

Utilização do diodo emissor de luz (LED) na cicatrização de queimaduras: revisão sistemática da literatura

Use of light emitting diode (LED) in the healing of burns: systematic review of the literature

Marlise de Jesus Santos Araújo¹, Gabriela Botelho Martins²

¹Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. ORCID: 0000-0002-0169-5102. marlise-araujo@hotmail.com

²Autora para correspondência. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. ORCID 0000-0002-0917-4598. gbmartinsba@gmail.com

RESUMO | INTRODUÇÃO: O tratamento de vítimas de queimadura é desafiador pela gravidade da própria lesão e das complicações que podem ocorrer durante o processo de cicatrização. A fisioterapia dermatofuncional tem atuação no tratamento de cicatrizes, utilizando de terapias para acelerar o processo cicatricial e recuperação funcional adequada. O diodo emissor de luz ou LED tem sido descrita como uma possibilidade terapêutica valiosa para fisioterapia com o intuito de reduzir complicações funcionais e estéticas em processos cicatriciais de indivíduos queimados. **OBJETIVOS:** Revisar a literatura acerca da utilização da luz LED e seus efeitos na cicatrização tecidual na lesão por queimadura. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Trata-se de uma revisão sistemática da literatura, realizada no mês de agosto de 2017, utilizando as bases de dados Bireme, PubMed e PeDro, baseado nos critérios PRISMA. Foram incluídos no estudo os artigos que abordassem a utilização do LED na cicatrização específica de queimaduras, publicados nos últimos cinco anos (2012 -2017), nos idiomas inglês e português. Os critérios de exclusão foram artigos que abordaram o uso do LED na cicatrização tecidual em geral. A seleção dos artigos foi realizada por dois autores, não havendo consenso entre ambos, um terceiro autor seria convocado, o que não foi necessário nesta busca. **RESULTADOS:** Foram encontrados 1.029 artigos na busca, destes foram incluídos 04 artigos, que abordaram a utilização do LED na cicatrização específica de queimaduras publicados de 2012 a 2017. Todos os estudos encontraram melhoras do processo cicatricial com uso do LED, mesmo sendo utilizados comprimentos de onda distintos nos trabalhos analisados. **CONCLUSÃO:** A utilização do LED no tratamento de queimaduras demonstrou favorecer o processo de cicatrização tecidual em animais e melhorar os aspectos histológicos nos tecidos tratados, porém ainda pouco utilizado na Fisioterapia.

PALAVRAS-CHAVE: Fisioterapia. Fototerapia. Queimaduras. Laser de diodo.

ABSTRACT | INTRODUCTION: The treatment of burn victims is challenging because of the severity of the lesion itself and the complications that may occur during the healing process. Dermatofunctional physiotherapy works in the treatment of scars, using therapies to accelerate the cicatricial process and adequate functional recovery. The light emitting diode or LED has been described as a valuable therapeutic possibility for physiotherapy with the aim of reducing functional and aesthetic complications in the cicatricial processes of burned individuals. **OBJECTIVES:** To review the literature on the use of LED light and its effects on tissue healing in burn injury. **MATERIALS AND METHODS:** This is a systematic review of the literature, conducted in August 2017, using the Bireme, PubMed and PeDro databases, based on PRISMA criteria. The study included articles that addressed the use of LED in the specific healing of burns, published in the last five years (2012 -2017), in the English and Portuguese languages. The exclusion criteria were articles that addressed the use of LED in tissue healing in general. The selection of articles was carried out by two authors, and there was no consensus between the two, a third author would be called, which was not necessary in this search. **RESULTS:** A total of 1,029 articles were found in the search, of which 04 articles were included, which addressed the use of LEDs in the specific cicatrization of burns published from 2012 to 2017. All studies found improvements of the cicatricial process using LED, even though different wavelengths were used in the analyzed works. **CONCLUSION:** The use of LED in the treatment of burns has favored the healing process in animals and improve the histological aspects in the treated tissues, but still little used in physiotherapy.

KEYWORDS: Physiotherapy. Phototherapy. Burns. Diode laser.

Introdução

O tratamento de vítimas de queimadura é desafiador tanto pela gravidade da própria lesão quanto pelas complicações que podem ocorrer durante o processo de cicatrização, que tende a acontecer de forma anárquica e com grande potencial para sequelas¹. Estas podem acarretar graves incapacidades funcionais e estéticas a longo prazo^{2,3} a exemplo do desenvolvimento de cicatrizes hipertróficas, queloides e contraturas de tecidos moles e/ou articulares⁴.

O reparo tecidual envolve processos complexos associados a fatores que podem acarretar dificuldades na cicatrização e resultar em disfunções e sequelas importantes, impactando funcionalmente a vida das pessoas⁵. A fisioterapia dermatofuncional tem atuação no tratamento de cicatrizes pós-queimadura, utilizando-se de terapias para acelerar o processo cicatricial e recuperação funcional adequada do tecido lesado⁶.

Terapias que empreguem procedimentos menos invasivos, não medicamentosos, que promovam redução de complicações, melhorem a estética e minimizem deformidades cicatriciais após uma lesão vem sendo alvo de estudos, a exemplo do diodo emissor de luz ou LED^{5,7,8}. Sua aplicabilidade vem sendo estudada nos últimos anos para obtenção de resultados biomoduladores positivos na cicatrização tecidual^{5,8,9}.

O LED tem sido descrito como uma possibilidade terapêutica valiosa para fisioterapia com o intuito de reduzir complicações funcionais e estéticas em processos cicatriciais⁵, incluído os indivíduos vítimas de queimaduras⁶. Isso porque a luz LED utiliza-se de fonte emissora de luz não coerente, apresentando mecanismo de ação semelhante ao laser de baixa potência (LPL), tornando-se uma possibilidade com menor custo na prática clínica quando se busca melhora nos processos cicatriciais^{5,9}.

Moura e colaboradores⁸ em uma revisão sistemática (2014) sobre os efeitos da luz LED na cicatrização de feridas descreveram a partir de outros autores, que a emissão da luz por diodos atua favorecendo o aumento da proliferação celular, estimulando a circulação local, contribuindo para melhorar a produção e deposição de fibras de colágeno, consequentemente melhorando a estética da cicatriz, reduzindo o sintoma de dor e estimulando a vascularização local.

Estudos^{5,6,8,10,11} vem sendo realizados para obtenção de maiores informações sobre os efeitos fotobiomoduladores através da irradiação da luz LED. Porém, há escassez de estudos sobre a cicatrização de queimadura realizada em tecidos humanos¹¹. Apesar da literatura apresentar informações sobre o mecanismo de ação da emissão de luz por diodos, que indicam estímulo positivo no processo cicatricial, a aplicação do LED como possibilidade terapêutica na queimadura deve ser estudada e seus efeitos esclarecidos, para que o emprego deste recurso otimize a abordagem fisioterapêutica no tratamento de lesões em pacientes queimados, garantindo melhora da cicatrização da pele e reduzindo os riscos para desenvolvimento de sequelas motoras e funcionais.

Assim, o objetivo do presente estudo foi revisar a bibliografia acerca da utilização da luz LED e seus efeitos na cicatrização tecidual de lesões ocasionadas por queimadura.

Materiais e métodos

O estudo consistiu em uma revisão sistemática da literatura, realizada no mês de agosto de 2017 utilizando as bases de dados Bireme, PubMed e PeDro, com os descritores em inglês “burn” (queimadura), “LED”, “LED light” (luz led); “physical therapy” (fisioterapia), combinados entre si, dois a dois nas bases de dados através do operador booleano AND.

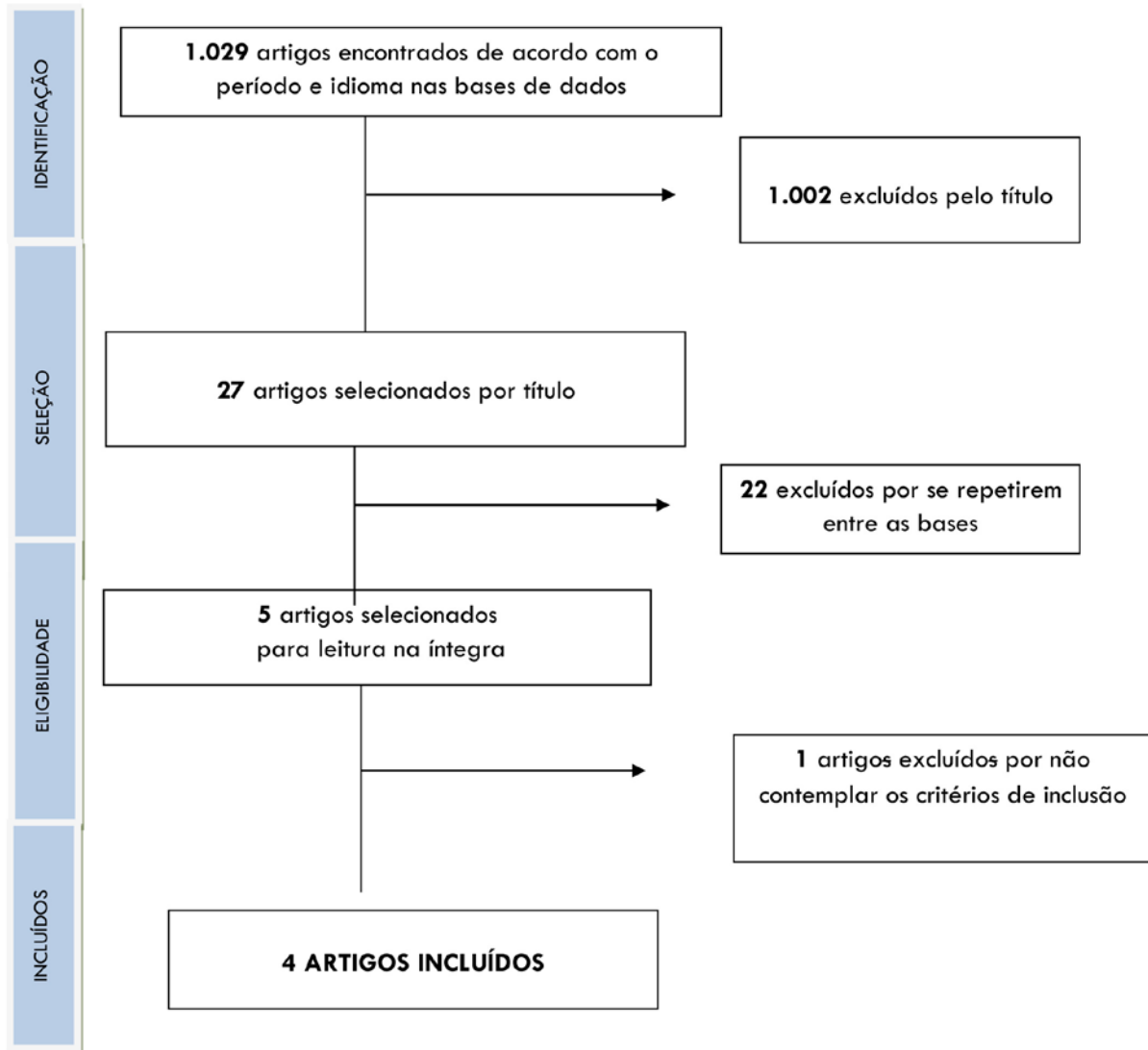
Foram incluídos no estudo artigos que abordassem a utilização do LED na cicatrização específica de queimaduras, publicados nos últimos cinco anos (2012-2017), nos idiomas inglês e português. Os critérios de exclusão foram artigos que abordaram o uso do LED na cicatrização tecidual em geral. A seleção dos artigos foi realizada por dois autores, não havendo consenso entre ambos, um terceiro autor seria convocado, o que não foi necessário nesta busca.

Este estudo seguiu a recomendação PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), utilizado para auxiliar a construção de revisões sistemáticas e meta-análises¹². Com a finalidade de maximizar a avaliação e a utilização das informações apresentadas pelos estudos foi utilizado o Guideline ARRIVE (*Animals in Research: Reporting In Vivo Experiment*)¹³.

Resultados

Através da busca inicial nas bases de dados, foram encontrados 1.029 artigos. Destes, apenas quatro artigos, contemplaram os critérios de inclusão após todas as etapas de seleção e refinamento de busca conforme fluxograma da figura 1, baseado no modelo PRISMA¹².

Figura 1. Fluxograma das diferentes fases da revisão sistemática realizada em agosto de 2017 sobre a ação da luz LED na cicatrização de queimaduras (Adaptado do PRISMA, 2009)¹²



Desta forma, foram utilizados para elaboração desta revisão, dois estudos que compararam os efeitos do LED associado a outros recursos terapêuticos utilizados para cicatrização de queimadura e realizaram análise clínica e histológica das lesões^{14,15}. Um estudo avaliou a cicatrização clínica por meio de fotografia digital¹⁵ e outro analisou histologicamente as lesões por queimaduras¹⁶.

O número total de animais utilizados em todos os artigos analisados foram 195 animais, todos roedores.

Dois trabalhos^{14,17} utilizaram para provocar a lesão barra de ferro aquecida por chama direta durante 40 segundos e, aplicada nos animais por 20 segundos provocando destruição completa da epiderme e derme, caracterizando uma queimadura de terceiro grau. Uma publicação¹⁶ cita a utilização do laser de CO₂ ablativo fracionário e outra¹⁴ utilizou uma placa de cobre aquecida a 100°C durante 10 segundos, uma síntese dos trabalhos incluídos estão na Tabela 1.

Tabela 1. Síntese dos estudos incluídos na revisão sistemática realizada em agosto de 2017 sobre a ação da luz LED na cicatrização de queimaduras (continua)

TÍTULO/ REVISTA/ PAÍS	AUTOR/ ANO/ IDIOMA	OBJETIVO/ TIPO DE ESTUDO	METODOLOGIA	PARÂMETROS DO LED	PARÂMETROS AVALIADOS	DESECHOS OBSERVADOS	CONCLUSÕES	GUIDELINE ARRIVE
<ul style="list-style-type: none"> • Effects of red laser, infrared, photodynamic therapy, and green LED on the healing process of third-degree burns: clinical and histological study in rats; • Lasers Med Sci • Brasil 	<ul style="list-style-type: none"> • Catão et al. • 2015 • Inglês 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar os efeitos do laser vermelho, da terapia fotodinâmica e do LED verde no processo de cicatrização de queimaduras em ratos. • Estudo Controlado 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesão provocada em 100 animais, divididos em 5 grupos de 20 e subdivididos em 5 animais para serem examinados no 3°, 7°, 14° e 21° dia. • G1: controle; • G2: laser vermelho; • G3: infravermelho; • G4: terapia fotodinâmica (TFD); • G5: LED verde. • Aplicados diariamente, exceto no dia do sacrifício. 	<ul style="list-style-type: none"> • λ 520 a 550 nm, 60 J/cm², 60mW, 10 s. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise clínica e histopatológica da retração cicatricial, consumo de água, infiltrado inflamatório, síntese e morfologia do colágeno. 	<ul style="list-style-type: none"> • No 14° dia todos os grupos de tratamento apresentaram retração cicatricial, porém no 21° dia, o grupo de laser vermelho houve maior retração. O colágeno melhorou em sua qualidade para todos os grupos. No entanto o grupo de laser infravermelho havia maior produção comparado com o grupo controle e laser vermelho e TFD, mostrando – se igual ao LED. • Enquanto que o laser vermelho apresentou maior produção que o controle e LED. 	<ul style="list-style-type: none"> • O laser vermelho e infravermelho, TFD, e o LED 14/20 demonstram aspectos benéficos na aceleração do processo cicatricial em queimaduras de terceiro grau em ratos. • Houve produção e maturação de colágeno, efeitos analgésicos, consumo de água e alimento comparado com o grupo controle e retração cicatricial aos 21 dias nos animais tratados com laser vermelho e infravermelho em relação aos outros grupos. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 4 • / • 2 • 0
<ul style="list-style-type: none"> • Green LED light has anti-inflammatory effects on burns in rats • Burn • Brasil 	<ul style="list-style-type: none"> • Catão et al. • 2016 • Inglês 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar por análise histológica os efeitos do LED verde em células inflamatórias em lesões por queimaduras de ratos. • Estudo Controlado 	<ul style="list-style-type: none"> • Lesão provocada em 40 ratos, divididos em: • G1 – controle; • G2-LED verde. Os animais subdivididos em 5 subgrupos para observação histológica no 3°, 7°, 14° e 21° dia. • Aplicado diariamente, exceto no dia do sacrifício. 	<ul style="list-style-type: none"> • λ 520 , 550 nm, 60 J / cm², 60 mW por 10 s, em quatro pontos da lesão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise histológica na alteração da quantidade de células inflamatórias. 	<ul style="list-style-type: none"> • No 3° dia não houve diferença significativa de células inflamatórias. A partir do 7° houve redução no número de células inflamatórias, comparado com o grupo controle. 	<ul style="list-style-type: none"> • O estudo sugere que a luz verde tem ação antiinflamatória e favorece cicatrização da queimadura em ratos. 	<ul style="list-style-type: none"> • 11/20

Fonte: ICS, 2017

Tabela 1. Síntese dos estudos incluídos na revisão sistemática realizada em agosto de 2017 sobre a ação da luz LED na cicatrização de queimaduras (Fonte: ICS, 2017) (conclusão)

TÍTULO/ REVISTA/ PAÍS	AUTOR/ ANO/ IDIOMA	OBJETIVO/ TIPO DE ESTUDO	METODOLOGIA	PARÂMETROS DO LED	PARÂMETROS AVALIADOS	DESFECOS OBSERVADOS	CONCLUSÕES	GUIDELINE ARRIVE
<ul style="list-style-type: none"> • The systemic effect of 830-nm LED phototherapy on the wound healing of burn injuries: A controlled study in mouse and rat models • Journal of Cosmetic and Laser Therapy • República da Coreia 	<ul style="list-style-type: none"> • Lee e Kim • 2012 • Inglês 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar os efeitos sistêmicos na aplicação do LED 830nm em queimaduras em ratos • Estudo controlado 	<p>Lesão provocada em 5 animais, divididos em 2 grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • G1: LED (n=3); • G2: controle (n=2) Aplica do após a queimadura, no 1º, 5º e 6º dias. 	<p>λ 830 nm, 66 J cm⁻², 55 mW, 20 min.</p>	<p>Avaliação de cicatrização clínica em ratos, por meio de fotografia digital, realizada nos dias 1, 5, 6 e 7.</p>	<p>A partir do 5º dia o grupo de tratamento apresentava cicatrização mais avançada em relação ao grupo controle. No 7º dia o G1 apresentou cicatrização incompleta em 5 locais da queimadura e completas em 3 locais. Enquanto o grupo controle apresentou incompletas em todos os locais.</p>	<p>A utilização do LED a 830nm em queimaduras em animais induziram melhora na cicatrização das lesões, sugerindo uma influência sistêmica na aplicação de terapia associada a luz de baixa potência através do LED.</p>	7/20
<ul style="list-style-type: none"> • Effect of Low-Power Laser (LPL) and Light-Emitting Diode (LED) on Inflammatory Response in Burn Wound Healing/ • Inflammation • Brasil 	<ul style="list-style-type: none"> • Silveira et al • 2016 • Inglês 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar as mudanças moleculares e bioquímicas na cicatrização epidérmica de queimaduras após tratamento terapêutico com LPL (laser de baixa potência) e LED • Estudo experimental 	<p>50 ratos, divididos em 6 grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • G1: pele sem lesão (Sham); • G2: feridas por queimação (BWs); • G3: LPL 660 nm; • G4: LPL 904 nm; • G5: LED 632 nm; • G6: LED 850 nm <p>Aplicação foram durante sete sessões uma vez por dia, 24 h após a indução da lesão.</p>	<p>LED vermelho: λ 632 nm, 14 mW cm², por 10 min</p> <p>LED infravermelho: λ 850 nm, 33 mW/cm², por 10 min</p>	<p>Análise histológica do estresse oxidativo e mediadores inflamatórios na cicatrização do tecido. A avaliação clínica do tamanho das bordas da ferida foram calculadas em cm² por um software.</p>	<p>Houveram diminuições no fechamento da ferida no laser de 660 nm e nos LED de 850 nm em comparação com o grupo lesão. Houve melhor organização do tecido em ambos os grupos de LEDs.</p>	<p>Tratamentos com LPL de 660 nm e o LED de 850 nm promoveu proteção contra o estresse oxidativo. O LPL 660 nm e LED 850 nm pareceram reduzir a resposta inflamatória e estresse oxidativo, diminuindo necrose dérmica e aumentando a formação de tecido de granulação, acelerando o reparo de feridas por queimadura.</p>	13/20

Fonte: ICS, 2017

Discussão

Todos os estudos incluídos nesta revisão se trataram de estudos experimentais¹⁴⁻¹⁷ e sugerem que a aplicação do LED na cicatrização de queimaduras contribuiu para o processo de reparo tecidual com ação fotobiomoduladora anti-inflamatória em animais.

Catão et al.¹⁷ utilizaram o LED verde para tratamento da queimadura em ratos e perceberam redução no número de células inflamatórias, após o 7º dia de aplicação. Em um estudo semelhante, Meyer et al.¹⁸ avaliaram os efeitos do LED verde e vermelho na cicatrização de feridas cutâneas em ratos após lesão provocada por incisão cirúrgica de 2cm² no dorso dos animais. Os autores observaram que o grupo tratado com LED verde apresentou moderado número de células inflamatórias na inflamação aguda, porém na inflamação crônica havia maior quantidade de células inflamatórias no tecido de granulação quando comparado ao grupo controle e deposição moderada de colágeno. O grupo de tratamento com LED vermelho apresentou tecido de granulação mais desenvolvido, maior quantidade de colágeno e menos células inflamatórias comparado com o grupo tratado com LED verde. O estudo de Meyer et al.¹⁸ conclui que a aplicação do LED verde favoreceu efeitos anti-inflamatórios, no entanto, o LED vermelho foi mais efetivo que o LED verde, tipo de luz LED utilizada por Catão et al.¹⁷.

Em destaque, Catão et al.¹⁷ avaliaram feridas provocadas por queimadura, enquanto Meyer et al.¹⁸ avaliaram feridas cirúrgicas. Todavia, o processo de cicatrização tecidual segue as mesmas fases para ambos os tipos de lesão. Outra diferença entre os estudos está no tempo de aplicação do efeito do LED, onde o primeiro realizou aplicação do LED imediatamente após a queimadura e acompanhou até o 21º dia, enquanto Meyer et al.¹⁸ aplicou o LED 24 horas após a lesão provocada, e avaliou até o 7º dia de cicatrização. Porém, em ambos os estudos houve redução na quantidade de células inflamatórias após aplicação do LED verde.

A literatura descreve a ação anti-inflamatória do LED, como um efeito positivo em relação ao processo cicatricial¹⁷⁻¹⁹. Onde se obtém resultados satisfatórios em cicatrizes por segunda intenção¹⁷ como no caso das lesões por queimadura¹. Porém, em um estudo comparativo, Souza et al.²⁰ utilizaram o LED verde (530 nm), azul (460 nm) e vermelho (700 nm) e o laser de baixa potência (LLLT) vermelho e infravermelho, para comparar os efeitos destes recursos na angiogênese de feridas cutâneas em roedores. Os autores relataram que os grupos tratados com LED verde e vermelho mostraram aumento significativo na angiogênese em relação ao laser vermelho. Entretanto, não houve diferença entre o grupo tratado com LED azul e o grupo controle. Embora este seja um aspecto importante no reparo cicatricial, nenhuns dos autores incluídos nesta revisão avaliaram a angiogênese após utilização do LED em queimaduras.

Dos artigos analisados, o trabalho elaborado por Lee e Kim¹⁶, realizou avaliação apenas do ponto de vista clínico. Os autores perceberam que os animais tratados com o LED 830 nm apresentaram cicatrização mais avançada quando as lesões por queimadura foram avaliadas clinicamente através de fotografia digital, sugerindo haver uma influência sistêmica na aplicação do LED. Os autores não realizaram análise histológica ou bioquímica que pudessem fundamentar os resultados clínicos.

De forma semelhante a Lee e Kim¹⁶, porém realizada em humano, Ferreira, Fronza e Prado⁶, em um estudo para avaliar a eficácia da utilização do laser associado ao LED no tratamento de sequelas em mãos de uma paciente vítima de queimadura, utilizaram o LED vermelho (632 nm) e o LED infravermelho (850 nm) associado ao laser de alta potência e perceberam melhora na aparência da pele e da hidratação na região tratada. Os autores também utilizaram a fotografia digital para avaliação dos efeitos do tratamento e uma escala que analisava cor, textura, hidratação, irregularidades do tecido, volume e distensibilidade da pele. O protocolo de aplicação do laser e LED utilizada pelos autores foi composta por oito sessões, 2 vezes por semana,

realizando apenas uma sessão inicial de laser érbium fracionado, por 5 minutos, para remoção do tecido cicatricial, seguida de fotomodulação do LED vermelho e infravermelho durante 15 minutos, com intervalo de 48 horas entre as aplicações. Embora diferindo do trabalho de Lee e Kim¹⁶ no que concerne aos parâmetros do LED e o fato destes últimos aplicarem o LED infravermelho em apenas três sessões, durante um tratamento total de seis dias, ambos os autores encontraram resultados favoráveis para esta terapêutica.

A avaliação clínica da cicatrização aborda aspectos subjetivos do avaliador. A utilização de instrumentos padronizados e validados cientificamente, com observação objetiva favorece a reprodutibilidade da pesquisa e comprovação dos resultados da observação visual dos pesquisadores²¹. A Escala Internacional de Cicatrização de Vancouver é utilizada para avaliação clínica de cicatrizes, sendo sugerida na literatura como um instrumento válido e confiável para avaliação cicatricial também em pacientes queimados³. Uma ferramenta útil e de baixo custo, desenvolvida para avaliar os aspectos funcional e estético da cicatriz, composta por quatro itens a serem avaliados: pigmentação, vascularização, flexibilidade e altura. A pontuação final varia de 0 a 13, sendo a menor pontuação correspondente a um melhor resultado de regeneração e cicatrização tecidual. A utilização de um instrumento específico para avaliar o processo de cicatrização auxilia o planejamento do tratamento e minimiza complicações decorrentes da queimadura²², favorecendo uma padronização da avaliação cicatricial, aumentando a confiabilidade desta avaliação e permitindo a comparação dos resultados e reprodutibilidade da pesquisa²¹.

O LED além de favorecer o reparo tecidual, parece evitar ou minimizar o desenvolvimento de cicatrizes hipertróficas ou quelóide. Barolete e Boucher²², em um estudo de caso, utilizou o LED infravermelho (805 nm), para tratamento cicatricial de três pacientes que apresentavam cicatrizes hipertróficas e quelóides. O LED foi aplicado diariamente por 15 minutos,

pelos próprios pacientes em seu domicílio, durante 30 dias. Houve melhora na aparência, altura e no escore de gravidade da cicatriz através da Escala Internacional de Cicatrização de Vancouver.

Silveira et al¹⁵, realizaram um estudo experimental para investigar as alterações de mediadores inflamatórios e do estresse oxidativo na cicatrização de queimadura após tratamento com laser de baixa potência e o LED, relatando que houve melhora da cicatrização tecidual no grupos tratados com LED 632 e 850 nm e no grupo de laser 660 nm, com melhora da organização tecidual no tratamento com LED 632 nm, sendo que os grupos tratados com LED 850 nm e laser 660 nm promoveram redução significativa no estresse oxidativo. Os autores concluem que aplicações do laser e do LED podem reduzir a resposta inflamatória na queimadura, através da ativação de IL-6, bloqueando os efeitos das espécies reativas de oxigênio e permitindo estimulação para o processo reparo do tecido.

A exposição de células a LPL aumenta as atividades celulares e gera efeitos terapêuticos, favorecendo a aceleração do processo cicatricial, além de analgesia, após utilização da luz vermelha e infravermelha²⁴. Os efeitos bioestimuladores da fototerapia por laser e LED, dependem dos parâmetros utilizados, devido às características específicas dos fotorreceptores intracelulares, que são responsáveis pela absorção da luz, gerando efeitos variados em cada tecido irradiado¹⁹.

Corroborando os resultados de Silveira et al.¹⁵, onde o laser e LED favoreceram a cicatrização tecidual, induzindo redução do dano oxidativo, Barolete¹⁹, Freitas e Hamblim²⁵, descrevem que os mecanismos envolvidos na dificuldade de cicatrização de feridas parecem estar relacionados com o aumento do estresse oxidativo, pois estes prejudicam o reparo do tecido. Ainda, a irradiação com LPL aponta para outros efeitos anti-inflamatórios com estímulo na proliferação de fibroblastos, favorecendo também a cicatrização²⁵.

Desta maneira, a fotobiomodulação atua induzindo reações fotoquímicas intracelulares, que modificam o estresse oxidativo da célula favorecendo a resposta positiva durante o processo de reparo de lesões²⁵, além de estimular a produção de fatores de crescimento em células lesadas²⁶.

Catão et al.¹⁴, realizaram um estudo comparativo entre o laser vermelho, infravermelho, LED e a terapia fotodinâmica (TFD) no processo de cicatrização de queimaduras, e avaliaram a retração cicatricial, consumo de água e alimento, infiltrado inflamatório, síntese e organização do colágeno no período de 21 dias de tratamento, realizando análise clínica e histomorfológica no 3º, 7º, 14º e 21º dias. Os pesquisadores verificaram que até o 14º dia todos os grupos tratados apresentaram um maior índice de retração da ferida quando comparados ao grupo controle. Porém no 21º dia, o grupo tratado com infravermelho apresentou maior retração cicatricial. Os autores afirmaram que os grupos tratados com laser vermelho e infravermelho apresentaram melhores resultados na retração cicatricial comparado com os demais grupos, inclusive resultados melhores que os obtidos com uso do LED.

No que diz respeito ao infiltrado inflamatório e produção de colágeno, no 14º dia havia presença de neutrófilos, linfócitos e macrófagos superficiais, com tecido de granulação composto por colágeno espesso e vasos recém-formados, com indicio de reepitelização. Havendo maior produção de colágeno no grupo tratado com infravermelho, na qual no 14º dia houve predomínio de fibra tipo I em 60% dos animais dos grupos de intervenção e no grupo controle em 20% dos animais. Independentemente do aspecto morfológico e da organização não havia variação na descrição dessas fibras, que se mostravam corrugadas, finas, encurtadas e em padrão reticular. Estes aspectos observados melhoraram na análise do 21º dia para o grupo de laser infravermelho e LED. Porém, do ponto de vista estatístico, a

área de colagenização a partir da indução pelo LED, obteve diferença significativa aos 21 dias em relação ao grupo controle, não sendo observada diferença com os demais tratamentos. Importante ressaltar que os autores descrevem os benefícios da aplicação do LED no processo cicatricial de queimaduras, embora tenham encontrado melhores resultados associado ao laser vermelho e infravermelho.

Neste estudo, Catão et al.¹⁴, concluem que o laser infravermelho e vermelho apresentaram melhores resultados na retração cicatricial, porém, a respeito do infiltrado inflamatório, os autores não compararam os grupos tratados, apenas relataram a presença das células encontradas nos dias de análise. Entretanto, através dos resultados apresentados é possível perceber que houve presença adequada de células inflamatórias.

A fototerapia ou a fotobiomodulação utiliza-se da radiação para alterar a atividade biológica²³, através da LPL utilizada por meio da terapia a laser LLLT e dos diodos emissores de luz, os LEDs, empregados para estimular a cicatrização tecidual^{19,18,24,25,27}, bem como para efeitos terapêuticos anti-inflamatórios e analgésicos²⁷.

Os autores estudados não referiram informações sobre analgesia e dor. Este aspecto pode ser justificado pelo fato dos estudos tratarem de avaliações em animais. Todavia um relato de caso sobre a utilização do LED para tratamento de úlcera venosa em idoso, com aplicação de 2 vezes por semana, durante 20 minutos, revelou melhora da cicatrização e analgesia²⁸. Embora um estudo pode ser considerado limitado na avaliação deste sintoma, entretanto pode ser sugerido que resultados semelhantes sejam obtidos através da terapia a LED, no que se refere a analgesia.

A literatura descreve que a LPL pode utilizar comprimentos de onda entre 600 a 1100 nm, aplicadas através do LLLT e do LED²⁵. No entanto, existem au-

tores que apresentam possibilidades de comprimento de onda a partir de 390 – 600nm, utilizados para tecidos superficiais, e entre 600- 1100nm, para tecidos profundos²⁵. Todavia, existe um consenso na literatura em relação ao comprimento de onda entre 700-780nm apresenta atividade bioquímica limitada, não sendo então, indicada de forma frequente^{19,24,25}. As possibilidades para emprego do LED, incluem a luz azul (400-470nm), verde (470-550 nm), vermelha (630nm-700nm) e infravermelha (700-1200nm). Na qual, quanto maior o comprimento da onda, mais profundo será a penetração da luz no tecido¹⁹. Nos artigos analisados neste trabalho, os comprimentos de onda variaram entre 520 nm a 850 nm, correspondentes ao espectro de luz do LED verde e infravermelho. O LED verde foi sugerido para efeitos anti-inflamatório na queimadura¹⁶ e o LED infravermelho atuando na melhora cicatricial das lesões¹⁴⁻¹⁶.

O LED converte energia elétrica em luz, emitindo um espectro estreito e não coerente com comprimento de onda que varia desde luz visível a infravermelha¹⁹. A energia emitida é absorvida por cromóforos ou fotorreceptores, componentes intracelulares que absorve a luz e são responsáveis pelos efeitos fotoquímicos que geram respostas terapêuticas^{19,27}. Os cromóforos ou fotorreceptores estão localizados dentro das mitocôndrias e nas membranas plasmáticas, estimulando processos intracelulares²⁴. A absorção da energia gera aumento da atividade enzimática, que media o transporte de elétrons, gera uma cascata de eventos, que alteram a sinalização intracelular e altera fatores de transcrição relacionados a proliferação celular, reparo e regeneração tecidual^{24,25}.

Em uma revisão da literatura sobre os efeitos do laser e LED na cicatrização de feridas, Chaves et al.²⁹ (2014), relata que ambos os recursos, promovem efeitos terapêuticos semelhantes, atuando na redução de células inflamatórias, aumento na proliferação fibroblástica e síntese de colágeno,

estimulando angiogêneses e formação de tecido de granulação. Confirmando o que outros estudos comparativos vêm ressaltando a respeito destes recursos, onde ambos possuem resultados similares na cicatrização de feridas cutâneas^{20,28,31}.

Porém, os gastos gerados pela dificuldade de cicatrização em alguns indivíduos requer a busca de alternativas de baixo custo^{31,32} e o LED tem sido descrito como uma alternativa para à laserterapia^{5,31,33}. No caso da utilização do LED, não há preocupação com o risco de lesões oculares como cegueira, relacionado à sua aplicabilidade²⁴, sendo considerado um equipamento de manuseio fácil e seguro³¹, o que pode viabilizar sua aplicação em população menos favorecidas²⁸ e inclusive ser utilizada a domicílio pelo próprio paciente sem necessidade de supervisão²³. Não há relatos na literatura de efeitos negativos na utilização dos diodos emissores de luz, bem como não foram encontradas contraindicações para o LED. Porém, deve existir cautela na aplicação deste recurso em pacientes epiléticos ou com fotofobia¹⁹.

É conhecido, que há uma dose ideal específica para aplicação clínica da luz²⁴, pois os efeitos em tecidos biológicos dependem do comprimento de onda, quantidade e tempo de aplicação, considerando ainda o intervalo da aplicação e número de sessões¹⁸. É importante conhecer a terapia para melhor indicá-la. A utilização de parâmetros diversificados relacionados ao comprimento de onda, tempo de irradiação e potência do LED, descritos para o tratamento das lesões por queimaduras em animais pelos estudos analisados nesta revisão, dificultou a comparação entre os mesmos e indicação de um protocolo ideal. Além disso, a literatura apresenta poucos estudos voltados para aplicação do LED no processo cicatricial de queimaduras em humanos, tornando difícil o estabelecimento de um protocolo para utilização do LED na cicatrização de queimaduras.

Considerando ainda, que o reparo tecidual da pele humana apresenta mecanismos mais complexos de regeneração comparados a animais de experimentação, requer que estudos in vivo devem ser realizados para que seja possível a padronização de parâmetros terapêuticos específicos para uso clínico do LED na cicatrização^{5,26}. Baseado no que foi exposto, pode - se considerar que a terapia através do LED no tratamento de queimaduras de pele parece ser bem indicada. Poucos estudos trouxeram a avaliação deste recurso terapêutico no contexto de cicatrização tecidual de queimaduras, porém os artigos incluídos nesta revisão apresentaram resultados satisfatórios para a utilização do LED. Independente disto, todos os estudos apresentaram limitações em suas metodologias, no que se refere ao número amostral, tipo de avaliação clínica e ou histológica realizadas. Assim, a produção de maior conhecimento científica sobre a utilização do LED, em especial no reparo de feridas por queimaduras, deve ser incentivado, visando a utilização deste recurso de forma mais ampla e permitindo o estabelecimento de protocolos úteis para essa população.

Conclusão

A partir dos artigos analisados nesta revisão observou-se que a luz LED é benéfica para o reparo cicatricial por queimadura em animais e melhora os aspectos histológicos nos tecidos tratados. Todavia, o número de artigos relacionados à aplicabilidade destes recursos para tratamento cicatricial em lesões por queimadura ainda é limitado e outros estudos devem ser realizados visando evidências científicas mais fortes para estabelecimento de protocolos adequados e comprovação da eficiência dessa terapia para auxiliar na reabilitação de pacientes queimados.

Contribuições dos autores

Araújo MJS participou da concepção do trabalho, busca e interpretação dos dados e redação do manuscrito. Martins GB participou da concepção do trabalho, busca e interpretação dos dados, redação do manuscrito e supervisão da pesquisa.

Conflitos de interesses

Nenhum conflito financeiro, legal ou político envolvendo terceiros (governo, empresas e fundações privadas, etc.) foi declarado para nenhum aspecto do trabalho submetido (incluindo mas não limitando-se a subvenções e financiamentos, conselho consultivo, desenho de estudo, preparação de manuscrito, análise estatística, etc.).

Referências

1. Andrade AG, Lima CF, Albuquerque AKB. Efeitos do laser terapêutico no processo de cicatrização das queimaduras: uma revisão bibliográfica. *Rev Bras Queimaduras*. 2010;9(1):21-30.
2. Bravo BSF, Bastos JT, Balassiano LKA, Rocha CRM, Bravo LG. Tratamento de cicatriz de queimadura com luz intensa pulsada e laser ablativo fracionado erbium. *Rev Bras Queimaduras*. 2016;15(4):274-277.
3. Abalí MOT, Bravo BSF, Zylbersztejn D. Luz Intensa Pulsada no tratamento de cicatrizes após queimaduras. *Surg Cosmet Dermatol*. 2014;6(1):26-31.
4. Rodrigues Júnior JL, Bastos NNA, Coelho PAS. Terapia ocupacional em queimados: pesquisa bibliográfica acerca da reabilitação física junto a indivíduos com queimaduras. *Rev Bras Queimaduras*. 2014;13(1):11-17.
5. De Paula S. Comparação do laser e do led no processo de cicatrização em feridas cutâneas: uma revisão. *Revista Ciência e Saúde*. 2016;9(1):55-61. doi: [10.15448/1983-652X.2016.1.21840](https://doi.org/10.15448/1983-652X.2016.1.21840)
6. Ferreira FS, Fronza VL, Prado ALC. Laser érbium fracionado e fotobiomodulação por diodos emissores de luz em sequelas de queimaduras nas mãos: estudo piloto - caso boate Kiss. *Fisioterapia Brasil*. 2015;16(3):S31-S35.
7. Tizatto VF, Carrer T, Schuster RC. Efeitos da Terapia por Indução de Colágeno na qualidade de cicatrizes de queimaduras – Relato de caso. *Rev Bras Queimaduras*. 2015;14(1): 49-53.
8. Moura RO, Nunes LCC, Carvalho MEIM, Miranda BR. Efeitos da luz emitida por diodos (LED) e dos compostos de quitosana na cicatrização de feridas: Revisão Sistemática. *Rev Ciênc Farm Básica Apl*. 2014;35(4):513-518.
9. Siqueira CPCM, Toginho Filho DO, Lima FM, Silva FP, Durante H, Dias IFL, Duarte JL, Kashimoto RK, Castro VAB. Efeitos biológicos da luz: aplicação de terapia de baixa potência empregando LEDs (Light Emitting Diode) na cicatrização da úlcera venosa: relato de caso. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*. 2009;30(1):37-46. doi: [10.5433/1679-0367.2009v30n1p37](https://doi.org/10.5433/1679-0367.2009v30n1p37)

10. Fortuny E, Soares AM, Freire A, Cabral PC, Froes P, Freire MG et al. Evolucion de los efectos del LED em el tejido dérmico de ratones. *Rev Chil Dermatol.* 2014;30(2):151-157.
11. Dias IFL, Siqueira CPC, Toginho Filho DO, Duarte JL. Efeitos da luz em sistemas biológicos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas.* 2009;30(1):33-40.
12. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA statement. *Plos Med.* 2009;6(7): e1000097. doi: [10.1371/journal.pmed.1000097](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097)
13. Kilkenny C, Browne WJ, Cuthill IC, Emerson M, Altman DC. Improving Bioscience Research Reporting: The ARRIVE Guidelines for Reporting Animal Research. *PLoS Biol.* 2010; 8(6):e1000412. doi: [10.1371/journal.pbio.1000412](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000412)
14. Catão MHC, Nonaka CF, Albuquerque Junior RLC, Bento PM, Costa RO. Effects of red laser, infrared, photodynamic therapy, and green LED on the healing process of third-degree burns: clinical and histological study in rats. *Lasers Med Sci.* 2015;30(1):421-428. doi: [10.1007/s10103-014-1687-0](https://doi.org/10.1007/s10103-014-1687-0)
15. Silveira PCL, Ferreira KB, Rocha FR, Pieri BLS, Pedrosa GS, Souza CT et al. Effect of Low-Power Laser (LPL) and Light-Emitting Diode (LED) on Inflammatory Response in Burn Wound Healing. *Inflammation.* 2016;39(4):1396-1404. doi: [10.1007/s10753-016-0371-x](https://doi.org/10.1007/s10753-016-0371-x)
16. Lee GY, Kim WS. The systemic effect of 830-nm LED phototherapy on the wound healing of burn injuries: A controlled study in mouse and rat models. *J Cosmet Laser Ther.* 2012;14(2):107-110. doi: [10.3109/14764172.2011.649762](https://doi.org/10.3109/14764172.2011.649762)
17. Catão MCV, Costa RO, Nonaka CF, Junior RLC, Costa IRRS. Green LED light has anti-inflammatory effects on burns in rats. *Burns.* 2016;42(2):392-396. doi: [10.1016/j.burns.2015.07.003](https://doi.org/10.1016/j.burns.2015.07.003)
18. Meyer PF, Araujo HG, Carvalho MGF, Tatum BIS, Fernandes ICAG, Ronzio AO et al. Avaliação dos efeitos do LED na cicatrização de feridas cutâneas em ratos Wistar. *Fisioter Bras.* 2010;11(6):428-432
19. Barolet D. Light-Emitting Diodes (LEDs) in Dermatology. *Semin Cutan Med Surg.* 2008; 27(4):227-238. doi: [10.1016/j.sder.2008.08.003](https://doi.org/10.1016/j.sder.2008.08.003)
20. Sousa APC, Paraguassú GM, Silveira NTT, Souza J, Cangussú MCT, Santos JN et al. Laser and LED phototherapies on angiogenesis. *Lasers Med Sci.* 2013;28(3):981-987. doi: [10.1007/s10103-012-1187-z](https://doi.org/10.1007/s10103-012-1187-z)
21. Marques CMG, Dutra LR, Tibola J. Avaliação fisioterapêutica da cicatrização de lesões por queimaduras: revisão bibliográfica. *Rev Bras Queimaduras.* 2015;14(2):140-144.
22. Santos MC, Tibola J, Marques CMG. Tradução, revalidação e confiabilidade da Escala de Cicatrização de Vancouver para língua portuguesa – Brasil. *Rev Bras Queimaduras.* 2014;13(1):26-30.
23. Barolet D, Boucher A. Prophylactic Low-Level Light Therapy for the Treatment of Hypertrophic Scars and Keloids: A Case Series. *Lasers in Surgery and Medicine.* 2010;42(6):597-601. doi: [10.1002/lsm.20952](https://doi.org/10.1002/lsm.20952)
24. Avci P, Gupta A, Sadasivam M, Vecchio D, Pam Z, Pam N et al. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. *Semin Cutan Med Surg.* 2013;32(1):41-52.
25. Freitas LF, Hamblin MR. Proposed Mechanisms of Photobiomodulation or Low-Level Light Therapy. *IEEE J Sel Top Quantum Electron.* 2016;22(3):1-37. doi: [10.1109/JSTQE.2016.2561201](https://doi.org/10.1109/JSTQE.2016.2561201)
26. Jere SW, Abrahamse H, Houreld NN. The JAK/STAT signaling pathway and photobiomodulation in chronic wound healing. *Cytokine Growth Factor Rev.* 2017;38:73-79. doi: [10.1016/j.cytogfr.2017.10.001](https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2017.10.001)
27. Anders JJ, Lanzafame RJ, Arany PR. Low-level light/laser therapy versus photobiomodulation therapy. *Photomed Laser Surg.* 2015;33(4):183-184. doi: [10.1089/pho.2015.9848](https://doi.org/10.1089/pho.2015.9848)
28. Porto NPC, Garcia VVCG, Munguba EJLA, Araujo RR, Alves LS. Benefícios do LED em úlcera varicosa de idoso diabético. In: 4º Congresso Internacional de Envelhecimento Humano, 2015, Campina Grande-PB. Anais CIEH. Campina Grande-PB: Realize Eventos e Editora, 2015. v. 2.
29. Chaves MEA, Araujo AR, Piancastelli ACC, Pinotti M. Effects of low-power light therapy on wound healing: LASER x LED. *An Bras Dermatol.* 2014;89(4):616-623. doi: [10.1590/abd1806-4841.20142519](https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20142519)
30. Souza APC, Santos JN, Reis Junior JA, Ramos TA, Souza J, Cangussú MCT et al. Effect of LED Phototherapy of Three Distinct Wavelengths on Fibroblasts on Wound Healing: A Histological Study in a Rodent Model. *Photomedicine Laser Surgery.* 2010;28(4):547-552. doi: [10.1089/pho.2009.2605](https://doi.org/10.1089/pho.2009.2605)
31. Dall Agnol MA, Nicolau RA, Lima CJ, Munin E. Comparative analysis of coherent light action (laser) versus non-coherent light (light-emitting diode) for tissue repair in diabetic rats. *Lasers Med Sci.* 2009;24(6):909-916. doi: [10.1007/s10103-009-0648-5](https://doi.org/10.1007/s10103-009-0648-5)

32. Guedes JS, Caldas RS, Leal MRD. Efeitos do LED e Laser em Úlceras Venosas: Revisão Narrativa da Literatura. *Interbio*. 2016;10(1):34-40.

33. Vinck EM, Cagnie BJ, Cornelissen MJ, Declercq HA, Cambier DC. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation. *Lasers Med Sci*. 2003;18(2):95-99. doi: [10.1007/s10103-003-0262-x](https://doi.org/10.1007/s10103-003-0262-x)