998;317(7162):865-9.
2. Trüeb RM. Molecular mechanisms of androgenetic alopecia. Exp Gerontol. 2002;37(8-9):981-90.
3. Wang TL, Zhou C, Shen YW, et al. Prevalence of androgenetic alopecia in China: a community-based study in six cities. Br J Dermatol. 2010;162(4):843-7.
4. Messenger AG, Sinclair RD. Follicular miniaturization in androgenetic alopecia: clinicopathological correlations. Br J Dermatol. 2006;155(5):926-30.
5. Sociedade Brasileira de Dermatologia. Alopecia androgenética: diagnóstico e tratamento. Rio de Janeiro: SBD; 2020.
6. Avci P, Gupta GK, Clark J, Wikonkal N, Hamblin MR. Low-level laser (light) therapy for treatment of hair loss. Lasers Surg Med. 2014;46(2):144-51.
7. Hamblin MR. Mechanisms and applications of photobiomodulation. AIMS Biophys. 2017;4(3):337-61.
8. Chung H, Dai T, Sharma SK, et al. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. Ann Biomed Eng. 2012;40(2):516-33.
9. Karu TI. Mitochondrial signaling in mammalian cells activated by red and near-IR radiation. Photochem Photobiol. 2008;84(5):1091-9.
10. De Freitas LF, Hamblin MR. Proposed mechanisms of photobiomodulation. Photochem Photobiol Sci. 2016;15(7):912-9.
11. Karu T. Mitochondrial mechanisms of photobiomodulation. Photomed Laser Surg. 2010;28(2):159-60.
12. Chen AC, Arany PR, Huang YY, et al. Low-level laser therapy activates NF-κB via ROS. PLoS One. 2011;6(7):e22453.
13. Barolet D, Boucher A. Proliferative effects of low-level light therapy. J Cosmet Laser Ther. 2010;12(6):256-62.
14. Kim WS, Calderhead RG. LED phototherapy and tissue effects. Lasers Med Sci. 2011;26(2):205-15.
15. Calderhead RG. Is light-emitting diode phototherapy (LED-LLLT) really effective? Lasers Surg Med. 2007;39(8):605-12.
16. Anders JJ, Arany PR, Baxter GD, Lanzafame RJ. Light-emitting diode therapy and low-level light therapy are photobiomodulation therapy. Photomed Laser Surg. 2019;37(2):63-5.
17. Gupta AK, Foley KA. Low-level laser therapy for hair loss. Dermatol Surg. 2017;43(2):188-97.
18. Wikramanayake TC, et al. Low-level laser therapy in androgenetic alopecia. Expert Rev Dermatol. 2012;7(5):435-45.
19. Baxter GD. Therapeutic lasers: theory and practice. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1994.
20. Gupta AK, Daigle D. The role of low-level laser therapy in the treatment of androgenetic alopecia. J Dermatolog Treat. 2017;28(6):550-4.
21. Karu T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. J Photochem Photobiol B. 1999;49(1):1-17.
22. Lanzafame RJ, Blanche RR, Bodian AB, Chiacchierini RP, Fernandez-Obregon A, Kazmirek ER. The growth of human scalp hair mediated by visible red light laser and LED sources in males. Lasers Surg Med. 2013;45(8):487-95.
23. Jimenez JJ, Wikramanayake TC, Bergfeld W, et al. Efficacy and safety of low-level laser therapy for androgenetic alopecia. Am J Clin Dermatol. 2014;15(2):115-27.

24. Adil A, Godwin M. The effectiveness of treatments for androgenetic alopecia: a systematic review. J Am Acad Dermatol. 2017;77(1):136-41.
25. Afifi L, Maranda EL, Zarei M, et al. Low-level laser therapy as a treatment for androgenetic alopecia: a systematic review. Lasers Med Sci. 2017;32(5):1169-79.
26. Suchonwanit P, Thammarucha S, Leerunyakul K. Minoxidil and its use in hair disorders: a review. Drug Des Devel Ther. 2019;13:2777-86.
27. Martins Junior C, Brito da Silva J. Aromaterapia nos tratamentos capilares: a prática e a vivência dos óleos essenciais na tricologia. Curitiba: Academia Brasileira de Tricologia; 2025.
28. Leavitt M, Charles G, Heyman E, Michaels D. HairMax LaserComb laser phototherapy device in the treatment of male androgenetic alopecia: a randomized, double-blind, sham device-controlled trial. Clin Drug Investig. 2009;29(5):283-92.
29. Son Y, et al. Effects of photobiomodulation on multiple health outcomes: an umbrella review of randomized clinical trials. Syst Rev. 2025;14(1):160.
30. Gupta AK, Taylor D, Nouri K. Lasers for treatment of androgenetic alopecia: an in-depth analysis. Lasers Med Sci. 2025;40(1):108.
31. Hamblin MR. Photobiomodulation for alopecia: mechanisms of action. In: Hair loss: advances and treatments. Cham: Springer; 2024. p. 53-64.
32. Lueangarun S, et al. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials of FDA-approved low-level light/laser therapy devices for pattern hair loss. J Clin Aesthet Dermatol. 2021;14(11):E64.
33. Heiskanen V, Hamblin MR. Photobiomodulation: lasers vs light-emitting diodes? Photochem Photobiol Sci. 2018;17(8):1003-17.
34. Vanaria RJ, Chaudry A, Nestor MS. The use of light-based therapies in the treatment of alopecia. J Cosmet Dermatol. 2025;24(9):e70434.
35. Perez SM, et al. Low-level laser and LED therapy in alopecia: a systematic review and meta-analysis. Dermatol Surg. 2025;51(2):179-83.
36. Chuo HE, et al. Evaluating the efficacy of low-level laser-based treatments for androgenetic alopecia: a network meta-analysis. Dermatol Sin. 2025;43(4):285-97.
37. Karu TI. Mechanisms of low-power laser light action on cellular level. In: Effects of low-power light on biological systems V. Proc SPIE. 2000;4159:1–12.
38. Bagnato VS, Lizarelli RFZ, Menezes PFC. Fotobiomodulação. In: Aplicação da luz na dermatologia estética. São Paulo: Livraria da Física; 2017. p. 283.
39. Hamblin MR. Photobiomodulation for the management of alopecia: mechanisms of action, patient selection and perspectives. Clin Cosmet Investig Dermatol. 2019;12:669-78.
40. Schneider MR, Schmidt-Ullrich R, Paus R. The hair follicle as a dynamic miniorgan. Curr Biol. 2009;19(3):R132-42.
41. Qi J, Garza LA. An overview of alopecias. Cold Spring Harb Perspect Med. 2014;4(3):a013615.
42. Paus R, Cotsarelis G. The biology of hair follicles. N Engl J Med. 1999;341(7):491-7.
43. Jean-Pierre P, et al. Lasers in the management of alopecia: a review of established therapies and advances in treatment. Lasers Med Sci. 2024;39(1):102.
44. Gentile P, Garcovich S. The effectiveness of low-level light/laser therapy on hair loss. Facial Plast Surg Aesthet Med. 2024;26(2):228-35.

45. Chandrashekar BS, Lobo OC, Fusco I, Madeddu F, Zingoni T. Effectiveness of 675-nm wavelength laser therapy in the treatment of androgenetic alopecia among Indian patients. JMIR Dermatol. 2024;7:e60858.
46. Mussttaf RA, Jenkins DFL, Jha AN. Assessing the impact of low-level laser therapy (LLLT) on biological systems: a review. Int J Radiat Biol. 2019;95(2):120-43.
47. Anders JJ, Lanzafame RJ, Arany PR. Low-level light/laser therapy versus photobiomodulation therapy. Photomed Laser Surg. 2015;33(4):183-4.
48. Munck A, Gavazzoni Dias MF, Trüeb RM. Use of low-level laser therapy as monotherapy or adjuvant treatment for androgenetic alopecia: a systematic review. Int J Trichology. 2014;6(2):45-9.