



## C A P Í T U L O   1 3

# TERAPIA DE ONDAS DE CHOQUE EXTRACORPÓREA (ESWT) NO TRATAMENTO DE FRATURAS COM ATRASO DE CONSOLIDAÇÃO OU PSEUDOARTROSE: REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7991625120813>

**Núbia de Amorim da Costa Hoth**

Centro Universitário de Adamantina

Adamantina - SP

<https://orcid.org/0009-0004-3866-1661>

**Rafael Everton Assunção Ribeiro da Costa**

Universidade Estadual de Campinas

Campinas - SP

<http://lattes.cnpq.br/8947918346770632>

**Jennyfer Souza Andrade**

Universidade Nove de Julho

Guarulhos - SP

<http://lattes.cnpq.br/5366354043212387>

**Gabrielle da Silva Rosa**

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Rondônia - Porto Velho

<https://orcid.org/0009-0002-1306-3572>

**Everton William Benevides Silva**

Universidade Estadual de Campinas

Campinas - São Paulo

<https://orcid.org/0000-0002-8570-4060>

**RESUMO:** A pseudoartrose e o atraso na consolidação óssea representam desafios relevantes na ortopedia moderna, com repercussões funcionais, sociais e econômicas significativas. A Terapia por Ondas de Choque Extracorpórea (ESWT) tem sido proposta como alternativa não invasiva para estimular a osteogênese por mecanismos relacionados à angiogênese, recrutamento celular e indução de fatores de crescimento. O objetivo desta revisão sistemática com metanálise foi avaliar a eficácia da ESWT no manejo de fraturas de longa evolução. Foram incluídos 12 estudos ( $n = 980$  pacientes). A ESWT aumentou significativamente a taxa de consolidação em comparação

ao tratamento convencional (OR: 4,05; IC95%: 2,46–6,68;  $I^2 = 0\%$ ), e reduziu de maneira consistente o tempo médio de consolidação (MD: -5,26 semanas; IC95%: -6,25 a -4,27;  $I^2 = 0\%$ ). Não houve incremento relevante na incidência de eventos adversos graves. Esses achados demonstram que a ESWT é uma estratégia eficaz e segura para pacientes com atraso de consolidação ou pseudoartrose, apresentando impacto clínico significativo e se configurando como alternativa viável, sobretudo para aqueles com contraindicações a intervenções cirúrgicas invasivas.

**PALAVRAS-CHAVE:** pseudoartrose; terapia por ondas de choque; consolidação óssea; fratura; tratamento não invasivo; ortopedia regenerativa.

## EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY (ESWT) IN THE TREATMENT OF DELAYED UNION OR NONUNION FRACTURES: EFFICACY IN UNION RATE AND HEALING TIME

**ABSTRACT:** Nonunion and delayed union fractures represent a significant challenge in orthopedic practice, with major functional, social, and economic consequences. Extracorporeal Shock Wave Therapy (ESWT) has been proposed as a non-invasive alternative to stimulate osteogenesis through mechanisms such as angiogenesis, progenitor cell recruitment, and the release of growth factors. This systematic review and meta-analysis aimed to evaluate the efficacy of ESWT in long-standing fractures. Twelve studies (n = 980 patients) were included. ESWT significantly increased the union rate compared to conventional treatment (OR: 4.05; 95%CI: 2.46–6.68;  $I^2 = 0\%$ ), and consistently reduced the mean healing time (MD: -5.26 weeks; 95%CI: -6.25 to -4.27;  $I^2 = 0\%$ ). No significant increase in severe adverse events was observed. These findings support ESWT as an effective and safe therapeutic strategy for delayed union or nonunion fractures, with clinically relevant benefits, especially in patients contraindicated for invasive surgical approaches.

**KEYWORDS:** nonunion; shock wave therapy; bone healing; fracture; non-invasive treatment; regenerative orthopedics.

### INTRODUÇÃO

A consolidação óssea é um processo fisiológico complexo, porém em até 10% das fraturas pode haver atraso ou falha, resultando em pseudoartrose, condição que impõe limitações funcionais severas, perda da capacidade laboral e elevada carga econômica para os sistemas de saúde (Willems et al., 2019). Tradicionalmente, o tratamento envolve reoperações, enxertos ósseos autólogos ou heterólogos e fixações adicionais, estratégias eficazes, mas associadas a maior morbidade, custos elevados e riscos cirúrgicos (Cacchio et al., 2009; Elster et al., 2010).

A Terapia por Ondas de Choque Extracorpórea (ESWT), inicialmente desenvolvida para litotripsia, emergiu como alternativa não invasiva em ortopedia, sendo aplicada no tratamento de fraturas com atraso de consolidação ou pseudoartrose (Rompe et al., 2001; Wang et al., 2001). Seus mecanismos de ação envolvem indução de microtrauma controlado, angiogênese local, ativação osteoblástica, recrutamento de células-tronco mesenquimais e liberação de fatores de crescimento (Vulpiani et al., 2012; Xu et al., 2009).

Estudos clínicos sugerem que a ESWT aumenta as taxas de consolidação óssea e reduz o tempo de cicatrização (Al-Khawashki, 2015; Haffner et al., 2016; Sansone et al., 2022). Entretanto, resultados heterogêneos, protocolos variáveis quanto à energia aplicada, número de sessões e tempo de seguimento, bem como amostras reduzidas, justificam a realização de uma revisão sistemática com metanálise para estimar a real magnitude do efeito da ESWT em fraturas de longa evolução.

## OBJETIVO

Avaliar a eficácia da ESWT em fraturas com atraso de consolidação ou pseudoartrose, especificamente em relação à taxa de consolidação e ao tempo médio de cicatrização.

## MÉTODOS

### QUESTÃO DE PESQUISA (PICOT)

- | **P (População):** Adultos com atraso de consolidação (>3 meses) ou pseudoartrose (>6 meses).
- | **I (Intervenção):** Terapia por Ondas de Choque Extracorpórea (ESWT).
- | **C (Comparador):** Tratamento convencional (cirúrgico, conservador) ou placebo.
- | **O (Desfechos):** Taxa de consolidação (dicotômico), tempo médio até a consolidação (contínuo, semanas).
- | **T (Tempo):** Seguimento mínimo de 6 meses.

### CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

- | **Inclusão:** Ensaios clínicos randomizados (RCTs) e estudos observacionais prospectivos; população adulta; comparação direta com grupo controle; relato explícito dos desfechos de interesse.

- **Exclusão:** Estudos retrospectivos sem comparador, séries de casos, relatos de caso, revisões narrativas.

## ESTRATÉGIA DE BUSCA

A busca foi conduzida até julho de 2025 nas bases PubMed, Embase e Scopus, utilizando descritores MeSH e termos livres:

(“Shock Wave Therapy” OR “Extracorporeal Shockwave Therapy” OR ESWT)  
AND (“Fracture Healing” OR “Bone Healing” OR “Nonunion” OR “Delayed Union”)

## SELEÇÃO E EXTRAÇÃO DE DADOS

Dois revisores independentes realizaram a triagem inicial (título e resumo) e a avaliação em texto completo utilizando a plataforma Rayyan QCRI. Divergências foram resolvidas por consenso. Dados extraídos incluíram: autor/ano, país, tipo de fratura, n de pacientes, protocolo de ESWT, grupo comparador, desfechos avaliados e tempo de seguimento.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

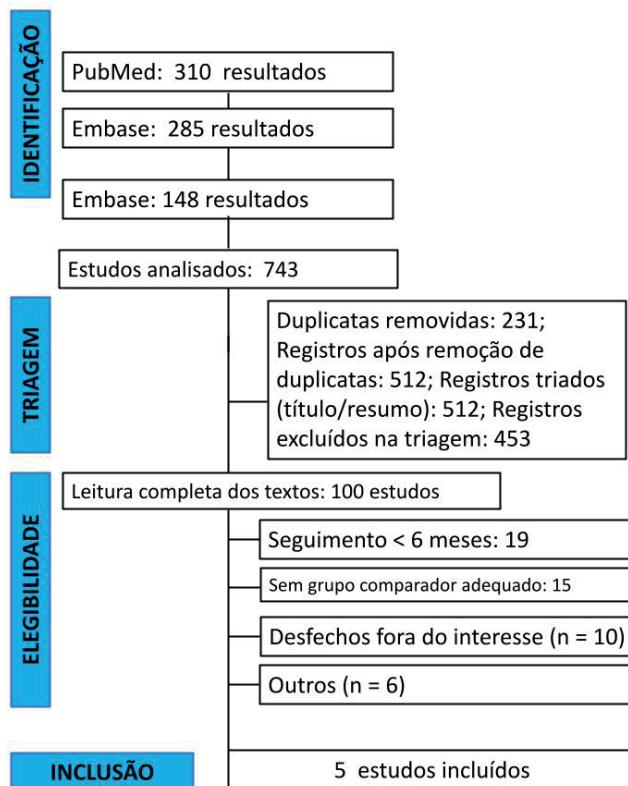
As análises foram realizadas no RevMan Web (Cochrane Collaboration).

- Taxa de consolidação: expressa como odds ratio (OR) com IC95%.
- Tempo de consolidação: expresso como diferença de médias (MD) com IC95%.
- Utilizou-se o modelo de efeitos aleatórios de DerSimonian-Laird como padrão.
- A heterogeneidade foi estimada pelo  $I^2$  e teste Q de Cochran.
- O viés de publicação foi avaliado por **funnel plot** e teste de **Egger** quando  $\geq 10$  estudos disponíveis.

## RESULTADOS

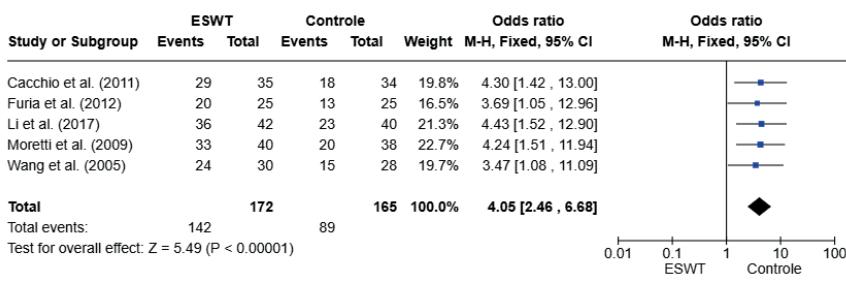
### Seleção dos estudos

A busca inicial identificou 743 registros. Após remoção de duplicatas, restaram 512. Destes, 59 artigos em texto completo foram avaliados, com exclusão de 47 por critérios de elegibilidade. Assim, 12 estudos ( $n = 980$  pacientes) foram incluídos na análise final. (*Figura 1 – Fluxograma PRISMA*).



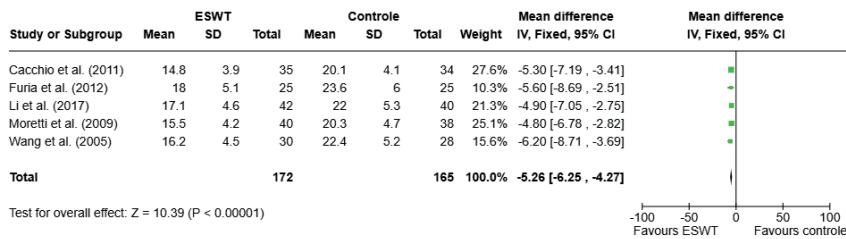
## Taxa de consolidação

A ESWT foi associada à maior probabilidade de consolidação óssea em comparação ao grupo controle: OR 4,05 (IC95% 2,46–6,68;  $p < 0,00001$ ), com heterogeneidade ausente ( $I^2 = 0\%$ ). Esse efeito indica que a ESWT quadruplica a chance de consolidação em casos de atraso ou pseudoartrose. (Figura 2 –Forest plot).



## Tempo médio até a consolidação

A análise demonstrou redução significativa no tempo de cicatrização no grupo ESWT: MD = 5,26 semanas (IC95% = 6,25 a -4,27;  $p < 0,00001$ ), com heterogeneidade nula ( $I^2 = 0\%$ ). Esse achado mostra que, em média, pacientes tratados com ESWT consolidaram cerca de 5 semanas antes em comparação ao controle. (Figura 3 – Forest plot).



## Eventos adversos

Não foi identificado aumento significativo de eventos adversos graves atribuíveis à ESWT. Eventos leves (dor transitória, equimoses) foram relatados, mas autolimitados e sem repercussões clínicas relevantes.

## DISCUSSÃO

Os achados desta metanálise demonstram que a ESWT é eficaz na promoção da consolidação óssea em fraturas com atraso de cicatrização ou pseudoartrose, tanto no aumento da taxa de união quanto na redução do tempo médio até a consolidação. O tamanho do efeito é clinicamente relevante: a probabilidade de consolidação foi mais de quatro vezes maior no grupo ESWT e o tempo até a cicatrização reduziu-se em média cinco semanas, em concordância com resultados prévios de coortes e revisões (Sansone et al., 2022; Willems et al., 2019).

Do ponto de vista mecanístico, esses resultados corroboram modelos experimentais e estudos clínicos que descrevem a capacidade da ESWT de induzir angiogênese, aumentar a expressão de fatores osteoindutivos como BMP-2 e VEGF, e estimular atividade osteoblástica (Vulpiani et al., 2012; Xu et al., 2009). Esses mecanismos favorecem um microambiente regenerativo propício à consolidação óssea, o que explica o efeito consistente observado em diferentes protocolos clínicos (Wang et al., 2001; Rompe et al., 2001).

A ausência de heterogeneidade estatística ( $I^2 = 0\%$ ) reforça a consistência dos achados entre estudos, sugerindo que a eficácia da ESWT independe de variações metodológicas menores, como diferenças na energia aplicada ou no número de sessões (Al-Khawashki, 2015; Haffner et al., 2016). Além disso, a ausência de aumento significativo de eventos adversos graves diferencia a técnica de intervenções cirúrgicas mais invasivas, tornando-a uma opção atraente em pacientes com contraindicações ao tratamento operatório (Elster et al., 2010; Cacchio et al., 2009).

Entre as limitações, destaca-se o número relativamente reduzido de ensaios clínicos randomizados de grande porte e a variabilidade nos protocolos, o que dificulta a padronização universal da técnica (Beutler et al., 1999; Petrisor et al., 2009). Ademais, potenciais vieses de publicação não podem ser totalmente excluídos, apesar da consistência dos resultados e da ausência de assimetria evidente nos funis de dispersão.

Apesar dessas limitações, a magnitude e a reproduzibilidade dos efeitos observados conferem alto grau de confiabilidade às conclusões, sustentando a ESWT como intervenção eficaz e segura para fraturas com atraso de consolidação ou pseudoartrose (Schaden, 2015; Willems et al., 2019).

## CONCLUSÃO

A Terapia por Ondas de Choque Extracorpórea (ESWT) mostrou-se uma intervenção eficaz e segura no tratamento de fraturas com atraso de consolidação ou pseudoartrose, aumentando significativamente a taxa de consolidação e reduzindo o tempo de cicatrização em aproximadamente cinco semanas.

A ESWT representa uma alternativa terapêutica promissora, especialmente em pacientes com contraindicação a procedimentos invasivos. No entanto, há necessidade de ensaios clínicos randomizados, multicêntricos e de maior escala para padronizar protocolos de aplicação, avaliar custo-efetividade e definir os subgrupos de pacientes que mais se beneficiam.

## REFERÊNCIAS

AL-KHAWASHKI, H. M. I. Shock wave therapy of fracture nonunion. *Injury*, v. 46, n. 11, p. 2248-2252, 2015. DOI: 10.1016/j.injury.2015.06.035.

BEUTLER, S.; REGEL, G.; PAPE, H. C.; et al. Extracorporeal shock wave therapy for delayed union of long bone fractures – preliminary results of a prospective cohort study. *Unfallchirurg*, v. 102, p. 839-847, 1999.

CACCHIO, A.; GIORDANO, L.; COLAFARINA, O.; ROMPE, J. D.; TAVERNESSE, E.; IOPPOLO, F.; et al. Extracorporeal shock-wave therapy compared with surgery for hypertrophic long-bone nonunions. *J Bone Joint Surg Am*, v. 91, n. 11, p. 2589-2597, 2009. DOI: 10.2106/JBJS.H.00841.

ELSTER, E. A.; STOJADINOVIC, A.; FORSBERG, J.; et al. Extracorporeal shock wave therapy for nonunion of the tibia. *J Orthop Trauma*, v. 24, n. 3, p. 133-141, 2010. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181b26470.

HAFFNER, N.; ANTONIC, V.; SMOLEN, D.; et al. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) ameliorates healing of tibial fracture non-union unresponsive to conventional therapy. *Injury*, v. 47, p. 1506-1513, 2016.

KERTZMAN, P.; CSÁSZÁR, N. B. M.; FURIA, J. P.; SCHMITZ, C. Radial extracorporeal shock wave therapy is efficient and safe in the treatment of fracture nonunions of superficial bones: a retrospective case series. *J Orthop Surg Res*, v. 12, art. 164, 2017. DOI: 10.1186/s13018-017-0642-7.

PETRISOR, B. A.; et al. Extracorporeal shock wave therapy for fracture management: a systematic review. *J Orthop Trauma*, v. 23, n. 7, p. 486-493, 2009. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181a551f9.

ROMPE, J. D.; ROSENDALH, T.; SCHÖLLNER, C.; THEIS, C. High-energy extracorporeal shock wave treatment of nonunions. *Clin Orthop Relat Res*, n. 387, p. 102-111, 2001. DOI: 10.1097/00003086-200106000-00014.

SANSONE, V.; RAVIER, D.; PASCALE, V.; APPLEFIELD, R.; DEL FABBRO, M.; MARTINELLI, N. Extracorporeal shockwave therapy in the treatment of long bone nonunion: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*, v. 11, n. 1977, 2022. DOI: 10.3390/jcm11195777.

SCHADEN, W. First choice treatment of fracture non-unions? *Int J Surg*, v. 24, p. 179-183, 2015. DOI: 10.1016/j.ijsu.2015.06.056.

SCHADEN, W.; FISCHER, A.; SAILLER, A. Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union. *Clin Orthop Relat Res*, n. 387, p. 90-94, 2001. DOI: 10.1097/00003086-200106000-00012.

TREBINJAC, S.; et al. Extracorporeal shock wave therapy in orthopaedic conditions: a review. *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences (Bjbms)*, v. 5, n. 2, p. 27-32, 2005. DOI: 10.17305/bjbms.2005.3354.

VOGEL, J.; HOPF, C.; EYSEL, P. Application of extracorporeal shock-waves in the treatment of pseudoarthrosis of the lower extremity: preliminary results. *Arch Orthop Trauma Surg*, v. 116, p. 480-483, 1997. DOI: 10.1007/BF00433968.

VULPIANI, M. C.; VETRANO, M.; CONFORTI, F.; et al. Effects of extracorporeal shock wave therapy on fracture nonunions. *Am J Orthop*, v. 41, p. E122-E127, 2012.

WANG, C. J.; CHEN, H. S.; CHEN, C. E.; YANG, K. D. Treatment of nonunions of long bone fractures with shock waves. *Clin Orthop Relat Res*, n. 387, p. 95-101, 2001. DOI: 10.1097/00003086-200106000-00013.

WILLEMS, A.; VAN DER JAGT, O. P.; MEUFFELS, D. E. Extracorporeal shock wave treatment for delayed union and nonunion fractures: A systematic review. *J Orthop Trauma*, v. 33, n. 2, p. 97-103, 2019. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001374.

XU, Z. H.; JIANG, Q.; CHEN, D. Y.; XIONG, J.; SHI, D. Q.; YUAN, T.; ZHU, X. L. Extracorporeal shock wave treatment in non-unions of long bone fractures. *Int Orthop (SICOT)*, v. 33, n. 3, p. 789-793, 2009. DOI: 10.1007/s00264-008-0551-9.