

PARÂMETROS E PROTOCOLOS DA LASERTERAPIA UTILIZADOS NO TRATAMENTO DE FERIDAS
DIABÉTICAS

PARAMETERS AND PROTOCOLS OF LASERTHERAPY USED IN THE TREATMENT OF DIABETIC WOUNDS

*PARÁMETROS Y PROTOCOLOS DE LASERTERAPIA UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS HERIDAS
DIABÉTICAS*

¹Hellyangela Bertalha Blascovich

²Adriana Gomes Nogueira

³Ana Cristina P. de Jesus Costa

⁴Lívia Maia Pascoal

⁵Thiago Moura de Araújo

¹Universidade Federal do Maranhão,
Imperatriz-MA, Brasil, ORCID: 0000-
0002-4174-5899.

²Universidade Federal do Maranhão,
Imperatriz-MA, Brasil, ORCID: 0000-
0002-7107-1151.

³Universidade Federal do Maranhão,
Imperatriz-MA, Brasil, ORCID: 0000-
0001-7757-8183.

⁴Universidade Federal do Maranhão,
Imperatriz-MA, Brasil, ORCID: 0000-0003-
0876-3996.

⁵Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de
Ciências da Saúde, Redenção, CE, Brasil,
ORCID: 0000-0002-3924-9570.

Autor correspondente

Hellyangela Bertalha Blascovich

Rua João Lisboa, n° 858, Centro,
Imperatriz, Maranhão, Brasil.
CEP:65900-630. Tel. +55(99)98801-
1797. E-mail:
hellybertalha@hotmail.com

RESUMO

Este estudo tem como objetivo descrever os parâmetros e protocolos utilizados do laser de baixa intensidade em feridas de indivíduos diabéticos. Trata-se de revisão integrativa da literatura acerca dos parâmetros e protocolos da laserterapia utilizados no tratamento de feridas diabéticas. A busca foi realizada no Google Scholar, Scientific Electronic Library Online (SCIELO), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online/US National Library of Medic (MEDLINE/PUBMED). Foi utilizado como estratégia de busca os seguintes descritores específicos e seus acrônimos, para cada base de dados, de acordo com o Medical Subject Headings (MeSH) e Descritores em Ciência da Saúde (DeCs): Terapia com Luz de Baixa Intensidade (Low-Level Light Therapy); Cicatrização; Wound Healing; Ferimentos e Lesões; Complicações do Diabetes (Diabetes Complications). Foram identificados 80 estudos sobre o assunto e, após aplicação dos critérios e inclusão e exclusão, foram inseridos seis estudos, onde três destes são ensaios clínicos, uma série de caso, um estudo experimental e uma revisão da literatura. Os estudos apontaram para efeitos significativos na aceleração da cicatrização de feridas diabéticas após o uso do laser de comprimento de onda abaixo de 700nm, de luz visível vermelha, com densidade de potência de 30mW, e uma frequência entre 2 e 3 vezes por semana, com no mínimo dez intervenções. A utilização do laser se mostrou benéfica em lesões diabéticas, apresentando resultados superiores ao uso do Diodo Emissor de luz (LED) e as terapêuticas convencionais de forma isolada.

Palavras-chave: Terapia com Luz de Baixa Intensidade; Cicatrização; Ferimentos e Lesões; Complicações do Diabetes.

ABSTRACT

This study aims to describe the parameters and protocols used for the low power point in laser instruments. This is an integrative review of the literature on laser therapy of the parameters used and treatment protocols for diabetic wounds. The search was performed on Google Scholar, Scientific Electronic Library Online (SCIELO), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online/US National Library of Medic (MEDLINE/PUBMED). The following descriptors and their acronyms were used as a search strategy for each database, according to the Medical Subject Headings (MeSH) and Health Science Descriptors (DeCs): Low-Level Light Therapy (Low-Level) Light Therapy); Healing; Wound healing; Wounds and Injuries; Complications of Diabetes. The case 80 on the subject were evaluated and, after applying the three studies and inclusion and exclusion, a series of experimental studies, a study and a literature review were inserted in these clinical trials. The studies pointed to significant effects in accelerating the healing of diabetic wounds after the use of laser with a wavelength below 700nm, of visible red light, with a power density of 30mW, and a frequency between 2 and 3 times a week, with at least ten interventions. The use of laser differs results (LED) in tasks superior to the diabetic ones, presenting Emitting Diode of light use and as transformers in an isolated way.

Keywords: Low Intensity Light Therapy; Healing; Wounds and Injuries; Complications of Diabetes.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo describir los parámetros y protocolos utilizados para el punto de baja potencia en instrumentos láser. Esta es una revisión integradora de la literatura sobre la terapia con láser de los parámetros utilizados y los protocolos de tratamiento de las heridas diabéticas. La búsqueda se realizó en Google Scholar, Scientific Electronic Library Online (SCIELO), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online/US National Library of Medic (MEDLINE/PUBMED). Los siguientes descriptores y sus siglas se utilizaron como estrategia de búsqueda para cada base de datos, de acuerdo con los Medical Subject Headings (MeSH) y Health Science Descriptors (DeCs): Low-Level Light Therapy (Low-Level) Light Therapy); Curación; Cicatrización de la herida; Heridas y lesiones; Complicaciones de la Diabetes. Se evaluó el caso 80 sobre el tema y, luego de aplicar los tres estudios e inclusión y exclusión, se insertó una serie de estudios experimentales, un estudio y una revisión de la literatura en estos ensayos clínicos. The studies pointed to significant effects in accelerating the healing of diabetic wounds after the use of laser with a wavelength below 700nm, of visible red light, with a power density of 30mW, and a frequency between 2 and 3 times a week, with at least ten interventions. El uso de láser difiere resultados (LED) en tareas superiores a las diabéticas, presentándose diodos emisores de luz y como transformadores de forma aislada.

Palabras clave: Terapia de luz de baja intensidad; Curación; Heridas y lesiones; Complicaciones de la Diabetes.

INTRODUÇÃO

O Diabetes mellitus (DM) faz parte de grupo de doenças metabólicas caracterizadas por hiperglicemia resultante de defeitos na secreção de insulina, na ação da insulina ou em ambos ⁽¹⁾. Ocupa uma posição elevada no *ranking* internacional da saúde configurando-se como pandemia global que ameaça a saúde humana e a economia global ⁽²⁾.

A população mundial com DM é estimada em 387 milhões e desses, cerca de 80% vivem em países de baixa e média renda, com crescente proporção de pessoas com DM em grupos etários mais jovens ⁽¹⁾. É uma das quatro doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) identificadas como prioritárias para intervenção pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das DCNT, 2011-2022⁽³⁾.

A hiperglicemia crônica do diabetes está associada a danos a longo prazo que incluem retinopatia, com potencial perda de visão; nefropatia que pode ocasionar insuficiência renal; neuropatia periférica com risco de úlceras nos pés e amputações, entre outros ⁽¹⁾. A deficiência de insulina (absoluta ou relativa) tem sido apontada como a base das anormalidades bioquímicas que levam às complicações orgânicas do DM e os déficits biológicos de cicatrização e regeneração de tecidos ⁽⁴⁾.

Alguns mecanismos são apontados como fatores importantes na diminuição e/ou atraso do processo de cicatrização, entre eles, a produção excessiva de Espécies Reativas de Oxigênio (ROS), diminuição do Óxido Nítrico (NO),

diminuição da resposta aos Fatores de Crescimento (GFs) e proteínas da via de sinalização da insulina, alta concentração de metaloproteinases (MMPs) e presença de neuropatia ^(5,6,7). Ademais, o tempo de cicatrização prolongado em diabéticos pode estar relacionado ao aparecimento de outras complicações, dentre elas, destaca-se a alta probabilidade de infecções e, conseqüentemente, a amputação de extremidades ⁽⁴⁾.

O processo de cicatrização tecidual envolve inúmeros eventos biológicos, tais como: alterações vasculares e celulares, proliferação epitelial, proliferação de fibroblastos, produção de colágeno, elastina e de proteoglicanos, revascularização e contração da ferida ^(8,9).

O termo laserterapia refere-se ao uso de luz de baixa intensidade para produzir um efeito terapêutico em tecidos vivos ⁽¹⁰⁾. A utilização do laser de baixa intensidade com o objetivo de auxiliar o reparo tecidual é pesquisada desde 1963⁽¹¹⁾. O laser atua na cicatrização de feridas cutâneas por acelerar o processo fisiológico da cicatrização, aumentar a neovascularização, melhorar a síntese proteica, remodelar as bordas da ferida e diminuir a dor ⁽¹²⁾. Esses efeitos relatados na literatura ocorrem por meio de interação fotoquímica, podendo promover aumento do metabolismo celular e, conseqüentemente, induzir diferentes efeitos, como analgésico, anti-inflamatório e reparador⁽¹³⁾.

Os benefícios oferecidos pelo laser estão intimamente ligados ao comprimento de onda eletromagnética. Parâmetros como a potência

(medida em watts), densidade de potência (descrita em watts/cm²), e dose dispendida são importantes, bem como o protocolo realizado desde o local e forma de aplicação, tempo de irradiação, número de sessões e intervalos entre as sessões^(14,15).

Atualmente, não há recomendação sobre o procedimento padrão para os parâmetros técnicos de laserterapia para o tratamento de feridas diabéticas⁽¹⁶⁾. Assim, este estudo pretende auxiliar na fundamentação e de trabalhos científicos, propondo caminhos, que podem refletir na prática clínica e na tomada de decisão clínica. Nesta perspectiva, o objetivo do presente estudo, é descrever os parâmetros e protocolos utilizados do laser de baixa intensidade em feridas de indivíduos diabéticos.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, que é o tipo mais amplo de revisão de pesquisa e que permite a inclusão simultânea de pesquisa experimental e não experimental⁽¹⁷⁾. A busca de dados para elaboração desta revisão ocorreu no período de novembro e dezembro de 2021, nas seguintes bases: Google Scholar, Medical Literature Analysis and Retrieval System Online/US National Library of Medicine (MEDLINE/PUBMED) e na biblioteca virtual Scientific Electronic Library Online (SCIELO).

A questão norteadora foi formulada da seguinte forma: De acordo com a literatura, quais os parâmetros e protocolos utilizados no emprego do laser de baixa intensidade em feridas diabéticas? Foi utilizado como estratégia de

busca, os seguintes descritores específicos e seus acrônimos, para cada base de dados, de acordo com o *Medical Subject Headings* (MeSH) e Descritores em Ciência da Saúde (DeCs): Terapia com Luz de Baixa Intensidade (*Low-Level Light Therapy*); Cicatrização; *Wound Healing*; Ferimentos e Lesões; Complicações do Diabetes (Diabetes Complications).

Como critérios de inclusão foram definidos: publicações que abordem o uso do laser em feridas diabéticas de qualquer origem e estágio, em humanos; sem idioma específico, publicados até 2021. Ademais, foi considerado como critérios de inclusão a apresentação de parâmetros e o protocolo de terapia por Fotobiomodulação (FBM) realizado. A escolha dos parâmetros analisados levou em consideração as orientações da *World Association for Laser Therapy* (WALT)⁽¹⁸⁾, que recomenda que os estudos que utilizam a FBM especifiquem de forma detalhada todos os parâmetros dos dispositivos de luz utilizados, bem como o protocolo de intervenção realizados, a fim de que haja confiabilidade dos resultados. Foram excluídos trabalhos incompletos, duplicados e anais de eventos (resumo simples e expandido).

A busca foi realizada nas bases de dados e as referências recuperadas foram importadas em planilha eletrônica no Excel®, para organização, e posteriormente transferidas para o programa Rayyan⁽¹⁹⁾ para seleção dos estudos.

A qualidade dos ensaios clínicos e controlados inseridos na revisão, foram avaliados usando a Escala PEDro. Essa escala foi desenvolvida pela Physiotherapy Evidence

Database para ser empregada em estudos experimentais e tem uma pontuação total de até 10 pontos, incluindo critérios de avaliação de validade interna e apresentação da análise estatística empregada. Para cada critério definido na escala, um ponto (1) é atribuído à presença de indicadores da qualidade da evidência apresentada, e zero ponto (0) é atribuído à ausência desses indicadores⁽²⁰⁾.

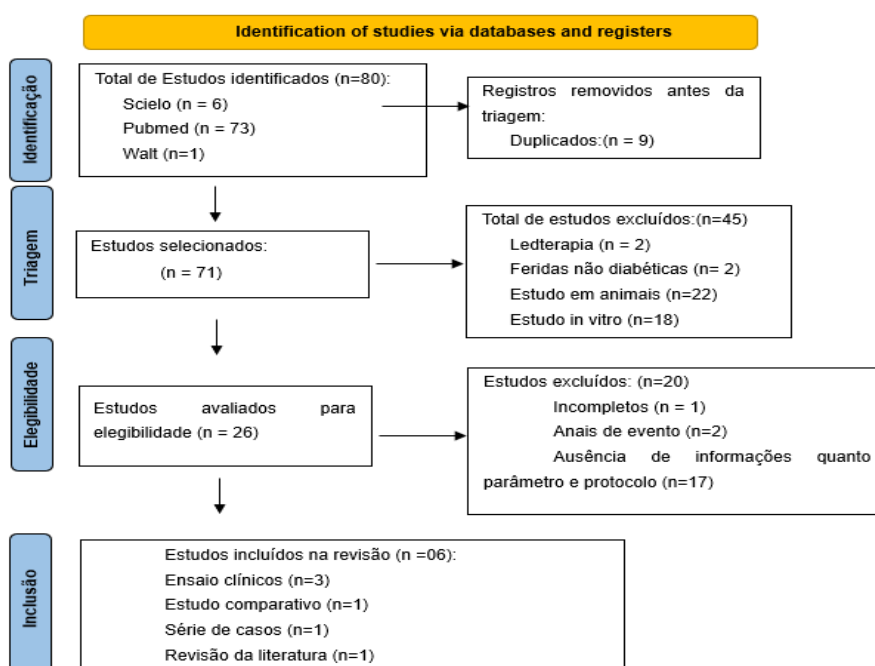
RESULTADOS

Foram identificados 80 estudos/materiais sobre o assunto, desses, 9 foram excluídos por duplicidade, 45 foram excluídos após a leitura de títulos e resumos e 26 foram lidos na íntegra e avaliados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão desta revisão. Entre os 26 lidos, dois estudos foram excluídos por se tratar de anais de eventos e um por estar

disponível apenas o resumo. E ainda, sete estudos foram excluídos por não apresentar informações importantes sobre o protocolo utilizado (número de sessões e intervalo entre as sessões); 10 foram excluídos por não apresentar determinados parâmetros de aplicação, como: potência do aparelho e dose. Desta forma, 6 estudos foram analisados de acordo com os critérios de inclusão previamente estabelecidos, onde 3 deste são ensaio clínicos, 1 série de caso, 1 estudo experimental e 1 revisões da literatura, detalhes da busca estão descritos na figura 1.

Foi inserida a revisão realizada pelo autor⁽²⁸⁾, devido o autor apresentar além dos efeitos da irradiação a laser na cicatrização de feridas diabéticas, como também as complicações associadas à cicatrização em indivíduos diabéticos.

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos artigos incluídos adaptado de *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)*⁽²²⁾.



Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação a qualidade dos três ensaios clínicos inseridos nesta revisão, a pontuação de acordo com a escala PEDro, variou entre 5⁽²⁵⁾ e 9^(21,23). O número da amostra dos estudos variou entre 6 e 32 indivíduos, com idade variando entre 18 e 64 anos. Os ensaios verificaram o uso do

laser em comparação com grupo placebo ou controle^(23,24,25,26) e também a outras terapias como associação com o óleo de *Calendula officinalis*⁽²²⁾ e comparando com os efeitos do Diodo emissor de luz (LED)⁽²⁷⁾. Estas informações estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1 – Qualidade dos ensaios e características dos estudos

Autor/Ano	Escore Escala PEDro	Metodologia do estudo	Tipo de Intervenção	Amostra (n)
Carvalho <i>et al.</i> , (2016) ⁽²¹⁾	9	ECR	Laser vs. AGE vs. Laser + AGE vs. controle	32
Santos <i>et al.</i> , (2018) ⁽²³⁾	9	ECR	Laser vs. controle	18
Dahmardehei <i>et al.</i> , (2016) ⁽²⁴⁾	-	Série de casos	Laser + Enxertia de pele	6
Feitosa <i>et al.</i> , (2015) ⁽²⁵⁾	5	ECR	Laser	16
Vitoriano <i>et al.</i> , (2019) ⁽²⁷⁾	-	Estudo comparativo	Laser vs. LED	12
Hourel, (2014) ⁽²⁸⁾	-	Revisão de literatura	-	-

Legenda: ECR – Ensaio clínico randomizado; VS. Verso; AGE-Ácidos graxos essenciais; LED: Diodo Emissor de luz.
Fonte: Elaborado pelos autores.

As características do laser utilizado nos estudos primários, parâmetros e dados sobre a frequência da terapia estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 – Características do laser, parâmetro e protocolo utilizados nos estudos primários incluídos na revisão.

Autor, ano	Comprimento de onda (nm)	Potência de saída	Densidade e de potência/Irradiância /taxa de fluência (W/cm ² ou mw/cm ²)	Modo de emissão	Densidade e de energia/dose de radiação/fluência (J/cm ²)	Área do spot/área de irradiação (mm ² ou cm ²)	Duração da irradiação (segundos)	Forma e Local de irradiação	Número de irradiações	Frequência de aplicações
Carvalho <i>et al.</i> , (2016) ⁽²¹⁾	658 nm	30 mW	-	Contínuo	4 J/cm ²	12,56mm ²	80	Pontual com contato	12	3x por semana
Santos <i>et al.</i> , (2018) ⁽²³⁾	660 nm	30 mW	0,49 W/cm ²	Contínuo	6 J/cm ²	0,06 mm ²	13	Pontual com contato	16	a cada 48h
Dahmardehei <i>et al.</i> , (2016) ⁽²⁴⁾	650 nm 810 nm 660 nm	150 mW 200 mW 10 mW	0,6 W/cm ² 0,2 W/cm ²	Contínuo	2 J/cm ² 6 J/cm ² 10 J/cm ²	0,25cm ² 0,25cm ² 0,25cm ²	- - 960	Pontual Pontual Intravenoso (veia cubital mediana)	10 a 15	Dias alternados
Feitosa <i>et al.</i> , (2015) ⁽²⁵⁾	632,8 nm	30 mW	-	Pulsado	4 J/cm ²	-	80	pontual sem contato	12	Dias alternado
Vitoriano <i>et al.</i> , (2019) ⁽²⁷⁾	830 nm	30 mW	0,25 W/cm ²	Contínuo	7J/cm ²	0,116 cm ²	28	Pontual com contato	10	2x por semana

Fonte: Elaborado pelos autores.

DISCUSSÃO

Nesta revisão foram inseridos estudos que envolveram indivíduos com diagnóstico de diabetes tipo II. A utilização do laser ocorreu isolada ou em associação com o tratamento convencional para cada tipo de ferida, como curativos rotineiramente utilizados no tratamento de lesões em úlceras em pé diabético. Em sua grande maioria, os estudos abordaram o uso do laser em úlcera em pé diabético^(22,23,24,25) e apenas um estudo⁽²⁴⁾ verificou os efeitos do laser em lesões por queimadura com deiscência na área do enxerto, em indivíduo diabético. Os ensaios tiveram como desfecho desde a mensuração da redução da área da ferida, dor e sensibilidade.

O autor⁽²¹⁾ comparou o uso do laser isolado e associado ao óleo de *Calendula officinalis* no processo de reparo de úlceras em pé diabético, utilizando laser de comprimento de onda 658nm e potência de 30mW, com dose de 4J/cm², três vezes por semana. A laserterapia isolada ou associada ao óleo de *Calêndula officinalis* foi eficaz no alívio da dor e na redução da área da ferida. No estudo do autor⁽²³⁾ o laser foi utilizado em úlceras crônicas em pé diabético de 18 indivíduos, divididos em grupo intervenção e controle. Os resultados obtidos apontaram que o grupo que recebeu aplicação do laser, apresentou aumento significativo no índice de reparação tecidual em relação ao grupo controle, com diferença estatística significativa ($p < 0,013$). Em relação a intensidade da dor, a mesma foi avaliada pela EVA (Escala Analógica Visual) não houve diferença significativa entre os grupos em relação a este parâmetro ($p > 0,05$).

O autor⁽²⁴⁾ realizou uma série de caso com seis pacientes diabéticos, com idade média de 49,1 anos, que tinham úlcera de queimadura de grau 3 (Classificação de Wagner), na região dos pés e eram candidatos a amputação. Os pacientes foram submetidos a laserterapia local (aplicada na região da ferida), e também de forma sistêmica, antes e após a cirurgia para enxerto de pele. Foram utilizados comprimentos de ondas diferentes para o leito da ferida (650nm) e borda (810nm), e quando o tecido de granulação cobriu a área completamente, a cirurgia de enxertia foi realizada. Logo após os pacientes receberam de 3 a 5 aplicações de laser a fim de prevenir deiscência da área enxertada. Após 10 a 15 sessões de laser, cerca de 2 meses, ocorreu o fechamento completo da ferida em todos os pacientes e não houve recidiva e outras complicações durante 6 meses de acompanhamento.

O autor⁽²⁵⁾ realizou ensaio clínico, controlado e randomizado, com 16 pacientes diabéticos, portadores de úlcera em membros inferiores, distribuídos em grupo controle (n=8) e grupo tratado com laser (n=8), de comprimento de onda de 632,8 nm, durante três semanas, com procedimentos realizados em dias alternados, totalizando 12 aplicações. Como resultado, houve diminuição significativa do tamanho da ferida nos participantes do grupo tratados com laser, quando comparado ao grupo controle. Além disso, um paciente do grupo controle apresentou aumento estatisticamente significativo do tamanho da ferida, e evoluiu para amputação

transfemoral. Já no grupo laser, houve melhora no tamanho das feridas e da dor.

No ensaio clínico controlado e randomizado ⁽²⁶⁾ foi investigado os efeitos da laserterapia como um adjunto ao tratamento periodontal não cirúrgico em pacientes com DM tipo 2 com periodontite crônica submetidos a raspagem e alisamento radicular subgingival. Foram incluídos 22 pacientes, e aplicado design de boca dividida, onde dois quadrantes foram tratados apenas com raspagem e alisamento radicular (SRP) configurando o grupo controle, e os outros dois foram tratados com SRP associado a laserterapia. Houve pequeno benefício adicional de curto prazo no sangramento gengival com o uso do laser, mas não aumentou significativamente outros parâmetros clínicos, como Índice de placa (PI) e profundidade de sondagem (PD).

Em estudo ⁽²⁷⁾ que comparou a eficácia do laser com o Diodo Emissor de Luz (LED) em úlcera em pé diabético com 12 pacientes, observou-se que o laser promoveu redução do tamanho da lesão de 81,17% quando comparado ao grupo LED, com redução de 62,26%. Sobre as diferenças entre resultados com uso do laser e do LED ⁽³⁷⁾, acredita-se pode estar relacionado a uma característica conhecida como coerência, presente no laser, que desempenha um mecanismo mais eficiente devido à presença de ondas com a mesma frequência e mesmo sentido, ao contrário do LED (não coerente) que seria menos eficiente na terapêutica. No entanto, o autor ⁽³⁸⁾ afirma que a propriedade de coerência é perdida durante a interação da luz com o tecido biológico, não

sendo, portanto, um pré-requisito para o processo de fotoestimulação ou fotoinibição ⁽³⁹⁾ apontam para a irradiação por ponto, com laser estacionário, a fim de não realizar a sobreposição de irradiação, como acontece na técnica de varredura.

Ressalta-se que todos os estudos identificados na amostra desta revisão apresentaram resultados positivos no processo de reparação tecidual com o uso da laserterapia quando comparados com grupos-controle sem registro de eventos adversos associados.

No que se refere a avaliação das feridas, diferentes instrumentos foram utilizados para classifica-las, tais como: escala Pressure Ulcer Scale for Healing (PUSH) ⁽²³⁾, Classificação de Wagner ⁽²⁴⁾ e Sistema de classificação da Universidade do Texas ⁽²⁷⁾. Os demais estudos não realizaram a classificação da lesão, apenas mensuraram a área com auxílio de régua impressa e/ou planimetria computadorizada.

Percebeu-se que a maioria dos estudos utilizavam o laser de comprimento de onda abaixo de 700nm e acima de 600nm, resultados semelhantes identificados em revisão realizada em 2014 ⁽²⁸⁾. O laser nesta faixa espectral fornece luz visível, no vermelho próximo. Além disso, densidade de potência menores apresentaram melhores resultados na reparação tecidual do que as maiores. O modo mais utilizado foi o contínuo, com fluências menores, e tempo por ponto variando de 5 a 80 segundos para o laser local, e 960 segundos para laser sistêmico. O número médio de intervenções realizadas foram de

aproximadamente 11, sempre com intervalos maiores do que 24 horas entre as irradiações.

Todos os estudos utilizaram como forma de aplicação a pontual e, em sua maioria, com a ponteira do laser em contato com o tecido a ser irradiado. Os estudos que realizaram a irradiação com laser em contato, utilizaram cobertura estéril e transparente para evitar contaminação, sem prejuízo à passagem do feixe luminoso.

Em estudo de revisão realizado em 2014 a dificuldade de cicatrização de feridas diabéticas está relacionada com a função celular prejudicada que promove uma diminuição na migração celular, proliferação, síntese de óxido nítrico (NO), fatores de crescimento e síntese de colágeno⁽²⁸⁾. Há também um aumento nas proteinases que degradam a matriz extracelular e o colágeno (MMPs) e as células parecem estar presas na fase inflamatória da cicatrização da ferida. O aumento do estresse oxidativo também leva ao aumento da morte celular.

A irradiação laser *in vitro* mostrou que essas células respondem de maneira favorável, mesmo à irradiação de células diabéticas, promovendo uma maior migração celular, proliferação, produção de colágeno, ATP, concentração de mitocôndrias, atividade do citocromo C oxidase, fatores de crescimento, e diminuição nas MMPs, apoptose e citocinas pró-inflamatórias^(28, 29, 30, 31).

Esses efeitos são alcançados a partir da seleção de parâmetros e frequência de tratamento adequados. Segundo o autor⁽³²⁾, a efetividade da laserterapia na influência dos tecidos depende de algumas condições, como, o comprimento de

onda, a potência, a frequência, a quantidade de energia aplicada, o tipo de tecido e sua capacidade de absorção.

O autor e colaboradores⁽³³⁾ registraram que os resultados mais satisfatórios no reparo de feridas diabéticas foram aqueles onde se aplicaram o laser HeNe com um comprimento de onda de 632,8 nm com densidade de energia na faixa de 3-5 J/cm². Os efeitos biológicos mais significativos foram observados com valores de dose predominantes, ou seja, até 5 J/cm². Por sua vez, no estudo de pesquisa⁽³⁴⁾, que envolveu o uso do laser em feridas de ratos com diabetes induzida, o laser de 660 nm a 3J/cm² se mostrou capaz de estimular significativamente a colagenogênese, a redução do infiltrado inflamatório e a solução precoce da fase inflamatória das feridas, distinguindo-se quanto ao processo de reepitelização completa.

Em revisão⁽²⁸⁾, o autor esclarece que os efeitos da irradiação a laser são altamente dependentes dos parâmetros do laser, como comprimento de onda, densidade de potência e fluência. Assim, a resposta das células ao emprego do laser é dependente da dose, comprimento de onda, número de exposições, bem como o tempo entre as exposições. Isso explica estudos onde o laser provoca um efeito negativo nas células, ou até mesmo nenhum efeito. O fato é que os parâmetros escolhidos devem estar dentro da curva de Arndt-Schultz⁽³⁵⁾. O que explicaria o fato de doses muito baixas não promoverem efeitos biológicos, enquanto doses mais altas resultarem em inibição das funções celulares⁽³⁶⁾.

Em relação a frequência de tratamento, todos os estudos realizaram com um intervalo maior que 24 horas. O autor⁽²⁹⁾ em estudo que investiga a produção de colágeno em feridas diabéticas como resposta da irradiação do laser de comprimento de onda de 660nm, sugerem um intervalo entre as aplicações para acompanhar e promover a síntese de colágeno, para melhores resultados.

Salienta-se que a laserterapia assume um papel de terapia complementar, onde na maioria dos estudos se apresenta associado a outros tratamentos conservadores e/ou cirúrgicos.

Como limitação destaca-se o número restrito de estudos clínicos envolvendo humanos sobre o uso da laserterapia na cicatrização de feridas diabéticas. Em contrapartida, uma série de estudos usando laserterapia em modelos animais foram identificados. Uma possível explicação são questões éticas e financeiras associadas à realização de ensaios clínicos em humanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento acerca do emprego da laserterapia em feridas diabéticas é essencial ao profissional da área da saúde, visto que os efeitos desejados são dependentes dos parâmetros e protocolos utilizados. Assim, a compreensão sobre essa tecnologia/terapêutica torna-se essencial para realização de forma segura e eficaz.

Em relação aos parâmetros, verificou heterogeneidade na sua dosimetria entre os protocolos analisados, sendo os mais utilizados e com resultados significativos: Luz de espectro

abaixo de 700nm, potência de saída 30mW, a densidade de energia variou entre 4 a 6J/cm², o modo mais utilizado foi o contínuo, aplicado de forma pontual, com aplicações em dias alternados, com a realização de no mínimo 10 sessões de intervenção.

Devido a quantidade limitada de estudo envolvendo seres humanos, com apresentação clara do protocolo de tratamento e metodologia utilizados, sugerimos a realização de ensaios clínicos controlados, randomizados com maior rigor nas etapas, tais como: cegamento, alocação, homogeneização da amostra, e descrição clara e completa dos parâmetros utilizados.

REFERÊNCIAS

1. American Diabetes Association (ADA). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. Diabetes Care [Internet]. 2013[cited 2022 Jan 10]; 36 (Suppl. 1): S67-74. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc13-S067>
2. Chen L, Magliano Dj, Zimmet PZ. The worldwide epidemiology of type 2 diabetes mellitus: present and future perspectives. Nat Rev Endocrinol [Internet]. 2012 [cited 2022 Jan 10];8(4):228-36. DOI 10.1038/nrendo.2011.183. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22064493/>.
3. BRASIL. Departamento de Atenção Básica. Manual do pé diabético: estratégias para o cuidado da pessoa com doença crônica. Brasília: Ministério da Saúde; [Internet]. 2013[cited 2021 Nov 25]; Available from: <https://aps.saude.gov.br/biblioteca/visualizar/MTMzNQ==>
4. Mendes JJ, Neves J. Diabetic foot infections: current diagnosis and treatment. Journal of Diabetic Foot Complications: 212 [Internet]. 2012 [cited 2021 Nov 25];4(1):26-45. Available from:

- <https://jdfc.org/spotlight/diabetic-foot-infections-current-diagnosis-and-treatment/>
5. Brem H, Tomic-Can M. Cellular and molecular basis of wound healing in diabetes. *J. Clin Invest* [Internet]. 2007 [cited 2022 Jan 2]; 117:1219-22. DOI 10.1172/JCI32169. Available from: <https://www.jci.org/articles/view/32169>
 6. Kolluru GK, Bir SC, Kevil CG. Endothelial dysfunction and diabetes: effects on angiogenesis, vascular remodeling, and wound healing. *Int J Vasc Med* [Internet]. 2012 [cited 2021 Nov 25]; 2012:1-30. Available from: <https://doi.org/10.1155/2012/918267>
 7. Lima MH, Caricilli AM, Abreu LL, Araújo EP, Pelegrinelli FF, Thirone AC. Topical insulin accelerates wound healing in diabetes by enhancing the AKT and ERK pathways: A double-blind placebo-controlled clinical trial. *PLoS One* [Internet]. 2012 [cited 2021 Nov 5]; 7:1-30. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036974>
 8. Aukhil I. Biology of wound healing. *Periodontology 2000* [Internet]. 2000 [cited 2022 Jan 3];22(1):44-50. Available from: https://www.academia.edu/61436812/Biology_of_wound_healing?auto=citations&from=cover_page
 9. Pollack SV, Sheldon V. Wound healing: A review. I. The biology of wound healing. *J Dermatol Surg Oncol* [Internet]. 1979 [cited 2021 Nov 16]; 5:389-93. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.1979.tb00678.x>
 10. Gigo-Benato D, Geuna S, Rochkind S. Phototherapy for enhancing peripheral nerve repair: A review of the literature. *Muscle & Nerve* [Internet]. 2005 [cited 2021 Nov 25];31(6):694-701. DOI doi:10.1002/lsm.1900050105. Available from: <https://doi.org/10.1002/mus.20305>
 11. Mester E, Mester AF, Mester A. The biomedical effects of laser application. *Lasers in Surgery and Medicine* [Internet]. 1985 [cited 2021 Nov 25];5(1):31-9. DOI 10.1002/lsm.1900050105. Available from: <https://doi.org/10.1002/lsm.1900050105>
 12. Pinto MV, Costa DA, Rocha LL, Santos HR, Silva AL, Barbosa LG. Estudo comparativo dos efeitos do Ga-As (904 nm, 150mW) laser e do ultra-som pulsado de 1 MHz na inflamação do músculo tibial de ratos Wistar. *Bras Arch Biol Technol*. 2008; 51:225-30.
 13. Theodoro LH, Garcia VG. Lasers em implantodontia. *JBC: j. bras. clin. odontol. integr* [Internet]. 2002 [cited 2021 Dec 20];5(30):525-9. Available from: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-336409>
 14. Fung DTC, Gyf NG, Leung MCP, Tay DKC. Therapeutic low energy laser improves the mechanical strength of repairing medial collateral ligament. *Lasers in Surgery and Medicine* [Internet]. 2002 [cited 2021 Nov 16];31(2):91-6. DOI 10.1002/lsm.10083. Available from: <https://doi.org/10.1002/lsm.10083>
 15. Martins TBS, Borges FS. O uso do laser de baixa intensidade no reparo tecidual da pele [Internet]. Rio de Janeiro; 2010 [cited 2022 Jan 5]. Available from: <http://interfisio.com.br/?artigo&ID=436&url=O-uso-do-laser-de-baixaintensidade-no-reparo-tecidual-da-pele>
 16. Posten W, Wrone DA, Dover JS, Arndt KA, Silapunt S, Alam M. Low Level Laser Therapy for Wound Healing: Mechanism and Efficacy. *Dermatologic Surgery* [Internet]. 2006 [cited 2021 Dec 9];31(3):334-340. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15841638/>.
 17. Whittemore R, Knafl K. The integrative review: updated methodology. *J Adv Nurs* [Internet]. 2005 [cited 2021 Nov 5];52(5):546-53. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
 18. World Association of Laser Therapy (WALT). Consensus agreement on the design and conduct of clinical studies with low-level

- laser therapy and light therapy for musculoskeletal pain and disorders. *Photomedicine and Laser Therapy* [Internet]. 2006 [cited 2021 Dec 16];24(6):761-2. Available from: <https://doi.org/10.1089/pho.2006.24.761>
19. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical therapy* [Internet]. 2003 [cited 2021 Dec 08];83(8):713-21. Available from: <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.713>
 20. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic reviews* [Internet]. 2016 [cited 2021 Dec 08];5(1):1-10. Available from: <https://systematicreviewsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13643-016-0384-4>
 21. Carvalho AF, Feitosa MC, Coelho NP, Rebêlo VC, Castro JG, Sousa, PR, et al. Low-level laser therapy and *Calendula officinalis* in repairing diabetic foot ulcers. *Revista da Escola de Enfermagem da USP* [Internet]. 2016 [cited 2021 Dec 16]; 50(4):628-34. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0080-623420160000500013>
 22. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, [Internet]. 2021 [cited 2022 Jan 3]; 88:105906. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
 23. Santos JAF, Campelo MBD, Oliveira RA, Nicolau RA, Rezende VEA, Arisawa EA. Effects of Low-Power Light Therapy on the Tissue Repair Process of Chronic Wounds in Diabetic Feet. *Photomedicine and Laser Surgery* [Internet]. 2018 [cited 2022 Jan 5];36(6):298-304. Available from: <https://doi.org/10.1089/pho.2018.4455>
 24. Dahmardehei M, Kazemikhoo N, Vaghardoost R, Mokmeli S, Momeni M, Nilforoushzadeh MA, et al. Effects of low-level laser therapy on the prognosis of split-thickness skin graft in type 3 burn of diabetic patients: a case series. *Lasers Med Sci* [Internet]. 2016 [cited 2022 Jan 03];31(3):497-502. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1896-9>
 25. Feitosa MCP, Carvalho AFM, Feitosa VC, Coelho IM, Oliveira RA, Arisawa EAL. Effects of the low-level laser therapy (LLLT) in the process of healing diabetic foot ulcers. *Acta Cir Bras*. [Internet]. 2015 [cited 2022 Jan 10];30(12):852-8. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0102-865020150120000010>
 26. Demirturk-Gocgun O, Baser U, Aykol-Sahin G, Dincag N, Issever H, Yalcin F. Role of low-level laser therapy as an adjunct to initial periodontal treatment in type 2 diabetic patients: a split-mouth, randomized, controlled clinical trial. *Photomedicine and laser surgery* [Internet]. 2017 [cited 2022 Jan 5]; 35(2):111-15. Available from: <https://doi.org/10.1089/pho.2016.4117>
 27. Vitoriano NAM, Mont-Alverne DGB, Martins MIS, Silva PS, Martins CA, Teixeira HD, Tatmatsu-rocha JC. Comparative study on laser and LED influence on tissue repair and improvement of neuropathic symptoms during the treatment of diabetic ulcers. *Lasers in Medical Science* [Internet]. 2019 [cited 2022 Jan 5];34(7):365-1371. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10103-019-02724-5>
 28. Houreld NN. Shedding light on a new treatment for diabetic wound healing: a review on phototherapy. *Scientific World Journal* [Internet]. 2014 [cited 2021 Dec 17];2014(Article ID 398412):1-13. Available from: <https://doi.org/10.1155/2014/398412>
 29. Ayuk SM, Houreld NN, Abrahamse EH. Collagen production in diabetic feridos fibroblasts in response to low intensity laser irradiation at 660 nm. *Diabetes Tecnologia e Terapêutica*. 2012;14(12):1110-17.
 30. Sekhejane PR, Houreld NN, Abrahamse EH. A irradiação a 636 nm afeta positivamente as células diabéticas feridas e hipóxicas in



- vitro. *Photomed Laser Surg.* 2011;29(8):521-30.
31. Karu TI, Pyatibrat LV, Afanasyeva NI. A novel mitochondrial signaling pathway activated by visible-to-near infrared radiation. *Photochem Photobiol* [Internet]. 2004 [cited 2021 Nov 5];80(2):366-72. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2004.tb00097.x>.
32. Dantas EM, Carvalho CM, Batista SH, Menezes MR, Dantas WR. Analgesic effect of GaAlAs laser on anesthetic action. *Rev Cir Traumatol Buco-Maxilo-Fac.* 2011;11(2):75-82.
33. Sousa RG, Batista KN. Laser therapy in wound healing associated with diabetes mellitus. *Anais Brasileiros de Dermatologia: Review.* *Anais Brasileiros de Dermatologia* [Internet]. 2016 [cited 2022 Jan 5];91(4):489-93. Available from: <https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20163778>
34. Rodrigues P, Ferreira J, Carvalho C, Pinto W. Efeito do laser HeNe na cicatrização de feridas diabéticas em ratos curación de heridas en ratas diabéticas. *Revista Eletrônica Acervo Saúde* [Internet]. 2017 [cited 2021 Dec 8];9(4):1167-73. Available from: https://www.acervosaude.com.br/doc/27_2017.pdf#
35. Pereira NA, Eduardo CDE, Matson E, Marques MM. Efeito da irradiação com laser de baixa potência no crescimento celular e síntese de procolágeno de fibroblastos cultivados. *Lasers Surg Med* [Internet]. 2002 [cited 2021 Dec 10]; 31:263-267. Available from: <https://doi.org/10.1002/lsm.10107>
36. Sommer AP, Pinheiro AL, Mester AR, Franke RP, Whelan HT. Janelas bioestimuladoras na ativação do laser de baixa intensidade: lasers, scanners e o sistema de matriz de diodos emissores de luz da NASA. *J Clin Laser Med Surg* [Internet]. 2001 [cited 2021 Dec 8]; 19:29-33. Available from: <https://doi.org/10.1089/104454701750066910>
37. Chaves ME, Araújo AR, Piancastelli AC, Pinotti M. Effects of low-power light therapy on wound healing: LASER x LED. *Anais Brasileiros de Dermatologia* [Internet]. 2014 [cited 2021 Nov 17];89(4):616-23. Available from: <https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20142519>.
38. Karu TI, Kolyakov SF. Exact action spectra for cellular responses relevant to phototherapy. *Photomedicine and Laser Therapy* [Internet]. 2005 [cited 2021 Nov 16];23(4):355-61. Available from: <https://doi.org/10.1089/pho.2005.23.355>
39. Rezende L, Lenzi J. *Eletrotermofototerapia em Oncologia.* 1st ed. São Paulo: Thieme Revinter; 2020.

Submissão: 2022-02-11

Aprovado: 2022-03-04