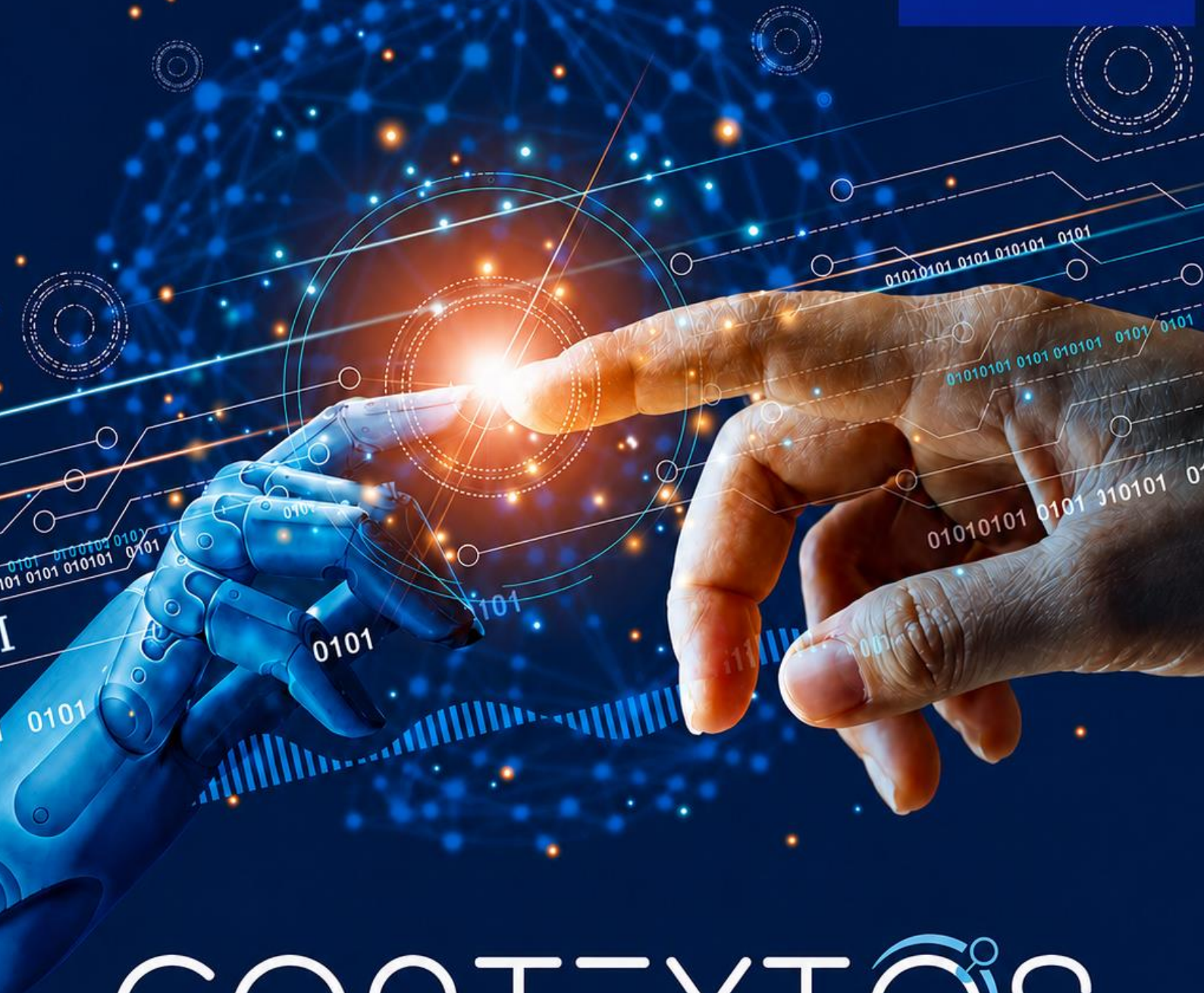


EDIÇÃO

Nº 05/2026

VOL 8



CONTEXTOS

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR



UNIFACEMP

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE CIÊNCIAS
E EMPREENDEDORISMO



Revista Contextos

ISSN 2764-7099 (Versão Online)

Entidade Mantenedora

Centro de Estudos Superiores de Santo Antônio de Jesus

Mantenedor

Antônio Carlos Lé Martini

Instituição

Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Reitor

Antônio Carlos Lé Martini

Vice – Reitora

Mariana Martini Corrêa

Pró – Reitoria de Pesquisa

Rita de Cássia Vieira Matos

Equipe Editorial**Comitê Editorial**

Antônio Pedro Moura de Oliveira, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Cinthia Barreto Santos Souza, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP
Carolina Orrico Santos, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP
Edilson Araújo Pires, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Jânio Roque Barros de Castro, Universidade do Estado da Bahia - UNEB
Janúzia Souza Mendes de Araújo, Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS
Maria Iraldes Silva de Almeida Matias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFBaiano
Ricardo Lopes de Melo, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFBaiano
Tiana Pereira dos Santos Cerqueira, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Editores Setoriais**Editor Gerente**

Sérgio Roberto Lemos de Carvalho, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Editor - Engenharias

Felipe Gomes Frederico da Silveira, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Editora - Ciências da Saúde

Tiana Pereira dos Santos Cerqueira, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Editor - Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente

Romilson da Silva Sousa, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Editora - Educação e Humanidades

Cristiane Lopes da Mota, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Editora de Texto

Cinthia Barreto Santos Souza, Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo - UNIFACEMP

Ficha Catalográfica

CONTEXTOS. Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo – UNIFACEMP - V.8. n. 5, 2026.

Semestral.

ISSN: 2764-7099 (Versão Online)

1. Ciências da Saúde 2. Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente 3. Educação e Humanidades 4. Engenharias

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DO VOLUME 8 – SÉRIE 2026

Sérgio Roberto Lemos de Carvalho

ALIENAÇÃO PARENTAL: DANOS, RESPONSABILIZAÇÃO E REPARAÇÃO 1-18

Cinthia Barreto Santos Souza e Bianca Stefane de Jesus Almeida

VARIABILIDADE ESPACIAL DE METAIS PESADOS: FUNDAMENTOS TEÓRICOS E MODELAGEM GEOESTATÍSTICA 19-28

Sérgio Roberto Lemos de Carvalho

MEIO AMBIENTE E DIREITO À SAÚDE NA PERSPECTIVA DE ESTUDANTES DE SAÚDE DO UNIFACEMP: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NAS DISCIPLINAS CORE II E III 29-44

Cinthia Barreto Santos Souza e Cristiane Lopes da Mota

DIVERSIDADE GENÉTICA EM GENES DO SISTEMA IMUNE: MECANISMOS MOLECULARES, RESPOSTA A PATÓGENOS E IMPLICAÇÕES EM SAÚDE POPULACIONAL 45-60

Ana Luísa Andrade Sousa, Ana Victória Cruz dos Santos, Izabel Barbosa de Castro, Maria Eduarda de Sousa Meira, Matheus Souza Oliveira, Thiago Santos Barbosa, Vinicius Moraes Queiroz e Taiana de Araújo Conceição

ESCLEROSE MÚLTIPLA REMITENTE-RECORRENTE: UMA REVISÃO DE LITERATURA 61-75

Bruna Barbosa Magalhães, Clara Pedreira Santos, Evilly Thauany Queirós Brito, Icaro Assis Santos Souza, Maria Luísa Lopes Lima, Silvia Leticia G. A. dos Santos e Taiana de Araújo Conceição

MÉTODOS/SISTEMAS DO TREINAMENTO DE FORÇA: UMA REVISÃO DE LITERATURA 76-92

Uildson Cerqueira de Carvalho e Thyerre Torres

OS MECANISMOS MOLECULARES E CELULARES ENVOLVIDOS NA INVASÃO DO TRYPANOSOMA CRUZI 93-106

Valter Guilherme Costa de Almeida, Zaqueu Jhones Góes Luz, Manassés Gonçalves Ché, Benedito Antônio do nascimento Neto, Alexandre Franco dos Anjos, Arthur Souza Bittencourt e Taiana de Araújo Conceição

APRESENTAÇÃO DO VOLUME 8

A produção científica contemporânea exige espaços editoriais capazes de promover o diálogo entre diferentes áreas do conhecimento, favorecendo a circulação de ideias, a inovação e a reflexão crítica sobre os desafios da sociedade. Nesse aspecto, a Revista Contextos consolida-se como um periódico interdisciplinar voltado à divulgação de pesquisas científicas de qualidade, reunindo contribuições que expressam o compromisso com a excelência acadêmica, a responsabilidade social e o fortalecimento da cultura da pesquisa.

De forma sistemática, a **Contextos** publica editais para submissão de trabalhos científicos, possibilitando a socialização do conhecimento produzido no âmbito da graduação e da pós-graduação. Essa iniciativa amplia a circulação de saberes, promove a integração entre diferentes áreas do conhecimento e incentiva a produção científica qualificada, contribuindo para o fortalecimento da pesquisa e da inovação acadêmica.

O **Volume 8 – Série 2026** reúne estudos que abordam questões contemporâneas e socialmente relevantes nas áreas do Direito, das Ciências da Saúde, das Engenharias e do Meio Ambiente. Os trabalhos publicados contemplam discussões sobre alienação parental e responsabilidade civil, modelagem geoestatística aplicada ao monitoramento ambiental, saúde coletiva e educação em saúde, diversidade genética e mecanismos moleculares do sistema imune, doenças neurológicas, treinamento de força e aspectos biológicos relacionados à infecção por *Trypanosoma cruzi*. Em conjunto, essas pesquisas evidenciam a importância da integração entre ciência, tecnologia, inovação e compromisso social na construção do conhecimento.

Os artigos refletem o fortalecimento da pesquisa desenvolvida no âmbito institucional evidenciando o compromisso da Revista Contextos com a divulgação de estudos de relevância científica e impacto social. A diversidade temática presente neste volume reafirma a vocação interdisciplinar da revista e seu papel como instrumento de difusão do conhecimento produzido em diferentes campos do saber.

Assim, o **Volume 8 da Revista Contextos** reafirma seu compromisso com a excelência editorial, a produção científica de qualidade e a democratização do conhecimento. Aos leitores, pesquisadores, docentes e estudantes, renova-se o convite à leitura, à reflexão crítica e ao permanente desenvolvimento da ciência como elemento transformador da sociedade.

Prof. Dr. Sérgio Roberto Lemos de Carvalho
Editor-Gerente – Revista Contextos

ALIENAÇÃO PARENTAL: DANOS, RESPONSABILIZAÇÃO E REPARAÇÃO*Parental alienation: damages, liability, and compensation*

Cynthia Barreto Santos Souza¹
Bianca Stefane de Jesus Almeida²

¹ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Licenciada em Letras – UNEB, Bacharela em Psicologia – UNIFACEMP. Doutora em Família na Sociedade Contemporânea - UCSAL
cynthia.souza@facemp.edu.br. <http://lattes.cnpq.br/9009712924310335>

² UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduada em Direito – UNIFACEMP.

Resumo

A alienação parental constitui uma prática que viola diretamente os direitos fundamentais da pessoa. Em relação à criança ou adolescente, afeta diretamente a formação psíquica, as relações afetivas e a percepção sobre o ambiente familiar. Após a dissolução conjugal, os conflitos entre os genitores podem extrapolar a esfera privada e atingir o filho, que passa a ser objeto de manipulação emocional ou campanha difamatória destinada a fragilizar o vínculo com o outro genitor. Este artigo analisa a alienação parental sob três eixos centrais: seus danos, a responsabilização civil do alienador e os mecanismos de reparação cabíveis aos danos. O estudo é fundamentado em doutrina contemporânea, legislação aplicável, artigos científicos e decisões judiciais, adotando abordagem qualitativa e bibliográfica. Conclui-se que a alienação parental não apenas subsiste no contexto brasileiro, mas apresenta formas cada vez mais complexas, exigindo do Poder Judiciário e das equipes interdisciplinares respostas efetivas de prevenção, reparação e responsabilização.

Palavras-chave: Convivência familiar; Responsabilização civil; Reparação de danos.

Abstract

Parental alienation is a practice that directly violates fundamental human rights. In the case of children and adolescents, it directly affects their psychological development, emotional relationships, and perception of the family environment. After marital dissolution, conflicts between parents can extend beyond the private sphere and affect the child, who becomes the object of emotional manipulation or a defamatory campaign aimed at weakening the bond with the other parent. This article analyzes parental alienation from three central perspectives: its harms, the civil liability of the alienating parent, and the mechanisms for reparation applicable to the damages. The study is based on contemporary doctrine, applicable legislation, scientific articles, and judicial decisions, adopting a qualitative and bibliographical approach. It concludes that parental alienation not only persists in the Brazilian context but presents increasingly complex forms, demanding effective responses from the Judiciary and interdisciplinary teams for prevention, reparation, and accountability.

Keywords: Family relationships; Civil liability; Psychological damages.

INTRODUÇÃO

A alienação parental tem adquirido crescente relevância no cenário jurídico e social brasileiro, sobretudo após a consolidação da Lei nº 12.318/2010 e do fortalecimento das discussões sobre o desenvolvimento integral de crianças e adolescentes. Trata-se de uma prática que costuma emergir em contextos de ruptura conjugal, quando conflitos emocionais entre os genitores passam a interferir diretamente na dinâmica familiar e, de modo particular, na formação psicológica do filho. A manipulação de sentimentos, a criação de obstáculos à convivência e a indução de rejeição ao outro genitor configuram comportamentos que afetam a construção da identidade afetiva e fragilizam o processo de desenvolvimento emocional da criança, comprometendo sua estabilidade e seu senso de pertencimento familiar.

O ordenamento jurídico brasileiro, ao assegurar no artigo 227 da Constituição Federal a proteção integral da criança e do adolescente, reconhece que o convívio familiar saudável é elemento indispensável ao desenvolvimento pleno da pessoa em formação (Brasil, 1988). Nesse contexto, a alienação parental não apenas viola direitos fundamentais, mas produz repercussões que excedem a esfera privada dos conflitos conjugais. Seus efeitos podem manifestar-se na infância e perdurar na vida adulta, influenciando a autoestima, as relações interpessoais e a capacidade de estabelecer vínculos seguros. A legislação infraconstitucional, representada pelo Estatuto da Criança e do Adolescente e pela Lei nº 12.318/2010, reforça esse entendimento ao tipificar e coibir condutas alienatórias, além de prever mecanismos de intervenção do Estado.

O debate em torno da alienação parental demanda atenção especial porque, embora o Brasil conte com a Lei da Alienação Parental (Brasil, 2010), ainda há entraves quanto à efetividade da aplicação das medidas legais e quanto à reparação integral dos prejuízos. Diante disso, surge a necessidade de investigar como o Direito de Família e a responsabilidade civil podem atuar para assegurar o restabelecimento dos vínculos afetivos, a responsabilização do alienador e a reparação dos danos ocasionados.

Nesse contexto, o presente artigo tem como propósito analisar a alienação parental a partir de quatro eixos principais: compreender a prática e suas formas de

manifestação; identificar os danos ocasionados à criança, ao adolescente e ao genitor 6 alienado; examinar os mecanismos de responsabilização jurídica do alienador; e, por fim, discutir as possibilidades de reparação dos danos.

A escolha do tema justifica-se pela gravidade das consequências que a alienação parental produz na vida dos envolvidos, especialmente da criança, que se encontra em estágio de plena formação emocional e cognitiva. Além disso, seu estudo contribui para o debate acadêmico e social ao oferecer compreensão técnica e interdisciplinar sobre um fenômeno que, embora seja de natureza íntima, demanda resposta institucional qualificada. Considerando que a alienação parental permanece presente nos litígios familiares contemporâneos e que sua identificação nem sempre é simples, torna-se imprescindível promover reflexões que auxiliem profissionais do Direito, psicólogos, assistentes sociais, mediadores e demais atores do sistema de justiça na adoção de medidas protetivas eficazes.

A metodologia consiste em pesquisa qualitativa, de caráter exploratório e bibliográfico. Foram analisadas obras doutrinárias, legislação pertinente, artigos científicos e decisões judiciais que dialogam com os aspectos centrais do estudo: natureza e manifestações da alienação parental; danos ao desenvolvimento da pessoa; mecanismos de responsabilização civil e familiar; e possibilidades de reparação. Essa abordagem permite compreender o fenômeno de forma integrada, aproximando o campo jurídico das contribuições da psicologia, o que se mostra essencial em temas que envolvem vínculos afetivos e proteção da infância.

Assim estruturado, o artigo apresenta, inicialmente, a conceituação jurídica da alienação parental e seus principais elementos normativos. Em seguida, examina os impactos causados ao desenvolvimento da criança ou adolescente e o modo como esses danos se manifestam. Por fim, discute os instrumentos legais de responsabilização e reparação, destacando sua aplicação prática e os desafios enfrentados pelos operadores do Direito. A pesquisa, portanto, busca evidenciar como o fenômeno, apesar de amplamente regulamentado, ainda exige avanços interpretativos e procedimentais capazes de garantir efetiva proteção à dignidade dos sujeitos em formação.

ALIENAÇÃO PARENTAL**CONCEITO E ORIGEM**

A alienação parental é compreendida como uma prática que ocorre habitualmente, após a ruptura conjugal, quando um dos genitores, ou até mesmo outros familiares envolvidos, utilizam-se de meios psicológicos ou comportamentais para afastar a criança ou o adolescente do convívio com o outro genitor. No Brasil, o conceito foi positivado pela Lei nº 12.318 de 26 de agosto de 2010, Lei da Alienação Parental (LAP) que em seu artigo 2º caracteriza a alienação parental como a “interferência na formação psicológica da criança ou do adolescente promovida ou induzida por um dos genitores, pelos avós ou pelos que tenham a criança ou adolescente sob a sua autoridade, guarda ou vigilância para que repudie genitor ou que cause prejuízo ao estabelecimento ou à manutenção de vínculos com este” (Brasil, 2010).

O debate internacional sobre o assunto ganhou força a partir da teoria desenvolvida por Richard Gardner (2002), que cunhou a expressão “Síndrome da Alienação Parental (SAP)”. Gardner descreveu a rejeição infundada da criança em relação a um dos pais, motivada pela manipulação do outro, como um transtorno psicológico. Apesar de críticas quanto à patologização do fenômeno, sua contribuição foi importante para abrir espaço ao debate científico e jurídico. No Brasil, autores como Maria Berenice Dias (2021) e Rolf Madaleno (2014) reconhecem que a teoria de Gardner teve impacto inicial significativo, mas preferem adotar o termo “alienação parental” para destacar o caráter relacional e social do fenômeno, evitando classificações médicas que poderiam reduzir a complexidade jurídica e social envolvida.

A alienação parental manifesta-se de diversas formas, alguns comportamentos são mais evidentes, como comentários depreciativos, relatos distorcidos ou acusações sem fundamento, outros se mostram mais sutis, como a criação de dificuldade rotineiras para o cumprimento do direito de convivência. Dias (2021) observa que as estratégias podem variar entre acusações falsas, manipulação da memória e até mesmo campanhas de desmoralização, sempre com o intuito de romper o vínculo afetivo. Madaleno (2023) ressalta que tais condutas configuram

abuso emocional, pois submetem a criança a um conflito permanente de lealdade, prejudicando sua saúde mental e emocional.

A própria lei de alienação também reconhece tais práticas como violações ao direito fundamental da criança à convivência familiar, quando o ato da alienação parental justifica medidas judiciais de urgência, como: alteração de guarda e regulamentação mais ampla de visitas a fim de preservar o melhor interesse da criança.

Art. 3º: A prática de ato de alienação parental fere direito fundamental da criança ou do adolescente de convivência familiar saudável, prejudica a realização de afeto nas relações com genitor e com o grupo familiar, constitui abuso moral contra a criança ou o adolescente e descumprimento dos deveres inerentes à autoridade parental ou decorrentes de tutela ou guarda (Brasil, 2010).

Sob a ótica jurídica, a alienação parental atinge diretamente princípios constitucionais como a dignidade da pessoa humana, a proteção integral e o melhor interesse da criança. Venosa (2021) sustenta que a prática deve ser compreendida como violação grave de direitos da personalidade, justificando a intervenção do Estado na esfera familiar. O mesmo defende que a alienação parental compromete a função social da família, motivo pelo qual as medidas previstas na Lei nº 12.318/2010 se mostram necessárias para reequilibrar as relações.

A análise doutrinária evidencia que a alienação parental não se restringe a conflitos individuais entre ex-cônjuges, mas constitui fenômeno de grande impacto social, jurídico e psicológico. Ao mesmo tempo em que compromete a formação da criança, também fragiliza a estrutura familiar e desafia a atuação do Poder Judiciário. Apesar da importância normativa da Lei nº 12.318/2010 no enfrentamento da alienação parental, o diploma legal tem sido, nos últimos anos, alvo de intensos debates e críticas no meio jurídico, acadêmico e social. Questiona-se, sobretudo, a possibilidade de uso indevido da lei como instrumento de silenciamento de denúncias legítimas de violência doméstica ou abuso, bem como sua aplicação automática sem a devida análise interdisciplinar.

Diante desse cenário, discute-se inclusive a eventual revogação ou reformulação da referida lei, o que evidencia a necessidade de reflexão crítica sobre sua efetividade prática após mais de uma década de vigência. Ainda assim, a eventual revogação da Lei da Alienação Parental não implicaria desproteção da criança e do adolescente, uma vez que o ordenamento jurídico brasileiro já dispõe de mecanismos

robustos de tutela, especialmente por meio do Estatuto da Criança e do Adolescente, que assegura a proteção integral contra qualquer forma de violência psicológica, abuso emocional e violação à convivência familiar saudável.

A partir dessa compreensão inicial, torna-se indispensável aprofundar a discussão sobre os danos decorrentes dessa prática, o que será abordado na seção seguinte.

DANOS DECORRENTES DA ALIENAÇÃO

A alienação parental, enquanto fenômeno jurídico e psicológico, revela-se como uma forma sutil, mas devastadora, de violência emocional. Diferentemente das agressões físicas, a alienação opera de maneira silenciosa e progressiva, corroendo o equilíbrio emocional da criança e distorcendo sua percepção afetiva.

Essa prática, conforme Maria Berenice Dias (2021), consiste em um verdadeiro processo de “lavagem cerebral”, no qual o genitor alienador passa a manipular a criança ou o adolescente por meio de mensagens, gestos e narrativas voltadas à desmoralização do outro genitor. O impacto dessa manipulação ultrapassa o campo do convívio familiar, atingindo diretamente a estrutura emocional da criança, que é levada a negar vínculos afetivos legítimos e a internalizar os sentimentos de culpa, medo e rejeição.

De acordo com Denise Maria Perissini da Silva (2019), os danos psicológicos da alienação parental se manifestam de forma cumulativa e podem resultar em sequelas emocionais profundas. A autora aponta que a criança alienada perde a confiança em suas próprias percepções, pois é ensinada a desconfiar de suas lembranças e sentimentos.

Esse processo compromete a formação da identidade e provoca uma fragmentação emocional que se estende até a vida adulta. Perissini enfatiza que, nos casos mais graves, a criança desenvolve sintomas comparáveis aos do transtorno de estresse pós-traumático (TEP)¹, em virtude da constante exposição a situações de conflito e manipulação.

¹ O Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEP) é caracterizado como uma resposta psicológica disfuncional decorrente da exposição a um evento traumático, sendo marcado por lembranças intrusivas, esquiva persistente, alterações negativas nas cognições e no humor e hiperexcitabilidade. Tal definição é estabelecida pelo Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5), que reconhece o TEP como uma condição resultante de ameaça real ou potencial à integridade física ou emocional do indivíduo.

Ainda sob a perspectiva de Maria Berenice Dias (2021), a alienação parental consiste em um conjunto de atitudes e comportamentos do genitor alienador que visam dificultar ou impedir o contato da criança com o outro genitor, interferindo diretamente no direito fundamental à convivência familiar. A autora enfatiza que essas práticas não apenas violam a lei, mas também produzem impactos emocionais profundos, equivalentes a uma perda simbólica de afeto.

Nesse contexto, mesmo com ambos os pais vivos, a criança pode experimentar uma verdadeira orfandade emocional, marcada pela sensação de abandono e pela ruptura artificial do vínculo afetivo. Tal lacuna emocional manifesta-se em comportamentos como retraimento, agressividade, dificuldade de socialização e queda no desempenho escolar, evidenciando que a proteção judicial isolada não é suficiente, sendo imprescindível o acompanhamento psicológico e a reeducação das práticas parentais para restaurar um ambiente afetivo saudável (Dias, 2021).

Outro aspecto relevante é o dano ético e moral que a alienação parental causa à própria concepção de família. Andréa Pachá (2012), juíza e escritora especialista em Direito de Família, destaca que os litígios parentais transformam o espaço familiar — que deveria ser de afeto e cuidado — em um ambiente de disputa e vingança. Para ela, a alienação parental é resultado de uma cultura possessiva, na qual os filhos são tratados como objetos de poder.

Essa visão utilitarista das relações familiares gera uma desestruturação moral que atinge o núcleo familiar imediato e a confiança da criança na ideia de família como espaço de acolhimento. Pachá (2012) ressalta que, nesse contexto, o Judiciário deve atuar não somente com punições, mas com medidas de reconstrução dos laços, priorizando o diálogo e a escuta psicológica dos menores envolvidos.

Sob o olhar de Lélío Braga Calhau (2009), a alienação parental não apenas viola direitos fundamentais, mas também provoca danos sociais de longo alcance, comprometendo a formação de cidadãos emocionalmente estáveis e capazes de estabelecer vínculos saudáveis. O autor alerta que, quando o Estado não intervém de forma preventiva e pedagógica, perpetua-se um ciclo de violência emocional que se repete de geração em geração, e a criança alienada tende a reproduzir comportamentos abusivos em suas próprias relações afetivas.

Calhau (2009) ainda compara a alienação parental a um bullying familiar, definido por ele como um assédio moral que se manifesta em atos de desprezo, violência e agressão à estrutura psíquica de outra pessoa, de forma repetida e sem

motivação justa. Nesse sentido, o agressor, mesmo sem intenção direta de prejudicar a criança, acaba impondo sofrimento intenso, colocando tanto o filho quanto o genitor alienado em constante estado de tensão. Assim, a alienação parental deixa de ser um problema individual e se torna um fenômeno de ordem pública, que exige políticas de prevenção, campanhas educativas e acompanhamento interdisciplinar para minimizar seus efeitos.

Segundo Flávio Tartuce (2023), no âmbito da responsabilidade civil, qualquer conduta que viole direitos da personalidade, incluindo a integridade psíquica, pode ensejar indenização por danos morais. No contexto familiar, isso significa que o genitor que, por ação ou omissão, prejudica emocionalmente o filho, configurando um afastamento ou manipulação de vínculos afetivos, pratica um ato ilícito civil passível de reparação.

A alienação parental, portanto, não se limita a violar direitos subjetivos do outro genitor, mas também lesa diretamente a esfera emocional da criança, tornando juridicamente reconhecível o sofrimento imposto e justificando a tutela judicial para compensação proporcional à gravidade do dano. Esta visão amplia a noção de dano moral familiar, reconhecendo que o sofrimento emocional, quando imposto de forma dolosa, merece tutela jurídica e compensação proporcional à gravidade da ofensa.

A alienação parental também gera o que Rodrigo da Cunha Pereira (2015) denomina de ruptura simbólica da parentalidade. Para o autor, esse tipo de dano vai além das lesões emocionais e jurídicas, pois rompe a própria representação simbólica do pai e da mãe na psique da criança.

[...] é um usurpador da infância, que se utiliza da ingenuidade e inocência das crianças para aplicar o seu golpe, às vezes mais sutil, mais requintado, às vezes mais explícito e mais visível, e o filho acaba por apagar as memórias de convivência e de boa vivência que teve com o genitor alienado. (Pereira, 2015, p. 74)

Quando um dos genitores é desqualificado e excluído do campo afetivo, a criança perde parte de seu símbolo de identidade, o que compromete a estruturação de sua subjetividade. Pereira sustenta que a reconstrução dessa parentalidade simbólica deve ser prioridade nas políticas públicas de proteção à infância, sob pena de perpetuar danos transgeracionais.

Por fim, a professora Bruna Barbieri Waquim (2020) reforça que os danos decorrentes da alienação parental são multidimensionais e exigem abordagem

interdisciplinar. Ela ressalta que a mera intervenção judicial, muitas vezes punitiva, não é suficiente para reverter o processo alienatório. É necessário um trabalho conjunto entre o Direito, a Psicologia e o Serviço Social que vise restaurar os vínculos afetivos e promover o reequilíbrio emocional das partes envolvidas. Waquim enfatiza que a alienação parental é uma questão de saúde mental tanto quanto uma questão jurídica, e que o enfrentamento adequado passa pela educação emocional e pela conscientização das famílias.

Dessa forma, percebe-se que os danos decorrentes da alienação parental extrapolam a dimensão jurídica e alcançam o campo psicológico, social e ético. São danos que comprometem a formação da identidade, desestabilizam o equilíbrio emocional e enfraquecem a noção de família como espaço de afeto e proteção. Ao provocar a desconstrução do vínculo parental, a alienação corrói silenciosamente os valores de confiança e respeito que sustentam as relações familiares, perpetuando um ciclo de sofrimento que atinge gerações.

O reconhecimento dessa complexidade é fundamental para que a sociedade e o Poder Judiciário avancem na construção de respostas eficazes, não apenas repressivas, mas restaurativas, que promovam a reparação integral e o resgate da convivência familiar saudável.

RESPONSABILIZAÇÃO DO ALIENADOR

A responsabilização civil do genitor que pratica atos de alienação parental é considerada uma das questões mais relevantes do Direito de Família contemporâneo, sobretudo pela sua natureza híbrida, que envolve tanto a dimensão jurídica quanto a psicológica. A alienação parental rompe a dinâmica de proteção que deve nortear as relações familiares e produz consequências profundas no desenvolvimento emocional da criança e na preservação dos vínculos afetivos.

Quando um genitor interfere de modo reiterado e injustificado na convivência entre a criança e o outro responsável, não se trata de um simples conflito derivado da dissolução conjugal, mas de verdadeira violação a direitos de personalidade, cujos efeitos ultrapassam a esfera individual e alcançam valores estruturantes do Estado Democrático de Direito, como a dignidade humana e a convivência familiar saudável (Lôbo, 2017).

A base jurídica da responsabilização civil está assentada principalmente nos artigos 186 e 927 do Código Civil. O art. 186 estabelece que aquele que viola direito e causa dano — ainda que exclusivamente moral — comete ato ilícito, enquanto o art. 927 impõe a obrigação de reparar o prejuízo. No âmbito da alienação parental, a conduta do genitor que manipula a percepção da criança ou cria obstáculos injustificados ao vínculo com o outro responsável infringe o dever jurídico de cuidado, cooperação e lealdade familiar. A responsabilidade civil, portanto, não decorre apenas da ruptura da convivência, mas do conjunto de atos que atentam contra o desenvolvimento psicológico e emocional do menor (Brasil, 2002).

Carlos Roberto Gonçalves destaca que a responsabilidade civil consiste no dever de recompor o dano causado pela violação de um dever jurídico preexistente, ressaltando a importância do dano moral nessa dinâmica (Gonçalves, 2022). Em matéria familiar, essa violação ganha maior gravidade, uma vez que a família desempenha função essencial no equilíbrio emocional de seus membros. A prática alienante desvirtua essa função e converte o ambiente familiar em espaço de tensão, insegurança e sofrimento emocional.

Nessa linha, Maria Helena Diniz (2020) observa que a responsabilidade civil possui dimensões reparatória, punitiva e preventiva, e deve ser aplicada de forma a reestabelecer o equilíbrio social e afetivo comprometido pelo dano. Logo, no contexto da alienação parental, o sofrimento psíquico causado não pode ser relativizado sob o argumento de se tratar de desavenças familiares, pois representa agressão direta à dignidade humana e à integridade emocional da vítima.

A doutrina tem enfatizado que a responsabilização civil do alienador não se limita ao aspecto indenizatório, mas envolve também a proteção de valores existenciais. Sílvia de Salvo Venosa (2021) ressaltava que o dano moral decorrente de conflitos familiares incide sobre bens jurídicos fundamentais, como afeto, solidariedade e honra subjetiva, e que sua reparação deve assumir dimensão educativa, a fim de desestimular comportamentos lesivos. O autor salienta que a interferência indevida na convivência familiar não pode ser tratada como mero desentendimento entre os genitores, pois produz desequilíbrio emocional profundo e duradouro.

Sérgio Cavalieri Filho (2023) reforça a função preventiva da responsabilidade civil, ao afirmar que a indenização não possui natureza de punição, mas de instrumento de equilíbrio social e moral. Para o autor, condutas que promovem

violência psicológica ou simbólica, como ocorre na alienação parental, devem ser coibidas de modo efetivo, a fim de impedir que o conflito se perpetue e alcance novas dimensões dentro do ambiente familiar.

A jurisprudência também tem desempenhado papel fundamental na consolidação da responsabilização civil do alienador. Os tribunais têm reconhecido que a alienação parental caracteriza comportamento ilícito que exige resposta firme e imediata, tanto para assegurar o melhor interesse da criança quanto para preservar a autoridade das decisões judiciais. O Tribunal de Justiça de Minas Gerais, em julgamento paradigmático, destacou que:

“Demonstrada, por laudos competentes, a prática de alienação parental, essa que pode até mesmo ter ensejado denúncia caluniosa na seara penal, tornam-se verossímeis as alegações da parte prejudicada, impondo-se, de imediato, a aplicação das medidas estabelecidas no art. 6.º da Lei 12.318/2010, de modo a coibir a continuidade da prática, descabida, contudo, para a espécie, a inversão da guarda ou o encaminhamento da menor para a família extensa dada a gravidade dos fatos apresentados e a situação de extrema litigiosidade vigente. Estabelecidos, por decisão liminar, os parâmetros para retomada dos contatos entre as vítimas da alienação, mas frustrado o desenvolvimento dos serviços por conduta renitente de uma das partes, que opõe empecilho ao cumprimento de decisão judicial vigente, resta caracterizado ato atentatório à dignidade da justiça (art. 14, V, do CPC), ensejando a aplicação da penalidade específica” (TJMG, AI 1.0024.14.240618-0/001, Rel. Oliveira Firmo, j. 28 jul. 2015).

Esse entendimento demonstra que a alienação parental não apenas compromete o desenvolvimento da criança, mas também atinge a própria função jurisdicional, justificando a imposição de medidas protetivas e sancionatórias, inclusive de natureza civil.

Flávio Tartuce (2023) admite que, embora a regra geral seja a responsabilidade subjetiva, determinadas situações em Direito de Família, sobretudo quando envolvem crianças, podem ensejar a responsabilidade objetiva sempre que o dano for evidente e diretamente relacionado à conduta do agente. A responsabilidade subjetiva pressupõe a comprovação de culpa ou dolo, além do dano e do nexo causal, ao passo que a responsabilidade objetiva dispensa a demonstração de culpa, bastando a existência do dano e da relação causal. Para o autor, a aplicação do princípio da prioridade absoluta à criança e ao adolescente exige do Estado medidas que assegurem a reparação integral, mesmo quando não seja possível comprovar a culpa do responsável.

O caráter social do problema é ressaltado por Giselda Hironaka e Gustavo Mônaco (2012) sustentam que a responsabilização civil, em casos de alienação

parental, constitui mecanismo de reafirmação da função social da família e de proteção do equilíbrio comunitário. Para eles, a desestruturação dos laços afetivos não repercute apenas sobre os envolvidos diretamente, mas pode gerar impactos sociais relevantes, justificando a adoção de medidas que reforcem o valor da convivência familiar saudável.

Nessa direção, Maria Berenice Dias (2021) esclarece que a Lei nº 12.318/2010, embora trate das medidas específicas para coibir a alienação parental, não exclui a responsabilidade civil. Ao contrário, a autora enfatiza que as sanções previstas — como advertência, acompanhamento psicológico ou alteração da guarda — possuem caráter protetivo, mas não substituem a reparação civil do dano moral comprovado.

Cristiano Chaves de Farias e Nelson Rosenvald (2025) acrescentam que o dano moral familiar, quando decorrente de alienação parental, possui natureza existencial, pois atinge a identidade emocional da vítima e compromete sua formação afetiva. Para os autores, a reparação assume papel simbólico e constitutivo, já que reafirma valores fundamentais, como afeto, dignidade e convivência.

Assim, a responsabilização civil do alienador desempenha papel essencial tanto na recomposição dos vínculos afetivos fragilizados quanto na prevenção da continuidade de práticas que caracterizam violência psicológica. Ao reconhecer juridicamente a gravidade dessas condutas e impor consequências proporcionais, o Estado reafirma a centralidade da proteção integral da criança e a importância da convivência familiar equilibrada. O estudo da responsabilidade conduz, portanto, à análise das formas de reparação dos danos, tema que será aprofundado na seção seguinte.

REPARAÇÃO DOS DANOS

A reparação dos danos decorrentes da alienação parental constitui um dos temas mais sensíveis e complexos do Direito de Família contemporâneo, pois envolve não apenas a responsabilização jurídica pela prática do ato ilícito, mas a reconstrução dos vínculos afetivos e a restauração do equilíbrio emocional das partes atingidas. A alienação parental rompe artificialmente a convivência entre pais e filhos, produzindo danos psicológicos, sociais e existenciais que ultrapassam a esfera privada e exigem uma resposta jurídica que abarque aspectos emocionais, preventivos e restaurativos. A doutrina contemporânea reconhece que a reparação civil nesses casos deve

considerar a recomposição dos laços afetivos e o resgate da convivência familiar interrompida, valores que se fundamentam nos princípios da dignidade da pessoa humana. Maria Berenice Dias destaca que “a possibilidade indenizatória pela prática de alienação parental sanciona o genitor responsável pelo exercício abusivo das responsabilidades parentais. Trata-se de medida necessária, posto que a indenização, nestes casos, possuirá caráter pedagógico e, até mesmo, preventivo” (2021, p. 141). Ressaltando que a alienação parental possui natureza relacional e, por isso, sua reparação deve priorizar a restauração dos vínculos.

Ainda que a Lei nº 12.318/2010 não preveja expressamente a indenização civil, a doutrina é uníssona ao afirmar que a aplicação dos artigos 186 e 927 do Código Civil é plenamente compatível com tais situações. Gonçalves (2022) lembra que a ausência de previsão específica não impede o dever de reparar, pois a indenização decorre logicamente da prática de um ato ilícito que causa dano moral, psicológico ou existencial.

Essa compreensão reafirma que a violação ao direito de convivência familiar é juridicamente relevante e merece resposta proporcional à gravidade da conduta. Assim, a reparação dos danos decorrentes da alienação parental apresenta características múltiplas: é compensatória porque visa amenizar o sofrimento e a dor provocados pelo afastamento injusto; é pedagógica porque inibe a repetição da conduta; e é restaurativa porque busca reconstruir o vínculo afetivo rompido (Dias, 2021).

Nesse contexto, o aspecto restaurativo tem recebido crescente atenção da doutrina, especialmente pela aproximação entre o Direito de Família e os princípios da justiça restaurativa. A reparação é compreendida como processo contínuo que envolve escuta ativa, acolhimento emocional e reconstrução das relações familiares. Maria Helena Diniz (2022) explica que a reparação no âmbito do Direito de Família não deve se limitar ao caráter sancionatório, mas sanar feridas emocionais e restabelecer a harmonia familiar, ressaltando que a indenização deve vir acompanhada de medidas psicossociais e educativas para evitar a reincidência dos comportamentos alienantes. Nesse cenário, a mediação familiar e a orientação parental desempenham papéis centrais.

O dano moral costuma ser o mais visível nos casos de alienação parental, caracterizado pela dor, angústia e frustração decorrentes da ruptura injusta da convivência. Para Cavalieri Filho (2022), o dano moral representa a dor do espírito, o

abalo psicológico e a frustração dos sentimentos mais íntimos do ser humano, elementos frequentemente presentes nesses casos.

O dano psicológico, por sua vez, afeta diretamente a criança, que vivencia conflitos de lealdade, distorções emocionais e dificuldades no desenvolvimento de sua identidade. Venosa (2019) assinala que a alienação parental gera perturbações emocionais duradouras e requer acompanhamento terapêutico especializado.

Há ainda o dano existencial, que se traduz na limitação da liberdade e na perda de experiências essenciais à realização pessoal. Gonçalves (2023) explica que esse dano ocorre quando a ilicitude impede a vítima de viver plenamente sua vida familiar e social, o que se verifica tanto no genitor alienado quanto na criança afastada injustamente de um dos pais.

Outro elemento essencial para a reparação e prevenção da alienação parental é a guarda compartilhada, reconhecida pela doutrina como mecanismo eficaz para reduzir práticas alienantes. Isso porque, ao distribuir responsabilidades e decisões entre ambos os genitores, evita-se a concentração de poder parental e diminui-se a probabilidade de manipulações emocionais.

A literatura enfatiza que a guarda unilateral, ao concentrar a autoridade parental em um dos pais, cria ambiente propício para práticas alienatórias. Nesse sentido, Dias e Santos alertam:

“Nota-se que, na guarda unilateral há maior possibilidade em haver alienação parental, pois o genitor que possui a guarda opina frequentemente sobre a vida do filho e tem maior convivência com o mesmo, o que pode gerar limitações com o outro genitor ao qual foi concedido somente direito a visitas. Já a guarda compartilhada tem como intuito o filho se sentir amparado por ambos os pais, pois terá contato com os dois, regras impostas pelos dois, concordância de ambos com relação às decisões e escolhas para a vida da criança” (DIAS; SANTOS, 2023, p. 91).

Assim, a guarda compartilhada não apenas previne a alienação parental, como também pode integrar o conjunto de medidas reparatórias previstas para restabelecer vínculos afetivos.

A definição do valor da indenização deve observar critérios de razoabilidade e proporcionalidade, levando em conta a gravidade da conduta, o sofrimento causado e à capacidade econômica do responsável. Tartuce (2023) explica que a indenização deve equilibrar aspectos morais e materiais, evitando, ao mesmo tempo, o enriquecimento sem causa e a impunidade.

Hironaka (2012) acrescenta que a reparação possui dimensão simbólica, pois reforça que a família deve ser ambiente de solidariedade, e não de violência emocional, sendo fundamental para a transformação social e para a consolidação de uma cultura de respeito nas relações familiares. Farias e Rosenvald (2025) completam essa visão afirmando que a verdadeira reparação civil é aquela que restitui à vítima a possibilidade de viver com dignidade, livre da dor e da opressão do ato ilícito, destacando a centralidade da dignidade da pessoa humana na orientação das medidas reparatórias.

A reparação dos danos decorrentes da alienação parental, portanto, deve ser compreendida como processo amplo, que exige atuação interdisciplinar, sensibilidade judicial e medidas que abranjam os aspectos emocionais, sociais e jurídicos envolvidos. A alienação parental não se resolve apenas com sentenças ou indenizações, mas com práticas restaurativas que promovam reconciliação, diálogo e reaproximação gradativa entre os membros da família. A compreensão de que a alienação parental é uma ferida emocional que atinge profundamente o núcleo familiar orienta a construção de respostas jurídicas mais humanas e eficazes, alinhadas ao compromisso constitucional de proteção integral da criança e da família.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida permitiu compreender que a alienação parental permanece como um dos obstáculos sensíveis do Direito de Família, especialmente diante da complexidade dos conflitos que surgem após a dissolução conjugal. O estudo demonstrou que a prática alienatória não apenas interfere na dinâmica familiar, mas compromete aspectos estruturais do desenvolvimento emocional da criança, revelando-se como uma forma de violência que exige resposta ágil e tecnicamente orientada.

Ao retomar o problema de pesquisa, verificou-se que a responsabilização civil do alienador e as medidas voltadas à reparação dos danos constituem instrumentos essenciais para a proteção da infância. Os resultados obtidos indicam que o ordenamento jurídico brasileiro dispõe de mecanismos capazes de diminuir a prática, embora sua efetividade dependa de interpretação cuidadosa, atuação interdisciplinar e rigor na aplicação das medidas legais. Constatou-se, ainda, que a responsabilização não se limita ao reconhecimento de danos, mas cumpre função preventiva e

pedagógica, contribuindo para a preservação dos vínculos familiares e para a redução de comportamentos manipulativos.

Quanto aos objetivos propostos, verificou-se que foi possível identificar os danos psicológicos e sociais decorrentes da alienação, examinar as bases jurídicas que sustentam a responsabilização civil e analisar as formas de reparação possíveis no contexto brasileiro. O conjunto dessas reflexões demonstrou que a proteção integral da criança exige respostas que vão além da esfera judicial, envolvendo acompanhamento profissional, reorganização das relações familiares e ações que favoreçam o restabelecimento da convivência afetiva.

Cumprir destacar, ainda, que o atual debate acerca da Lei nº 12.318/2010, inclusive quanto à possibilidade de sua revogação, não afasta a responsabilidade do Estado na proteção da criança e do adolescente vítimas de alienação parental. Mesmo na ausência de legislação específica, o Estatuto da Criança e do Adolescente permanece como fundamento central de tutela, ao assegurar, em seus artigos 3º e 4º, a proteção integral e a prioridade absoluta aos direitos fundamentais, bem como ao estabelecer, no artigo 5º, que nenhuma criança ou adolescente será objeto de qualquer forma de negligência, discriminação, exploração, violência ou crueldade, incluindo-se a violência psicológica.

Ademais, os artigos 17 e 18 do ECA garantem o direito à preservação da dignidade, da integridade psíquica e moral, impondo a todos o dever de colocá-los a salvo de tratamentos desumanos ou opressores. Assim, ainda que a Lei da Alienação Parental venha a ser reformulada ou revogada, o dever de proteção, responsabilização e reparação dos danos causados à criança e ao adolescente subsiste de forma plena, amparado por normas constitucionais e infraconstitucionais que consagram o melhor interesse do menor como vetor interpretativo central do Direito de Família.

Assim, a alienação parental requer abordagem técnica, sensível e articulada, capaz de reconhecer a vulnerabilidade da criança diante de disputas parentais e de orientar a aplicação de medidas eficazes de responsabilização e reparação. O enfrentamento desse fenômeno demanda não apenas rigor jurídico, mas também compromisso social, fortalecimento da educação parental e incentivo ao diálogo familiar. Somente por meio dessa atuação conjunta será possível assegurar que crianças e adolescentes vivenciem ambientes familiares mais seguros, estáveis e respeitosos, garantindo-lhes pleno desenvolvimento e proteção integral.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5**. 5. ed. Arlington: American Psychiatric Association, 2013.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Código Civil**. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Brasília, DF: Presidência da República, 2002.

BRASIL. **Lei nº 12.318, de 26 de agosto de 2010**. Dispõe sobre a alienação parental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 ago. 2010.

BRASIL. **Estatuto da Criança e do Adolescente**. Lei nº 8.069, de 13 de julho de 1990. Brasília, DF: Presidência da República, 1990.

BRASIL. Tribunal de Justiça de Minas Gerais. **Agravo de Instrumento n. 1.0024.14.240618-0/001**. Rel. Des. Oliveira Firmo. 7.^a Câmara Cível, julgado em 28 jul. 2015.

CALHAU, Lélío Braga. **Bullying: o que você precisa saber**. Rio de Janeiro: Impetus, 2009.

CAVALIERI FILHO, Sérgio. Programa de responsabilidade civil. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

DA SILVA, D. M. P. **Avaliação psicológica nos processos de alienação parental**. VEREDAS – Revista Interdisciplinar de Humanidades, v. 2, n. 3, p. 55–76, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unisa.br/index.php/veredas/article/view/74>. Acesso em: 22 nov. 2025.

DIAS, Maria Berenice. **Manual de direito das famílias**. 14. ed. Salvador: JusPodivm, 2021.

DIAS, Maria Berenice; SANTOS, Maria Luiza Pereira. **Guarda compartilhada e os desafios da convivência familiar**. Salvador: Juspodivm, 2023.

DINIZ, Maria Helena. **Curso de direito civil brasileiro: responsabilidade civil**. 34. ed. São Paulo: Saraiva, 2020.

DINIZ, Maria Helena. **Curso de direito civil brasileiro: responsabilidade civil**. 36. ed. São Paulo: Saraiva, 2022.

FARIAS, Cristiano Chaves de; ROSENVALD, Nelson. **Curso de direito civil: famílias**. 6. ed. Salvador: Juspodivm, 2025.

GARDNER, Richard. **The parental alienation syndrome**. New York: Creative Therapeutics, 2002.

GONÇALVES, Carlos Roberto. **Responsabilidade civil**. 21. ed. São Paulo: Saraiva, 2022.

HIRONAKA, Giselda Maria Fernandes Novaes; MÔNACO, Gustavo Ferraz de Campos. **Síndrome da alienação parental**: problemas da família no direito. Belo Horizonte: Del Rey, 2012. Acesso em: 14 nov. 2025.

LÔBO, Paulo. **Direito civil: famílias**. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2021.

MADALENO, Rolf. **Direito de família**. 13. ed. Porto Alegre: Forense, 2023. PACHÁ, Andréa. *A vida não é justa*. Rio de Janeiro: Agir, 2012.

PEREIRA, Rodrigo da Cunha. **Dicionário de direito de família e sucessões**. São Paulo: Saraiva, 2015.

TARTUCE, Flávio. **Manual de direito civil**: volume único. 8. ed. São Paulo: Método, 2023.

VENOSA, Sílvio de Salvo. **Direito civil: direito de família**. 21. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

WAQUIM, Bruna Barbieri. **Uma nova saída para o problema da alienação parental (e outros)**: a implantação da figura do Acompanhamento Terapêutico nas demandas de família e infância e juventude. *Revista IDFAM*: recurso online. Disponível em: <https://ibdfam.org.br/artigos/1591>. Acesso em: 26 ago. 2025.

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE METAIS PESADOS: FUNDAMENTOS TEÓRICOS E
MODELAGEM GEOESTATÍSTICA***Spatial variability of heavy metals: theoretical foundations and geostatistical modeling*Sérgio Roberto Lemos de Carvalho¹

¹ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências Empresariais, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Licenciado em Química – UFSC, Doutor em Geologia Ambiental – UFBA.
sergio.carvalho@facemp.edu.br, <https://orcid.org/0000-0003-3936-1113>

Resumo

A variabilidade espacial de metais pesados constitui elemento central na compreensão dos processos pedogenéticos e na avaliação ambiental. A geoestatística, fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, permite quantificar e modelar essa variabilidade por meio do semivariograma e da krigagem. Este estudo integra uma revisão teórica da geoestatística, enfatizando seus fundamentos matemáticos e epistemológicos, e discute sua aplicação à análise de metais pesados. São abordados os conceitos de continuidade espacial, efeito pepita, estacionariedade, modelos variográficos, grau de dependência espacial e métodos de interpolação, com destaque para a krigagem e suas extensões. A discussão é ancorada em autores clássicos e contemporâneos da estatística espacial, consolidando a geoestatística como instrumento teórico e metodológico essencial para estudos ambientais.

Palavras-chave: variabilidade espacial; semivariograma; krigagem; dependência espacial.

Abstract

The spatial variability of heavy metals is a key element in understanding pedogenic processes and environmental assessment. Geostatistics, based on the theory of regionalized variables, allows this variability to be quantified and modeled using semivariograms and kriging. This paper includes a theoretical review of geostatistics, emphasizing its mathematical and epistemological foundations, and discusses its application to the analysis of heavy metals. The concepts of spatial continuity, nugget effect, stationarity, variographic models, degree of spatial dependence, and interpolation methods are addressed, with emphasis on ordinary kriging and its extensions. The discussion is anchored in classical and contemporary authors of spatial statistics, consolidating geostatistics as an essential theoretical and methodological tool for environmental studies.

Keywords: spatial variability; semivariogram; kriging; spatial dependence.

INTRODUÇÃO

A heterogeneidade espacial do solo decorre da interação entre fatores de formação — material de origem, clima, relevo, organismos e tempo — produzindo padrões organizados, porém não determinísticos. A estatística clássica, ao pressupor independência entre observações, mostra-se limitada para representar fenômenos cuja estrutura depende explicitamente da posição espacial.

A geoestatística, formalizada por Georges Matheron, propõe uma abordagem probabilística espacial baseada na teoria das variáveis regionalizadas.

Diferentemente da estatística tradicional, ela incorpora explicitamente a noção de dependência espacial, permitindo descrever, modelar e prever a variabilidade contínua de atributos ambientais (CRESSIE; WIKLE, 2011; OLIVER; WEBSTER, 2014).

A geoestatística fornece, portanto, um meio eficiente de incorporar a dependência espacial na variabilidade das propriedades dos metais pesados (COELHO, 2003). A semivariância fornece uma medida quantitativa da variação espacial das propriedades estudadas, a qual é chamada de dissimilaridade. Quanto maior a semivariância, mais dissimilares são as propriedades em dois locais.

No ambiente tropical, a organização espacial de carbono e metais pesados reflete processos pedogenéticos estruturados. A modelagem geoestatística torna-se, assim, ferramenta indispensável tanto para fins científicos quanto para planejamento ambiental sustentável.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA GEOESTATÍSTICA

A TEORIA DAS VARIÁVEIS REGIONALIZADAS

Uma variável regionalizada é uma função no espaço que varia de uma posição $\mathbf{x}$ para uma posição $\mathbf{x} + \mathbf{h}$, com uma “aparente” continuidade (VIEIRA et al., 1983). É aparente porque pode ocorrer descontinuidade, como mudança abrupta na média entre dois subconjuntos de dados.

A continuidade atribuída às variáveis regionalizadas, se manifesta, sobretudo, pela tendência de tomarem-se valores mais próximos em dois pontos amostrados, quanto menos afastados estejam os referidos pontos. Para Guerra (1988), estas variáveis têm em comum uma dupla característica: (a) **aleatória**, já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro do espaço e (b) **espacial**, já que apesar de muitas variáveis dentro do espaço, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes.

Segundo Matheron, uma variável regionalizada $Z(x)$ é uma função aleatória dependente da posição espacial x . Sua natureza é dupla: apresenta componente estruturada (continuidade espacial) e componente aleatória (flutuação local).

Essa dualidade pode ser expressa por:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon(x)$$

Onde:

- $m(x)$ representa a tendência espacial (estrutura);
- $\varepsilon(x)$ representa a componente aleatória com dependência espacial.

Essa formulação afasta-se da hipótese de independência, reconhecendo que observações próximas tendem a ser mais semelhantes do que observações distantes (GOOVAERTS, 1997).

As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial, como também, a estimativa de dados, para locais não amostrados, através de um estimador sem tendenciosidade. A utilização deste tipo de metodologia permite analisar adequadamente dados de experimentos, com possibilidade de obter informações encobertas pela estatística clássica.

ESTACIONARIEDADE E HIPÓTESE INTRÍNSECA

A modelagem geoestatística exige hipóteses sobre a estrutura probabilística do processo espacial.

- **Estacionariedade de segunda ordem:** média constante e covariância dependente apenas da distância.
- **Hipótese intrínseca:** média constante e variância dos incrementos dependente apenas do vetor separação.

A hipótese intrínseca é menos restritiva e fundamenta o uso do semivariograma (WACKERNAGEL, 2003).

Variogramas

Levando em consideração que os fenômenos naturais não podem ser tratados como fenômenos aleatórios, surgiu a necessidade de se encontrar novas ferramentas matemáticas que permitissem estudar de um modo sintético as duas características essenciais das variáveis regionalizadas, quais sejam, o aspecto aleatório e o aspecto espacial.

Desse modo, de acordo com Guerra, a Geoestatística se propõe a estudar dois objetivos principais:

- a) tentar ser capaz de extrair da aparente desordem dos dados disponíveis, uma imagem da variabilidade dos mesmos, e uma medida da correlação existente entre os valores tomados em dois pontos do espaço. Este é o objetivo da análise estrutural e se consegue através do **variograma**.
- b) deve ser também capaz de medir a precisão de toda predição ou estimativa feita através de dados fragmentados, ou seja, há necessidade de uma teoria de estimativa destes dados. Isto é feito através da **interpolação** (GUERRA, 1988, p. 50-51).

As técnicas geoestatísticas podem ser usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância da krigagem) e para otimizar malhas de amostragem (REMACRE; UZIMAKI, 1996). Os autores ressaltam ainda a importância de um bom ajuste dos modelos para obtenção de resultados satisfatórios da krigagem. Trata-se de um método interpolador que permite a estimação de valores de variáveis, em locais não mensurados, por meio de funções de autocorrelação (BURROUGH, 1998). Por isto, se o modelo de semivariograma ajustado estiver errado, imperfeito ou com algum problema, todos os cálculos seguintes estarão comprometidos ainda que, segundo Andriotti (2003), os resultados obtidos por meio da krigagem são robustos, ou seja, pequenos erros ou diferenças nos parâmetros de ajuste do variograma geralmente não acarretam grandes diferenças nos valores estimados.

Semivariogramas

O semivariograma é um gráfico que relaciona a semivariância de uma variável qualquer com uma distância (h), utilizado para determinar o raio de influência, ou alcance, entre unidades de amostra, indicando a distância ideal para seleção de unidades de amostras independentes, exigidas pela teoria de amostragem para definição de intervalos de confiança (COSTA; FERNANDES FILHO, 2004). Para Silva et al., os semivariogramas apresentam três importantes parâmetros:

- (1) o efeito pepita (C_0), que se refere ao valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso, não removida por amostragens próximas; (2) o patamar ($C_0 + C_1$), que é o valor da semivariância em que a curva se estabiliza sobre um valor constante (é o máximo da semivariância). O patamar é atingido quando a variância dos dados se torna constante com as distâncias entre as amostras e esse parâmetro permite a determinação da distância limite entre a dependência e a independência entre as amostras; desta forma, marca o início da zona de pura aleatoriedade. (3) o alcance (a), que é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, é considerado o limite da dependência espacial da grandeza medida (SILVA et al, 2003, p. 1014-1015).

Após a seleção do variograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, podem-se interpolar valores em qualquer posição na área estudada, sem tendência e com variância mínima.

Definição formal

O semivariograma experimental é definido por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \text{ onde } h \text{ é o vetor distância.}$$

Ele mede o grau médio de dissimilaridade entre pares de pontos separados por h .

Parâmetros variográficos

- **Efeito pepita (C_0):** variância não explicada estruturalmente.
- **Patamar ($C_0 + C$):** variância total.
- **Alcance (a):** distância a partir da qual não há dependência espacial.

O grau de dependência espacial (GDE) é dado por:

$$GDE = \frac{C}{C_0 + C}$$

Valores elevados indicam forte estrutura espacial (CAMBARDELLA et al., 1994).

Modelos teóricos

Os modelos esférico, exponencial e gaussiano são os mais utilizados. Cada um implica diferente comportamento da continuidade espacial:

- Esférico: transição abrupta;
- Exponencial: continuidade gradual;
- Gaussiano: alta suavidade próxima da origem.

A escolha deve respeitar condições de permissibilidade matemática (CRESSIE; WIKLE, 2011).

VALIDAÇÃO CRUZADA

A validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas que efetuarão a krigagem. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado por meio de krigagem como se ele não existisse. Desta forma, pode-se construir um gráfico de valores estimados *versus* valores medidos para todos os pontos. O coeficiente de correlação representa uma medida da eficiência do ajuste, dado pela técnica da soma dos quadrados dos desvios, representando a equação de regressão linear. Para Faraco et. al. (2008), dentre vários métodos de avaliação de ajustes estudados, o da Validação Cruzada é o mais adequado para escolha do melhor ajuste do modelo de variabilidade espacial, proporcionando, assim, mapas temáticos mais acurados.

A validação cruzada remove cada ponto sucessivamente, estimando-o a partir dos demais.

Critérios (LARK, 2012):

- Erro médio ≈ 0
- Erro quadrático médio reduzido ≈ 1
- Correlação observado vs estimado elevada

KRIGAGEM: FUNDAMENTOS TEÓRICOS E FORMULAÇÃO MATRICIAL

CONCEITO GERAL

A krigagem é o estimador linear não tendencioso de variância mínima (BLUE). Baseia-se na estrutura de dependência espacial descrita pelo variograma.

A estimativa em um ponto x_0 é:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Com restrição:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

SISTEMA MATRICIAL DA KRIGAGEM ORDINÁRIA

$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ onde } \mu \text{ é o multiplicador de Lagrange.}$$

A solução fornece pesos ótimos dependentes apenas da estrutura espacial (DEUTSCH; JOURNAL, 1998).

TIPOS DE KRIGAGEM

- Krigagem simples
- Krigagem ordinária
- Krigagem universal
- Co-krigagem
- Krigagem indicadora

A krigagem ordinária é a mais empregada em estudos ambientais, por exigir apenas média local constante.

VARIÂNCIA DE KRIGAGEM

A variância associada à estimativa é:

$$\sigma_k^2 = \sum \lambda_i \gamma(x_i, x_0) + \mu$$

Ela expressa incerteza associada à estimativa espacial (BRUS; HEUVELINK, 2007).

APLICAÇÃO A ATRIBUTOS DO SOLO E METAIS PESADOS

A forte dependência espacial observada para carbono reflete organização pedogenética estruturada.

Metais como Pb, Cu e Co podem apresentar efeito pepita puro, sugerindo:

- Escala inadequada;
- Controle litológico difuso;
- Processos microespaciais.

Minasny & McBratney (2016) ressaltam que solos tropicais frequentemente exibem alta estrutura espacial em atributos químicos associados à mineralogia de argilas e óxidos.

IMPLICAÇÕES PARA PLANEJAMENTO AMOSTRAL

O alcance variográfico define o espaçamento ideal entre amostras.

Espaçamentos maiores que o alcance compromete a detecção da estrutura espacial.

A geoestatística permite otimizar densidade amostral e reduzir custos sem perda de informação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geoestatística constitui arcabouço teórico robusto para análise da variabilidade espacial do solo. O semivariograma traduz matematicamente a continuidade espacial, enquanto a krigagem fornece estimativas ótimas e quantifica a incerteza associada.

O instrumento mais indicado que mostra a estimativa de dependência entre as amostras é a análise de autocorrelação, sendo que o semivariograma é a função que traduz a semivariância em função das distancias entre os pontos amostrais.

A escolha dos modelos matemáticos é definida observando-se o RSS (*reduced sums of squares*), que determina uma medida exata de quão o modelo de variograma ajusta os dados avaliados (ROBERTSON, 1998), analisando-se ainda o coeficiente de correlação (R^2) (CORÁ et al., 2004), a proporção da estrutura espacial e os dados estimados pelo semivariograma escolhido, técnica esta chamada de validação cruzada. Para Robertson (1998) e Andriotti (2003), o RSS é um parâmetro mais robusto do que o R^2 e o programa GS⁺® utiliza a combinação de parâmetros do semivariograma para minimizar o RSS para cada modelo.

Quanto aos metais pesados, o teor destes elementos em uma amostra ambiental também é uma variável regionalizada, cujos valores são dependentes da localização dos pontos amostrais.

No trabalho em análise, o comportamento dos metais pesados apresenta singularidades no que se refere à dependência espacial. O chumbo, o cobre, o cromo, o cobalto e o titânio praticamente não apresentaram variância estrutural, caracterizando, desta forma, uma dependência espacial nula. Quanto aos outros metais, os semivariogramas, tanto para o níquel como para o manganês, apresentou melhor ajuste com o modelo exponencial, enquanto o zinco apresentou melhor ajuste com o modelo gaussiano e o ferro e o alumínio com o modelo esférico.

De acordo com o critério adotado por Zimback (2001), a dependência espacial para o manganês, ferro e o alumínio mostrou-se forte, enquanto que o zinco e o níquel apresentaram moderada dependência.

REFERÊNCIAS

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**, São Leopoldo: Unisinos, 2003, 165 p.

BRUS, D. J.; HEUVELINK, G. B. M. **Sampling for Natural Resource Monitoring**. Springer, 2007.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986, 193p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, 1994.

CRESSIE, N.; WIKLE, C. K. **Statistics for Spatio-Temporal Data**. Wiley, 2011.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**. Oxford University Press, 1998.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. Oxford University Press, 1997.

LARK, R. M. Spatial analysis of soil properties. **European Journal of Soil Science**, 2012.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Digital soil mapping. **Geoderma**, 2016.

OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. **A Primer on Spatial Analysis**. Oxford University Press, 2014.

REMACRE, A. Z.; UZUMAKI, E. T. Variogramas para interpolação em geofísica. **Geociências**, 15:17-39, 1996.

ROBERTSON, G. P. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences** – GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1989. 152p

WACKERNAGEL, H. **Multivariate Geostatistics**. Springer, 2003.

MEIO AMBIENTE E DIREITO À SAÚDE NA PERSPECTIVA DE ESTUDANTES DE SAÚDE DO UNIFACEMP: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NAS DISCIPLINAS CORE II E III

The environment and the right to health from the perspective of Unifacemp health students: an account of their experiences in courses Core II and III

Cinthia Barreto Santos Souza¹
Cristiane Lopes da Mota²

¹ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Licenciada em Letras – UNEB, Bacharela em Psicologia – UNIFACEMP. Doutora em Família na Sociedade Contemporânea - UCSAL
cinthia.souza@facemp.edu.br, <http://lattes.cnpq.br/9009712924310335>

² UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Licenciada em História – UNEB, Doutora em História Social – UFBA.
tiane.hist@gmail.com, <http://lattes.cnpq.br/8485065333189139>

Resumo

O relato dessa experiência vai descrever o processo de iniciação à pesquisa acadêmica, replicando estudo anterior publicado em artigo lido pela turma da disciplina CORE III, no curso de medicina do Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, UNIFACEMP. O estudo traz ajustes no contexto da coleta de dados e mantém a curiosidade inicial que remete ao tema desse projeto de pesquisa. O objetivo é saber sobre o que pensam os estudantes de saúde acerca da interface meio ambiente e direito à saúde, bem como, a respeito da abordagem do tema no processo formativo de profissionais da área. O projeto metodológico pode ser descrito como pesquisa exploratória descritiva com base em entrevista semiestruturada. Os participantes foram alunos de saúde do UNIFACEMP. Os resultados da pesquisa destacam a complexa interface entre meio ambiente e saúde enquanto direito fundamental. Ainda, a necessidade de formar estudantes de saúde para práticas clínicas que dialoguem com o modelo biopsicossocial em saúde.

Palavras-chave: Meio ambiente; Saúde, Direitos humanos.

Abstract

This report describes the process of initiating academic research, replicating a previous study published in an article read by the CORE III course in the medical program at the University Center of Sciences and Entrepreneurship, UNIFACEMP. The study makes adjustments to the data collection context and maintains the initial curiosity that relates to the theme of this research project. The objective is to understand what health students think about the interface between the environment and the right to health, as well as about the approach to this theme in the training process of professionals in the field. The methodological project can be described as descriptive exploratory research based on semi-structured interviews. The participants were health students from UNIFACEMP. The research results highlight the complex interface between the environment and health as a fundamental right. Furthermore, the need to train health students for clinical practices that engage with the biopsychosocial model of health is also highlighted.

Keywords: Environment; Health; Human rights.

INTRODUÇÃO

O debate sobre a interconexão meio ambiente e saúde é uma realidade complexa e emergencial nos espaços de formação superior. A exigência de compreender a integralidade que abrange saúde, meio ambiente e direitos humanos é um esforço para desenvolver competências e habilidades elementares que possam alcançar os desafios do mundo contemporâneo, mediante pensamento crítico, ético e inovador.

Nesse sentido, o currículo do curso de medicina do Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, UNIFACEMP, evidencia, por meio das disciplinas nominadas de CORE, a ampliação do repertório acadêmico e diálogo interdisciplinar de questões fundamentais, como a relação entre adoecimento e aspectos de natureza biopsicossocial que afetam o indispensável desenvolvimento do bem-estar físico, mental e social das pessoas.

Nesse contexto, em oportuno vazio entre textos, deu-se na disciplina CORE III, o desejo de investigar sobre o que os estudantes de saúde sabem ou precisam aprender a respeito da interface meio ambiente e direito à saúde, durante sua formação acadêmica.

Com o objetivo de alcançar a percepção de estudantes de saúde da própria instituição de ensino em formação, os estudantes das unidades curriculares referidas, foram em busca de respostas para as questões em torno da pergunta. O objetivo maior esteve centrado na curiosidade de saber sobre o que pensam os estudantes alvos acerca da interface meio ambiente e direito à saúde, além de identificar interesses ou não, na abordagem do tema durante o percurso formativo na área.

O relato dessa experiência vai descrever o processo de iniciação à pesquisa acadêmica, replicando estudo anterior publicado em artigo lido. A produção científica seguirá o modelo descritivo, exploratório e uso de entrevista semiestruturada, dispositivo digital, formulário produzido, disparado e coletado pelos estudantes pesquisadores. A coordenação da pesquisa será de responsabilidade das professoras responsáveis pelas disciplinas CORE III e II.

A complexa demanda ambiental é uma pauta imperiosa que associa diferentes empenhos no intuito de estancar males e prover comportamentos sustentáveis. Uma intrincada porção de questões indissociáveis que exigem saberes interdisciplinares, estudos e habilidades colaborativas para alcançar soluções integradas. Meio

ambiente, direito a saúde e formação profissional médica é a proposta para esse projeto de estudo.

Costumeiramente ao longo de anos, os currículos para formação superior estiveram pautados em especialidades, técnicas, disciplinas legítimas. Com o desenvolvimento do ensino, as evidências científicas e saberes comuns observou-se que pessoas, ambientes e coisas estão em relação cíclica. O princípio da integralidade é basal na totalidade dos cuidados e promoção de saúde única. Nesse sentido, as disciplinas de CORE III e II pretendem ampliar a reflexividade acerca da complexidade que envolve pessoas e ambiente a fim de instigar o olhar atento aos fenômenos de natureza biopsicossocial, estimulando o debate e desenvolvendo competências e habilidades atitudinais em estudantes da área de saúde do UNIFACEMP.

A pesquisa surge como possibilidade de problematizar a interface saúde, meio ambiente, direitos humanos e formação profissional. Nessa conjunção, tratar aspectos sociais, econômicos, culturais, psíquicos, éticos que funcionam como vetores de adoecimento e ausência de bem-estar, um direito humano. Identificar neoplasias, cardiopatias e causas ambientais; mudanças climáticas a desastres, mortes e agravos; disseminação de doenças transmitidas por vetores como fome, desnutrição e doenças mentais como matéria interdisciplinar.

Finalmente, será indispensável problematizar a educação ambiental como prática profissional em saúde, portanto tema de estudo e formação a ser perseguido nos campos universitários.

MEIO AMBIENTE E DIREITO À SAÚDE: interfaces

A interface meio ambiente e saúde enquanto direito elementar à vida é um tema atual e emergente. Fatores ambientais e seus impulsos sobre a saúde convocam órgãos públicos, privados e iniciativas particulares para a complexa realidade que ameaça a vida mediante adoecimento e ausência de saúde integral. Esse estudo evidencia a entrada do tema nos espaços de formação do profissional de saúde mediante currículos estrategicamente pensados e guiados para a sustentabilidade.

A primeira reflexão aponta para os direitos humanos éticos e legais. Uma compreensão de direitos diretamente relacionada à experiência humana em sociedade. Exercício que se dá no tempo, marca e singulariza cada contexto, ao mesmo tempo, em que ressalta as batalhas e reivindicações distintas de homens e

mulheres para firmar seus direitos humanitários. Nessa perspectiva, a luta por direitos humanos pode ser percebida desde a antiguidade, como também, seus avanços e recuos demonstram a dinamicidade desse processo e o entrelaçamento das relações de força, poder e dominação.

Conforme as análises de Fábio Comparato (2023), a primeira fase da internacionalização dos direitos humanos “iniciou na segunda metade do século XIX e findou com a Segunda Guerra Mundial, manifestando-se basicamente em três setores: o direito humanitário, a luta contra a escravidão e a regulação dos direitos do trabalhador assalariado”. O autor evidencia que os direitos assegurados nessa primeira fase de internacionalização estavam atrelados aos direitos individuais de natureza civil e política ou os direitos de conteúdo econômico.

Após os horrores das grandes guerras e do nazi fascismo que descortinou a barbárie com saldo de milhões de mortos, foi aprovada pela Assembleia Geral das Nações Unidas a Declaração Universal dos Direitos Humanos em 1948, com pauta nos direitos dos povos e direitos da humanidade. A Declaração Universal marcou uma nova fase e seu desenvolvimento contínuo, principalmente através da tomada de consciência dos sujeitos alavancada pelos movimentos sociais.

Quanto ao debate sobre direitos humanos, especialmente em sua articulação com o direito à saúde e ao meio ambiente, Norberto Bobbio (2004), ressalta as lutas históricas, bem como as conquistas em constante ampliação, o que inclui a incorporação de direitos difusos, como o direito ao meio ambiente equilibrado. Essa compreensão dialoga com a noção de saúde única, em que a proteção ambiental e a saúde das populações humanas não podem ser dissociadas e nem atribuídos a um único indivíduo, porque dizem respeito a todos.

Dessa maneira, os direitos humanos, quando compreendidos de forma integral, evidenciam que saúde, ambiente e dignidade constituem um só campo. Como lembra Paulo Freire (1987), a luta pelos direitos humanos está sempre vinculada à prática da liberdade na construção de sociedades mais justas e solidárias. E nesse tempo, não é possível conceber essas reivindicações, fora de posturas ambientalmente responsáveis e comprometidas com o direito à saúde única e a vida.

Saúde Única é um termo que articula vida humana, animal, vegetal em uma só saúde. O tripé evidencia a relação de causalidade entre as dimensões da vida ambiental. A exemplo pode-se apontar: doenças humanas causadas por vírus originados de animais. O fato resulta de eventos como: a expansão da atividade

industrial e agropecuária, o crescimento populacional e consequente ocupação de áreas naturais que trouxeram alterações ao ecossistema, produziram maior interação entre seres vivos, animais e humanos incidindo sobre a transmissão de patógenos. A degradação ambiental provocou adensamento de crises climáticas, desequilíbrio ecológico, deslocamento da vida selvagem e maior oportunidade de contágios. Essas ocorrências explicam a integração entre a saúde humana, animal e vegetal no contexto único do meio ambiente.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o conceito de saúde única favorece uma abordagem que projete e implemente programas, políticas, legislação, pesquisa e ações entre setores que se comunicam e trabalham juntos para alcançar melhores resultados de saúde pública. Logo, as atuações em saúde única exercerão um papel prático em total comunhão com a tríade. Outros aspectos, estão sendo incorporados às políticas, passando também, a serem observadas a pobreza e a segurança alimentar, dentro deste contexto integral (OMS, 2017).

Em suma, o futuro da saúde humana e ambiental que vislumbra a abordagem pautada no equilíbrio da tríade humano-animal-ambiente, deve ser resguardado por mais regulamentações e normativas dos órgãos de saúde, principalmente, considerando os diversos olhares ambientais conectados à saúde única. Em adição, torna-se fundamental a reflexão sobre as razões que levam a executar cada atividade ambiental predatória e as ameaças relacionadas, bem como, a necessidade de execução de atitudes que reduzam os índices patológicos e de agravos na sociedade.

A essa interface meio ambiente e direito à saúde única, acrescenta-se os aspectos sociais indissociáveis ao tema, afinal a qualidade ambiental impacta de forma direta às condições de vida e de saúde da população. No Brasil, de acordo com a constituição de 1988, reconhece-se tanto o direito a um meio ambiente equilibrado e adequado à moradia, quanto à saúde como direito universal e responsabilidade do Estado. Contudo, o modelo de desenvolvimento econômico atual, baseado na exploração desenfreada dos recursos naturais e na concentração de riquezas, aprofunda a exclusão social e a injustiça ambiental, ou seja, em vez de promover igualdade, reforça privilégios para poucos e nega direitos para muitos, ferindo a equidade e a cidadania.

De acordo com Leite, Pimenta e Silva (2005), mesmo com os avanços conquistados, a realidade social brasileira é marcada pela inesgotável desigualdade e pela negação de direitos básicos. Nesse cenário, a saúde, quando não vinculada a

condições ambientais adequadas, perde seu caráter integral e torna-se um privilégio restrito, sobretudo para população hipossuficiente. Os autores evidenciam que a exclusão social se relaciona diretamente com a injustiça ambiental, afetando de forma mais dura comunidades periféricas, indígenas, quilombolas e demais grupos marginalizados. Esses segmentos enfrentam uma verdadeira sobreposição de injustiças, que se traduz na ausência de saneamento, habitação precária, maior exposição à poluição e às doenças, além de barreiras no acesso à serviços de saúde.

Segundo estudos nacionais realizados, a exclusão social é um determinante de alta relevância quanto à injustiça ambiental e, conseqüentemente, dos agravos à saúde. Santos et al. (2025) destacam que a degradação ambiental em comunidades vulneráveis não se limita a impactos físicos, mas, também, representa violações de direitos e a reprodução de barreiras sociais, econômicas e políticas, nas quais o racismo ambiental desempenha papel estruturante. Seguindo esse mesmo entendimento, Santos e Braga (2022) evidenciam que a renda constitui um fator decisivo para o acesso desigual à proteção ambiental, revelando que grupos com melhores condições econômicas possuem maior cobertura e conforto, enquanto populações de baixa renda permanecem mais expostas a riscos ambientais e à precariedade quanto ao básico para viver.

Considera-se, diante do exposto, que a efetivação do direito à saúde e ao meio ambiente exige um olhar crítico e comprometido com a justiça social. A superação das desigualdades e da exclusão passa pela implementação de políticas públicas integradas, capazes de assegurar a todos, condições dignas de vida, participação democrática e acesso universal aos bens comuns. Além disso, é imprescindível que os profissionais da saúde como um todo, incluindo os estudantes de tais áreas, assumam papel ativo na prevenção e na promoção da equidade, articulando práticas de cuidado com práticas de resistência frente ao modelo de desenvolvimento social excludente.

A relação entre meio ambiente e saúde humana tem sido amplamente discutida no campo da bioética e do direito ambiental, considerando que a degradação ambiental impacta diretamente a qualidade de vida social. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida”, atribuindo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1988).

Entretanto, a degradação do meio ambiente, lugar da vida comum, representa um dos maiores desafios da atualidade, impactando diretamente a saúde humana com repercussões ainda mais desastrosas ao que vivem em condições mais vulneráveis. No âmbito ético, o princípio da justiça ambiental e da equidade em saúde destaca a necessidade de reduzir as desigualdades que tornam certas populações mais expostas à poluição, desastres ambientais, indigência e doenças. O não cumprimento dessa responsabilidade é, portanto, não apenas uma falha de gestão pública, mas também uma violação de direitos humanos fundamentais. (Minayo; Miranda, 2002).

Sobre a relação entre pobreza e degradação ambiental, Martinez-Alier e Jusmet (2001) desmistificam a analogia que se faz, mostrando que é a riqueza e não a pobreza que causa o esgotamento dos recursos naturais. No entanto, a riqueza permite escapar da degradação, exportando-a para outros locais. Já os pobres dependem mais dos recursos locais porque não têm poder de compra para participar do comércio internacional, nem para habitar em condições de menor risco à sua saúde por conta de contaminação e degradação ambientais. A justiça ambiental, segundo Porto (2004), é entendida como um conjunto de princípios e práticas que asseguram que nenhum grupo social suporte uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas de operações econômicas, decisões de políticas e programas, ou a ausência delas, assegurando o acesso justo e equitativo aos recursos ambientais do país. (Ribeiro, 2004, p.70-80).

Do ponto de vista legal, a Lei nº 6.938/81, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, e a Lei nº 8.080/90, que organiza o Sistema Único de Saúde (SUS), reforçam a interface entre saúde coletiva e preservação ambiental, reconhecendo que a saúde é influenciada por fatores ambientais, sociais e econômicos. Assim, a dimensão jurídico ética dessa relação não pode ser dissociada da promoção da saúde e da sustentabilidade. Assim sendo, esse estudo assinala a importância dos aspectos éticos legais para manter uma saúde ambiental e social sustentável, garantindo o equilíbrio entre a necessidade humana, preservação ambiental e a justiça social promovendo equidade no acesso à um ambiente saudável, responsabilidade intergeracional de proteger o planeta. O foco é a beneficência, o bem estar, a redução de danos, um ambiente preservado.

Além de determinantes econômicos e sociais, importa considerar os fatores culturais que moldam as vivências dos diferentes grupos de pessoas na relação com

o meio ambiente. A abordagem socioantropológica evidencia como as visões de mundo e práticas culturais, como as observadas em comunidades de terreiros, influenciam a percepção de saúde, as estratégias de cuidado e a vulnerabilidade frente a desigualdades sociais e ambientais (Fernandez, 2014).

É fundamental destacar a visão de saúde não apenas como uma questão biológica ou econômica, mas enxergar como as crenças, tradições e os rituais de diferentes comunidades influenciam diretamente a forma como as pessoas se relacionam com a dor, a cura e o bem-estar. Em comunidades como os terreiros, por exemplo, a saúde não é vista apenas como a ausência de doença, mas como um equilíbrio entre corpo, espírito e a natureza. A prática de cuidado, que muitas vezes envolvem ervas, orações e rituais, está simultaneamente atrelada com os tratamentos biomédicos e, em muitos casos, são a primeira linha de cuidado buscada por essa população. Entender essa abordagem particular é crucial para a promoção da equidade no que se refere a demandas singulares de saúde. Ignorar o conhecimento e as práticas culturais de grupos, pode levar a uma prestação de serviço de saúde ineficaz e até mesmo violenta. Além disso, a vulnerabilidade enfrentada por essas populações frente às desigualdades sociais e ambientais é agravada quando suas práticas de saúde são desconsideradas. (Geertz, 2001; Fernandez, 2014).

A saúde eco-cultural propõe uma compreensão ampliada desse processo, considerando que a saúde ou a patologia dos ecossistemas repercute diretamente sobre a cultura, a identidade e a organização social das comunidades humanas (Hanazaki, 2015 apud Rapport & Maffi, 2011). Nesse sentido, práticas culturais ligadas ao uso sustentável da biodiversidade, à agricultura tradicional e ao manejo comunitário dos recursos naturais tornam-se determinantes de saúde coletiva e de resiliência ambiental.

Além disso, comunidades que mantêm uma relação harmônica com o ambiente natural tendem a apresentar maior capacidade de enfrentamento frente a crises ecológicas, já que o conhecimento tradicional e as práticas culturais de cuidado favorecem tanto a conservação ambiental quanto o fortalecimento dos laços sociais. Por outro lado, a destruição ambiental provoca rupturas culturais, desestrutura modos de subsistência e amplia desigualdades em saúde (Hanazaki, 2015 apud Rapport & Maffi, 2011).

Assim, compreender a saúde eco-cultural implica reconhecer que a saúde humana não pode ser desvinculada do equilíbrio ecológico e das dimensões culturais

que orientam o uso dos recursos naturais. Essa perspectiva reforça a necessidade de políticas públicas intersetoriais que articulem conservação ambiental, promoção da saúde e valorização cultural (Hanazaki, 2015 apud Rapport & Maffi, 2011).

Portanto, a análise integrada entre saúde, cultura e meio ambiente evidência que o cuidado em saúde não deve ser limitado a intervenções biomédicas isoladas, mas deve contemplar saberes tradicionais, práticas culturais e a preservação dos ecossistemas. Essa abordagem amplia a noção de saúde coletiva, fortalece a equidade e promove a resiliência social diante das crises contemporâneas. Reconhecer e valorizar a pluralidade de visões sobre o processo saúde-doença, em conjunto com políticas públicas sensíveis às dimensões socioambientais, constitui um caminho essencial para reduzir desigualdades, proteger modos de vida e garantir uma saúde verdadeiramente integral. Esse é um desafio importante a ser considerado pelos profissionais de saúde em formação.

Atrelado ao cuidado da saúde eco-cultural estão os fenômenos psicossociais que envolvem as relações entre o ser humano e o mundo que o cerca. Segundo Zandoná (1997), o meio ambiente deve ser entendido de maneira holística e interdisciplinar, considerando dimensões biológicas, sociais, culturais, políticas, econômicas e psicológicas. Essa abordagem amplia o conceito de saúde mental, compreendendo-a como resultado não apenas de processos internos, mas também das interações contínuas do indivíduo com o ambiente em que vive. Isso está em consonância com os alertas da Organização Mundial da Saúde, ao reconhecer que a crise climática afeta profundamente a saúde mental e o bem-estar global, gerando ansiedade, depressão e sofrimento psicológico relacionados aos eventos climáticos extremos (Paho, 2022).

O desenvolvimento humano e o aprendizado ocorrem em constante diálogo com os contextos ecológicos e sociais. Isso significa que a deterioração do ambiente natural e social repercute diretamente no psiquismo, mostrando que transtornos como ansiedade, depressão, violência e dependência química são também sintomas de um ambiente adoecido, seja pela degradação ecológica, pela desigualdade social ou pelo ritmo acelerado das transformações tecnológicas. Assim, o que chamamos de ansiedade, depressão ou violência, muitas vezes, é a tradução psíquica de um mundo em desequilíbrio. Nesse sentido, os impactos da mudança climática, como desastres naturais, secas e enchentes, agravam o sofrimento emocional e aumentam a

vulnerabilidade de comunidades inteiras, sobretudo daquelas que já enfrentam dificuldades socioeconômicas (Paho, 2022).

Essa perspectiva mostra que a degradação ambiental e social afeta não apenas o corpo físico, mas também as emoções, os vínculos sociais e o equilíbrio interior. Para Zandoná (1997), o aumento de distúrbios psicológicos e de aprendizagem está ligado às crises ecológicas e sociais que vivemos, evidenciando a necessidade de compreender a saúde mental como parte de um sistema integrado. A Organização Mundial da Saúde reforça essa necessidade ao apontar que apenas nove países incluíram o suporte psicossocial em seus planos nacionais de enfrentamento às mudanças climáticas, evidenciando uma lacuna global que precisa ser urgentemente superada (Paho, 2022). O profissional de psicologia, portanto, deve assumir um papel ativo na análise e transformação desses contextos, contribuindo para o bem-estar coletivo.

Dessa forma, cuidar do meio ambiente é também cuidar da saúde psicológica da sociedade. Zandoná (1997) propõe que o desenvolvimento sustentável precisa considerar as dimensões biopsicossociais do ser humano, reconhecendo sua interdependência com o meio em que vive. As recomendações da OMS, ao integrar a saúde mental em políticas climáticas, visam desenvolver estratégias comunitárias e reduzir o déficit de financiamento para esse cuidado. (Paho, 2022) reforça que proteger a natureza, reduzir desigualdades e promover ambientes saudáveis são também estratégias para restaurar o equilíbrio psíquico e construir um futuro mais justo e saudável para todos.

De forma complementar ao que foi mencionado, a interação entre saúde humana e meio ambiente tem sido cada vez mais discutida à luz dos comportamentos individuais e coletivos que moldam tanto a qualidade de vida quanto a sustentabilidade ecológica. O modo como o ser humano se desloca, se alimenta, consome e interage com a natureza repercute diretamente em seu bem-estar físico e mental, assim como no equilíbrio dos ecossistemas. Nesse cenário, a mobilidade ativa ou transporte ativo, como o ciclismo, representa um exemplo claro de prática comportamental que favorece simultaneamente a saúde e a conservação ambiental (Soldado, 2025).

Como já sinalizado, a organização mundial de saúde tem demonstrado preocupação com a situação ambiental das cidades, em especial nos países desenvolvidos, uma vez que rotinas sedentárias contribuem para o surgimento ou agravamento de diversas doenças crônicas como o diabetes, hipertensão, doenças

coronarianas. Nesse contexto, o Transporte Ativo (TA), que consiste na utilização de caminhadas, bicicletas, triciclos, patins, skates e até cadeiras de rodas, vem ganhando adeptos, uma vez que além de não contribuir para poluição atmosférica e sonora, ocupa menos espaço, tem um menor custo econômico, aproxima as pessoas e facilita a prática de atividades físicas. (Carvalho e Freitas, 2012).

Soldado (2025) demonstrou que a prática do ciclismo em ambientes naturais promove maiores índices de bem-estar psicológico em comparação com contextos urbanos, destacando a importância da qualidade ambiental sobre a experiência de saúde. Tzoulas et al. (2007) reforça que o contato com áreas verdes urbanas está associado à redução do estresse, ao fortalecimento de vínculos sociais e à melhoria da qualidade do ar, evidenciando que comportamentos ligados à escolha do espaço de prática física influenciam positivamente na saúde coletiva.

Diante do exposto, outras pesquisas corroboram a ideia de que a integração entre ambiente e saúde ocorre por meio de comportamentos cotidianos. Barton e Pretty (2010) demonstram que atividades físicas realizadas em ambientes naturais ampliam os benefícios cardiovasculares e psicológicos quando comparadas a práticas em espaços artificiais. Do ponto de vista ambiental, a substituição de meios de transporte motorizados por bicicletas ou caminhadas contribui para a diminuição das emissões de poluentes e gases de efeito estufa, conforme apontado por Gössling e Choi (2015).

Dessa forma, torna-se evidente que os aspectos comportamentais humanos são centrais para compreender a tríade saúde, meio ambiente e qualidade de vida. Escolhas cotidianas, como priorizar mobilidade ativa, reduzir o consumo de recursos e manter contato frequente com áreas verdes, são estratégias de promoção de saúde integral e de sustentabilidade. Assim, reforça-se que políticas públicas devem estimular comportamentos pró-ambientais, assegurando infraestrutura adequada, educação ambiental e acesso igualitário a espaços verdes, de modo que o cuidado com a saúde humana caminhe em sinergia com a proteção do meio ambiente.

As referências teóricas selecionadas recuperam dados que apontam para a complexa realidade em torno da degradação ambiental, os efeitos dela para a saúde única, o descumprimento de direitos humanos básicos e afirmam a necessidade de refletir perspectivas e abordagens de cuidados e relacionamentos sustentáveis para a preservação da vida. Finalmente, reforça o objetivo desse estudo que pretende saber sobre o que pensam os estudantes de saúde acerca da interface meio ambiente

e direito à saúde, considerando a relevância do tema em questão no processo formativo do profissional de saúde, por meio de um currículo aqui denominado de core currículo.

METODOLOGIA

Para a realização do estudo que tem como questão central inquirir o que os estudantes de saúde sabem ou precisam aprender sobre a interface meio ambiente e direito à saúde durante sua formação acadêmica, será utilizado como metodologia a pesquisa exploratória descritiva com base em entrevista semiestruturada.

De acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória busca ampliar a compreensão sobre o tema a partir da coleta de percepções ainda pouco sistematizadas, possibilitando identificar e aprofundar informações que poderão subsidiar investigações futuras e consequentemente, possibilitar o contato, no caso dessa pesquisa, com compreensões relevantes para profissionais que atuam ou irão atuar na área de saúde. Descritiva, por pretender registrar, organizar e analisar as informações coletadas de forma sistemática, evidenciando as percepções dos participantes.

Para a coleta de dados serão utilizadas entrevistas semiestruturadas, elaboradas a partir de perguntas norteadoras. O formato semiestruturado permite um equilíbrio entre a comparabilidade das respostas e a abertura para que os participantes expressem suas percepções de modo mais livre e contextualizado.

Participaram da pesquisa os estudantes no último ano dos cursos de Odontologia, Fisioterapia, Enfermagem e Psicologia do Unifacamp e no primeiro semestre do curso de medicina, isso em razão de os estudantes do semestre mais avançado de medicina serem pesquisadores colaboradores desse estudo e, portanto, estarem imbricados no processo. Os estudantes das turmas citadas foram convidados e podiam aceitar ou não o convite. Eles responderam ao formulário on-line com as questões. Existe relação entre meio ambiente e saúde? Se sim, quais? Qual a relação entre meio ambiente e direito à saúde? Você acha que o tema meio ambiente e saúde é relevante na formação de estudantes de saúde? Por quê?

As entrevistas foram aplicadas de forma virtual, sendo enviadas previamente aos participantes em ambiente online. Cada participante recebeu as questões e teve liberdade para responder no momento em que julgaram mais adequado, respeitando

o prazo definido pela pesquisa. Esse procedimento garantiu acessibilidade, praticidade e preserva a autonomia dos sujeitos envolvidos.

As respostas obtidas foram submetidas a uma análise qualitativa, buscando identificar categorias temáticas, pontos de convergência e divergência nas falas dos participantes. O objetivo da análise foi compreender os sentidos atribuídos pelos sujeitos às questões propostas, de modo a construir uma visão ampliada do fenômeno investigado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa conforme metodologia formulada, realizou entrevistas semiestruturadas, via formulário digital entre estudantes de saúde do UNIFACEMP. Foram consideradas as respostas devolvidas em conformidade com assinatura de termos de consentimentos. Os estudantes com maior participação foram de Medicina e Odontologia. Perfazendo o total de 29 estudantes.

A primeira questão sobre a relação meio ambiente e saúde alcançou unanimidade relativa à concordância de que saúde e meio ambiente estão em completa interação. Ficou evidente que o clima influencia na produção de alimentos e consequente capacidade de acesso a eles. Alimentação foi aspecto fundamental para garantir saúde e dignidade humana. A saúde do meio ambiente é, portanto, condição básica para o bem-estar social, possibilidade de segurança social e cultural.

Em relação ao direito a um meio ambiente saudável como requisito à saúde humana. 93,1% dos estudantes consideraram que há uma completa relação entre esse direito e 6,9% entenderam que há uma estreita relação. Os índices validam a importância da legislação ambiental, bem como, direitos básicos de saúde que garantem a sobrevivência digna e humana e se relacionam ao meio ambiente saudável. Isto é, segurança ambiental, qualidade de vida e saúde integral. Para esse fim, os estudantes afirmam que as políticas públicas ambientais devem dialogar com as políticas de saúde coletiva. Um sistema integrado de natureza biopsicossocial.

Sobre a importância do tema na formação dos estudantes de saúde, a totalidade de estudantes participantes da pesquisa, afirmam a relevância desse estudo, e destacam como foco os debates que referem a saúde integral, hábitos de vida saudável, observância do contexto de vida e saúde de pacientes, comunicação e

implementação de ações de educação para a sustentabilidade do meio ambiente e vida sustentável.

CONSIDERAÇÕES

O relato da experiência em pesquisa, norteado pelo tema com repercussão interdisciplinar, proporcionou a problematização acerca da formação para o cuidado humanizado, garantia da saúde única e atenção para aspectos biopsicossociais na prática médica. Os estudantes de medicina, acolheram reflexões produzindo sentidos e compreensão sobre a abordagem realizada nas disciplinas do core currículo.

Os resultados da pesquisa destacam a complexa interface entre meio ambiente, saúde enquanto direito fundamental. Ainda, a necessidade de formar estudantes de saúde para práticas clínicas que dialoguem com o modelo biopsicossocial em saúde, comprometidos com a construção e a manutenção de políticas públicas capazes de ampliar e garantir o direito à saúde de forma integral.

REFERÊNCIAS

BARTON, J.; PRETTY, J. What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis. *Environmental Science & Technology*, v. 44, n. 10, p. 3947-3955, 2010.

BOBBIO, Norberto. **A era dos direitos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

BRASIL. **Resolução CONAMA 001, de 23 de janeiro de 1986**. Diário Oficial da União, 17 de fev. 1986. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 10/09/2025.

COMPARATO, Fábio Konder. **A afirmação histórica dos direitos humanos**. 12ª ed. São Paulo: Saraiva, 2023.

Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília: Senado Federal, 1988.

Diário Oficial da União, 1981. BRASIL. **Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990.** Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde. Diário Oficial da União, 1990.

FERNANDEZ, J. C. A. Determinantes culturais da saúde: uma abordagem para a promoção de equidade. **Saúde e Sociedade**, v. 23, n. 1, p. 167–179, jan. 2014.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GEERTZ, C. **Nova luz sobre a antropologia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

GÖSSLING, S.; CHOI, A. Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles. **Ecological Economics**, v. 113, p. 106-113, 2015.

JESUS, S. J. A. de. A saúde humana e o meio ambiente frente aos processos de degradação: uma revisão da literatura. *Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia*, Feira de Santana, v. 7, n. 2, p. 297-304, 2019. DOI: 10.16891/635.

LEITE, José Carlos; PIMENTA, Adriana Maria de Almeida; SILVA, Lídia Aparecida Rocha. O direito à saúde e ao meio ambiente em tempos de exclusão social. **Revista Latino-Americana de Enfermagem: Ribeirão Preto**, v. 13, n. 1, p. 142-147, jan./fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-11692005000100020>.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.

MINAYO, M. C. S.; MIRANDA, A. C. (Orgs.). **Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

OLIVEIRA, A. P et al. Biodiversidade nos espaços verdes urbanos: promover a educação ambiental e a sustentabilidade. **RILP – Revista Internacional para a Língua Portuguesa: Lisboa**, n. 47, p. 85-99, 2025. DOI: 10.31492/2184-2043.RILP2025.47/pp. 85-99.

OMS. **One Health**. 2017. Disponível em: <[https:// www.who.int/features/qa/one-health/en/](https://www.who.int/features/qa/one-health/en/)>. Acesso em: 09/09/2025.

PAHO, Pan American Health Organization. **Why mental health is a priority for action on climate change**. 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/en/news/3-6-2022-why-mental-health-priority-action-climate-change>. Acesso em: 16 set. 2025.

RAPPORT, D. J.; MAFFI, L. Saúde eco-cultural, saúde global e sustentabilidade. **Ecological Research**, v. 26, p. 1039–1049, 2011.

RATTNER, H. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**: São Paulo, v. 14, n. 6, p. 2281-2293, dez. 2009. DOI: 10.1590/S1413-81232009000600002.

SOARES, T. F. Meio Ambiente e Saúde Única: o que podemos esperar? *Revista Brasileira de Meio Ambiente*: v. 8, n. 4, p. 74-80, 2020. ISSN 2595-4431.

RIBEIRO, Helena. Saúde Pública e Meio Ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 70-80, jan.abr. 2004.

SANTOS, A. N. S. dos et al. Racismo ambiental, saúde e direitos sociais: causalidades e impactos da degradação ambiental em comunidades vulneráveis no Brasil. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 1, e8603, 2025. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/8603>. Acesso em: 13 set. 2025.

SANTOS, Pollyana Martins; BRAGA, Gustavo Bastos. Renda da população e injustiça ambiental no Brasil. **PatryTer**, Brasília, v. 7, n. 14, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/patryter/article/view/46419>. Acesso em: 13 set. 2025.

SOLDADO, E. B. R. **Bem-estar de ciclistas em diferentes ambientes**: do urbano à unidade de conservação. 2025. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025.

TZOULAS, K. et al. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, v. 81, p. 167-178, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Urban green spaces and health**: A review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016.

ZANDONÁ, Norma da Luz Ferrarini. Psicologia e meio ambiente: estudo preliminar sobre as relações psicossocio-ecológicas do desenvolvimento. **Interação em Psicologia**, Curitiba, Paraná, Brasil, v. 1, n. 1, 1997. DOI: 10.5380/psi.v1i1.7633. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/psicologia/article/view/7633>. Acesso em: 16 set. 2025.

ZANK, S.; ÁVILA, J.V.C.; HANAZAKI, N. Compreendendo a relação entre saúde do ambiente e saúde humana em comunidades Quilombolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, v.18, n.1, p.157-167, 2016.

DIVERSIDADE GENÉTICA EM GENES DO SISTEMA IMUNE: MECANISMOS MOLECULARES, RESPOSTA A PATÓGENOS E IMPLICAÇÕES EM SAÚDE POPULACIONAL

Genetic Diversity in Immune System Genes: Molecular Mechanisms, Pathogen Response, and Implications for Population Health

Ana Luísa Andrade Sousa¹
Ana Victória Cruz dos Santos²
Izabel Barbosa de Castro³
Maria Eduarda de Sousa Meira⁴
Matheus Souza Oliveira⁵
Thiago Santos Barbosa⁶
Vinicius Moraes Queiroz⁷
Taiana de Araújo Conceição⁸

¹UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. luisaana4682@gmail.com.

²UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. anaviksantos05@gmail.com.

³UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. izabelbarbosa1010@gmail.com.

⁴UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. mariaeduardameira1302@gmail.com

⁵UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. math.s.oliveira08@gmail.com.

⁶UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. Thiagosantosbarbosa2025@gmail.com.

⁷UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando em Medicina – UNIFACEMP. Viniciusdemoraesqueiroz.13@gmail.com.

⁸UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências Empresariais, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Docente do curso de Medicina, Doutora em Biologia – Universidade de Évora. taiana.conceicao@facemp.edu.br <http://lattes.cnpq.br/6182111364165634>

Resumo

A diversidade genética nos genes do sistema imune é fundamental para entender por que pessoas diferentes podem reagir de formas tão variadas ao mesmo patógeno. Este artigo de revisão teve como objetivo analisar como essa variabilidade genética influencia a resposta a patógenos e quais são suas principais implicações para a medicina translacional, especialmente na medicina de precisão,

vacinologia e farmacogenômica. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, observou-se que polimorfismos no Complexo Principal de Histocompatibilidade (HLA), nos Receptores de Reconhecimento de Padrões (PRRs) e em genes de citocinas influenciam a suscetibilidade, a evolução e o desfecho de várias doenças infecciosas. Exemplos como HIV/AIDS, malária, COVID-19 e tuberculose mostram isso claramente: variantes como CCR5-Δ32 (Gene C-C chemokine receptor type 5 - CCR5), HLA-B*57:01 (Gene Human Leukocyte Antigen B - HLA-B) e mutações nos genes TLR3 (Toll-Like Receptor 3) e TLR7 (Toll-Like Receptor 7) podem conferir proteção, alterar a intensidade da resposta imune ou aumentar o risco de formas mais graves. Esse conhecimento tem aplicações importantes, como a medicina de precisão, que ajuda a identificar grupos de risco e orientar cuidados personalizados; a vacinologia reversa, que utiliza dados genéticos para criar vacinas mais eficazes; e a farmacogenômica, que contribui para terapias mais seguras ao evitar reações adversas de acordo com o perfil genético. Mesmo assim, ainda existem desafios, como o forte viés eurocêntrico nos bancos genômicos, questões éticas envolvendo privacidade e consentimento e desigualdades no acesso às tecnologias. Assim, compreender a genética da resposta imune é essencial para avançar em uma medicina translacional mais justa, precisa e adequada à diversidade das populações.

Palavras-chave: Sistema imune; Genes HLA; Receptores de reconhecimento de padrões; Resposta a patógenos; Medicina de precisão.

Abstract

Genetic diversity in immune system genes is fundamental to understanding why different people can react in such varied ways to the same pathogen. This review article aimed to analyze how this genetic variability influences the response to pathogens and what its main implications are for translational medicine, especially in precision medicine, vaccinology, and pharmacogenomics. Through an integrative literature review, it was observed that polymorphisms in the Major Histocompatibility Complex (HLA), Pattern Recognition Receptors (PRRs), and cytokine genes influence the susceptibility, evolution, and outcome of several infectious diseases. Examples such as HIV/AIDS, malaria, COVID-19, and tuberculosis clearly demonstrate this: variants like CCR5-Δ32 (Gene C-C chemokine receptor type 5 - CCR5 gene), HLA-B*57:01 (Human Leukocyte Antigen B - HLA-B gene), and mutations in the TLR3 (Toll-Like Receptor 3) and TLR7 (Toll-Like Receptor 7) genes can confer protection, alter the intensity of the immune response, or increase the risk of more severe forms. This knowledge has important applications, such as precision medicine, which helps identify risk groups and guide personalized care; reverse vaccinology, which uses genetic data to create more effective vaccines; and pharmacogenomics, which contributes to safer therapies by avoiding adverse reactions according to the genetic profile. Even so, challenges remain, such as the strong Eurocentric bias in genomic databases, ethical issues involving privacy and consent, and inequalities in access to technologies. Thus, understanding the genetics of the immune response is essential to advance a more equitable, precise, and population-diverse translational medicine.

Keywords: Immune system; HLA genes; Pattern recognition receptors; Pathogen response; Precision medicine.

INTRODUÇÃO

A variabilidade genética humana é um elemento central para entender por que diferentes indivíduos respondem de maneiras tão distintas às doenças infecciosas. Pequenas alterações no DNA, como polimorfismos de nucleotídeo único, deleções ou mutações em genes essenciais do sistema imune, podem modificar de forma significativa a capacidade do organismo de reconhecer, combater e controlar patógenos (BRODIN; DAVIS, 2017; QUINTANA-MURCI; CLARK, 2013). Essa diversidade influencia componentes fundamentais da resposta imune, incluindo os genes do Complexo Principal de Histocompatibilidade e os receptores de

reconhecimento de padrões e as citocinas. Juntos, esses elementos regulam a intensidade, a duração e a eficácia das respostas imunes inata e adaptativa (ALBERTS et al., 2017). Por isso, indivíduos expostos ao mesmo agente infeccioso podem apresentar evoluções completamente diferentes, variando desde quadros assintomáticos até formas clínicas graves.

Nos últimos anos, tornou-se evidente que essa arquitetura genética individual não influencia apenas o risco de infecção, mas também interfere na resposta a vacinas e tratamentos, constituindo um dos pilares da medicina de precisão (CASANOVA; ABEL, 2020). Exemplos bem documentados ajudam a visualizar esse impacto: a deleção no gene *CCR5* confere proteção contra o HIV; variantes em genes *TLR3* (Toll-Like Receptor 3) e *TLR7* (Toll-Like Receptor 7) estão associadas à gravidade da COVID-19; e alelos específicos do gene *HLA* (Human Leukocyte Antigen ou Antígeno Leucocitário Humano) influenciam a susceptibilidade e a evolução clínica da malária (SAMSON et al., 1996; ZHANG et al., 2020; HILL et al., 1991). Além disso, diversos polimorfismos modulam a resposta ao *Mycobacterium tuberculosis*, mostrando como a genética molda diferentes mecanismos de defesa.

Apesar desses avanços, a aplicação prática desse conhecimento ainda enfrenta obstáculos importantes. A sub-representação de populações não europeias em bancos genéticos e questões éticas relacionadas à privacidade e ao acesso equitativo às tecnologias continuam limitando o uso amplo e justo desses recursos (FATUMO et al., 2022; POPEJOY; FULLERTON, 2016). Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo analisar como a diversidade genética em genes do sistema imune influencia a resposta a patógenos e discutir as principais repercussões desses achados para a medicina translacional, com foco em medicina de precisão, vacinologia e farmacogenômica.

METODOLOGIA

Para entender de que forma a variabilidade genética em genes do sistema imune influencia a resposta do organismo a diferentes patógenos e como esse conhecimento tem sido aplicado na prática clínica e na medicina translacional, foi feita uma revisão bibliográfica da literatura, um método que permite reunir e comparar resultados de diferentes tipos de estudos para construir uma visão mais completa e crítica sobre o tema.

A busca pelos artigos foi realizada principalmente nas bases *PubMed* e *SciELO*, além de consultas complementares em plataformas de grandes editoras científicas, como *Nature*, *Science*, *Elsevier*, *Springer*, *Frontiers* e *Cell Press*. Os descritores utilizados, em português e inglês, incluíram termos relacionados à diversidade genética, genes do sistema imune, *HLA*, receptores de reconhecimento de padrões, resposta a patógenos e medicina de precisão. A combinação desses termos com operadores booleanos ajudou a refinar a busca e identificar estudos realmente relacionados ao objetivo da pesquisa.

Foram incluídos artigos disponíveis até outubro de 2025, com preferência para estudos publicados nos últimos 15 anos. Entraram na seleção artigos originais, revisões sistemáticas, meta-análises e estudos de associação genômica publicados em periódicos revisados por pares. Foram excluídos materiais sem revisão por pares, textos sem acesso completo, artigos fora do escopo e estudos preliminares sem validação.

A seleção dos estudos ocorreu em duas etapas. Primeiro, foram analisados títulos e resumos para filtrar os artigos mais relevantes. Depois, os textos completos dos estudos elegíveis foram lidos com atenção para confirmar sua adequação ao tema. As informações coletadas foram organizadas em três grupos principais: mecanismos moleculares envolvidos na resposta imune, variantes genéticas com relevância clínica e aplicações translacionais desses achados. A análise dos estudos foi qualitativa, baseada em temas recorrentes, o que permitiu identificar padrões, lacunas e pontos em comum entre as publicações.

DESENVOLVIMENTO

ARQUITETURA GENÉTICA DA RESPOSTA IMUNE

A variabilidade genética nos genes que compõem o sistema imune é um dos principais fatores que explicam por que alguns indivíduos são mais suscetíveis ou desenvolvem formas mais graves de determinadas infecções (QUINTANA-MURCI e CLARK, 2013). Essa diversidade influencia desde o reconhecimento inicial dos patógenos até a intensidade e duração da resposta inflamatória, criando um mosaico de perfis de defesa únicos na população (BRODIN e DAVIS, 2017). Para compreender essa arquitetura genética, é fundamental considerar três pilares: os genes do

Complexo Principal de Histocompatibilidade (*HLA*), os Receptores de Reconhecimento de Padrões (PRRs) e as citocinas e seus receptores. Em conjunto, eles ilustram como pequenas mudanças no DNA podem modificar de forma significativa a maneira como o corpo reage a vírus, bactérias e outros microrganismos (ALBERTS et al., 2017).

Um dos pilares mais importantes dessa arquitetura imunológica são os genes do *HLA*. Eles figuram entre os mais polimórficos de todo o genoma humano e têm uma função essencial: apresentar fragmentos de antígenos aos linfócitos T, dando início à resposta imune adaptativa (ALBERTS et al., 2017). Por conta dessa enorme variedade de alelos, cada pessoa apresenta antígenos de maneira um pouco diferente, o que ajuda a compreender por que algumas controlam infecções com mais facilidade do que outras (TROWSDALE e KNIGHT, 2013).

Revisões amplas da literatura reforçam que polimorfismos nos genes de classe I, especialmente no locus B, influenciam profundamente o curso da infecção. Alguns alelos estão repetidamente ligados a desfechos mais favoráveis, enquanto outros costumam se associar a uma progressão mais rápida da doença. Em conjunto, essas evidências mostram que a diversidade alélica do *HLA* não é apenas um detalhe genético: ela molda a forma como cada indivíduo responde a patógenos e precisa ser considerada no desenvolvimento de vacinas, na medicina personalizada e até no entendimento da evolução das doenças infecciosas (MCLAREN e CARRINGTON, 2015).

Outro pilar essencial da imunidade inata são os Receptores de Reconhecimento de Padrões (PRRs). Eles funcionam como sensores celulares, capazes de identificar componentes estruturais típicos de vírus, bactérias e fungos, conhecidos como Padrões Moleculares Associados a Patógenos (PAMPs). Quando esse reconhecimento ocorre, inicia-se rapidamente uma cascata de sinalização que envolve moléculas adaptadoras, como MyD88 (*Myeloid Differentiation Primary Response 88*), e culmina na ativação de fatores de transcrição, como o NF-κB (*Nuclear Factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells*). O resultado é a produção de interferons dos tipos I e III e de um conjunto de citocinas pró-inflamatórias que coordenam as primeiras linhas de defesa do organismo (FITZGERALD e KAGAN, 2020).

O terceiro pilar dessa arquitetura imunológica envolve a rede de citocinas, quimiocinas e seus receptores. Essas moléculas atuam como mensageiras químicas,

permitindo que as células do sistema imune "conversem" entre si e ajustem onde, quando e com que intensidade a inflamação deve acontecer. Pequenas variações genéticas nesses componentes podem desorganizar esse processo, levando tanto a respostas fracas, incapazes de controlar o patógeno, quanto a inflamações exageradas, que acabam prejudicando o próprio organismo. Diversas variantes em genes de quimiocinas e de seus receptores vêm sendo estudadas por seu papel em infecções virais, demonstrando como alterações nessa rede de sinalização podem influenciar a susceptibilidade e a progressão de doenças. No conjunto, esses dados mostram que a genética das citocinas e quimiocinas desempenha um papel central na manutenção do equilíbrio entre proteção e dano. Quando esse equilíbrio é perdido, o organismo pode deixar de controlar a infecção ou, ao contrário, desencadear uma inflamação intensa que acaba gerando lesão tecidual (ALBERTS et al., 2017).

A arquitetura genética da resposta imune forma um mosaico complexo de variações que controla desde os primeiros sinais de alerta até a defesa mais especializada contra os patógenos. Os polimorfismos nos genes de *HLA*, *PRRs* e citocinas não são apenas detalhes genéticos. Eles influenciam diretamente o desfecho das infecções e explicam por que diferentes pessoas respondem de maneiras tão distintas ao mesmo microrganismo. É importante lembrar que esses sistemas não atuam separadamente. As variações na imunidade inata, como nos *PRRs* e na rede de citocinas, definem o ambiente imunológico inicial e influenciam a ativação das células dendríticas. Isso, por sua vez, impacta a forma como os alelos de *HLA* conseguem apresentar antígenos e iniciar uma resposta adaptativa eficiente. Entender essa interação dinâmica é essencial não só para explicar diferenças individuais na imunidade, mas também para orientar o desenvolvimento de terapias personalizadas, vacinas mais eficazes e estratégias de saúde pública que realmente considerem a diversidade genética humana (BRODIN e DAVIS, 2017).

Para tornar essa discussão mais prática, a próxima seção apresentará alguns estudos de caso emblemáticos, como HIV/AIDS, malária, COVID-19 e tuberculose. Esses exemplos mostram como a interação entre a genética do hospedeiro e as características do patógeno pode determinar desfechos clínicos e epidemiológicos muito diferentes.

CASOS DE ESTUDO PARADIGMÁTICOS

A arquitetura genética da resposta imune se torna muito mais clara quando observamos exemplos concretos de como determinadas variantes influenciam o curso das infecções. Por isso, esta seção apresenta quatro doenças amplamente estudadas: HIV/AIDS, malária, COVID-19 e tuberculose. Esses casos ajudam a entender, na prática, como a genética do hospedeiro e as características dos patógenos interagem para produzir desfechos clínicos e epidemiológicos diferentes (BRODIN; DAVIS, 2017).

1 HIV/AIDS: Resistência e controle viral mediados por variantes genéticas

No caso do HIV/AIDS, vemos exemplos claros de como a genética humana pode alterar tanto o risco de infecção quanto a capacidade de controlar o vírus. Um dos casos clássicos é a deleção chamada $\Delta 32$ no gene *CCR5*. Pessoas que possuem essa variante em homozigose não produzem o receptor funcional na superfície dos linfócitos $CD4^+$. Como o HIV-1 depende desse receptor para se ligar e entrar nas células, essas pessoas acabam apresentando resistência natural à infecção, evidenciando como uma alteração molecular específica pode impedir o ciclo de vida viral (SAMSON et al., 1996; SOLLOCH et al., 2017).

Outro exemplo importante é o alelo HLA-B*57:01, associado ao controle mais eficiente da replicação viral. Este alelo codifica uma molécula de HLA de classe I que apresenta epítomos virais conservados às células T $CD8^+$. Indivíduos portadores deste alelo geralmente desenvolvem respostas citotóxicas mais eficazes, destruindo rapidamente as células infectadas e mantendo a carga viral baixa, retardando a progressão para AIDS. Esse mecanismo molecular é especialmente evidente nos chamados controladores de elite, que conseguem manter o vírus sob controle sem terapia antirretroviral (INTERNATIONAL HIV CONTROLLERS STUDY et al., 2010). Estudos posteriores confirmam que o HLA-B*57 continua sendo um dos alelos mais relacionados ao controle funcional do HIV-1, reforçando sua relevância clínica e evolutiva (MCLAREN e CARRINGTON, 2015).

2 Malária: Pressão seletiva e adaptação evolutiva

A malária é um dos melhores exemplos de como um patógeno pode moldar o

genoma humano ao longo de gerações. Causada pelo parasita *Plasmodium falciparum*, ela exerceu uma pressão seletiva intensa, especialmente em populações africanas (HEDRICK, 2011). Um dos casos mais conhecidos dessa seleção é a hemoglobina S. Pessoas que herdaram uma cópia normal e uma cópia mutada apresentam o traço falciforme e, curiosamente, ganham uma vantagem evolutiva importante. As hemácias desses indivíduos apresentam uma alteração na forma da molécula de hemoglobina, tornando as células mais rígidas e menos favoráveis à multiplicação do parasita. Além disso, essas hemácias são destruídas mais rapidamente pelo baço, reduzindo a sobrevivência do parasita e prevenindo formas graves da doença (PIEL et al., 2013).

A defesa contra a malária não depende apenas da hemoglobina. O sistema de apresentação de antígenos também desempenha um papel central. O alelo HLA-B*53, comum em populações africanas, codifica uma molécula de classe I que apresenta epítomos do *Plasmodium spp.* às células T CD8⁺. Isso provoca uma ativação mais rápida e eficiente das células imunes, facilitando a destruição das células infectadas pelo parasita e contribuindo para um controle mais eficaz da infecção (HILL et al., 1991).

3 COVID-19: Suscetibilidade genética a formas graves

A pandemia de COVID-19 trouxe um novo conjunto de lições sobre genética e imunidade. Durante a investigação dos casos mais graves, vários estudos identificaram mutações que afetam genes essenciais para a produção imediata de interferon tipo I, o principal alarme antiviral do organismo. Quando genes como de receptores celulares TLR3, TLR7 ou IFNAR2 apresentam mutações ou falhas funcionais, a sinalização de interferon é comprometida. Isso significa que as células infectadas não conseguem enviar o sinal de alerta adequado, permitindo que o vírus se multiplique sem controle logo no início da infecção, o que aumenta muito o risco de evoluir para formas críticas da doença (ZHANG et al., 2020).

Pesquisas posteriores do mesmo grupo sugerem que essas deficiências genéticas explicam aproximadamente entre 3 e 5% de todos os casos graves de COVID-19, demonstrando como uma alteração molecular específica pode ter impacto direto sobre a gravidade da doença (ZHANG et al., 2022).

4 Tuberculose: Genética e controle intracelular do patógeno

A tuberculose também mostra de forma clara como o desfecho de uma infecção não depende apenas da presença do microrganismo, mas de processos complexos que ocorrem no interior das próprias células de defesa do hospedeiro. Entre esses processos, fatores genéticos do indivíduo exercem papel fundamental na determinação da resistência ou susceptibilidade à doença. O gene *SLC11A1*, anteriormente conhecido como *NRAMP1*, é um dos principais fatores genéticos associados à susceptibilidade à tuberculose em diferentes populações ao redor do mundo (LI et al., 2011).

A proteína codificada por esse gene é expressa principalmente em macrófagos e outras células do sistema imune inato, atuando diretamente no controle de patógenos intracelulares. Sua função está relacionada ao transporte de íons divalentes através da membrana do fagossomo, o que influencia o equilíbrio químico desse compartimento e contribui para a ativação de mecanismos antimicrobianos (LI et al., 2011). Quando o macrófago reconhece o *Mycobacterium tuberculosis* e o engloba por fagocitose, a bactéria fica confinada em uma vesícula denominada fagossomo. Em condições normais, esse fagossomo passa por um processo de maturação e se funde com lisossomos, originando o fagolisossomo (ALBERTS et al., 2017).

No fagolisossomo, ocorre a acidificação do ambiente interno e a liberação de enzimas hidrolíticas e espécies reativas, criando condições hostis que dificultam a sobrevivência do patógeno (ALBERTS et al., 2017). O *SLC11A1* desempenha um papel importante nesse processo ao favorecer a acidificação adequada e limitar a disponibilidade de nutrientes essenciais para a bactéria. Dessa forma, ele contribui para a contenção da infecção logo nas fases iniciais da resposta imune.

Entretanto, variantes genéticas do *SLC11A1* que comprometem sua função podem interferir nesse mecanismo de defesa. Quando a acidificação do fagolisossomo é inadequada ou incompleta, o *M. tuberculosis* consegue resistir ao ambiente intracelular, evitando sua destruição (LI et al., 2011). Isso permite que a bactéria sobreviva, se multiplique e utilize o próprio macrófago como um nicho protegido, favorecendo a progressão da infecção e o estabelecimento da doença. Assim, a tuberculose exemplifica como a interação entre o patógeno e a genética do hospedeiro é determinante para o controle ou agravamento da infecção, reforçando a importância dos fatores celulares e moleculares na imunidade contra doenças infecciosas.

GENÉTICA E RESPOSTA IMUNE: LIÇÕES DOS CASOS ESTUDADOS

Os casos de HIV, malária, COVID-19 e tuberculose mostram de forma clara que a variabilidade genética humana é um dos fatores centrais que determinam como cada pessoa responde a uma infecção, um princípio bem estabelecido na imunogenética moderna. Os próprios exemplos ilustram isso. A variante *CCR5-Δ32* impede a entrada do HIV nas células. O alelo *HLA-B53* melhora o reconhecimento do parasita da malária ainda nas fases iniciais da infecção. As vias de interferon ajudam a explicar por que algumas pessoas evoluem para quadros graves de COVID-19, enquanto outras apresentam sintomas leves. E o gene *SLC11A1* influencia a capacidade do macrófago de controlar o *Mycobacterium tuberculosis*. Esses casos reforçam que a genética do hospedeiro não é um detalhe secundário, mas um elemento decisivo na evolução das doenças infecciosas (BRODIN e DAVIS, 2017).

Entender como os genes influenciam as infecções tem importância prática e não apenas teórica. Esse conhecimento é a base para avanços reais na área da saúde. Ele orienta o desenvolvimento de terapias mais personalizadas, contribui para a criação de vacinas que levem em conta diferenças genéticas entre populações e apoia estratégias de saúde pública mais precisas. A próxima seção discute como esses achados podem ser aplicados de forma prática, mostrando como mutações naturalmente protetoras servem de inspiração para novas terapias, como o conhecimento dos alelos de *HLA* contribui para o desenho racional de vacinas e de que maneira a farmacogenômica vem transformando o tratamento das doenças infecciosas.

APLICAÇÕES TRANSLACIONAIS

A medicina de precisão vem transformando a forma como lidamos com doenças infecciosas, especialmente ao usar informações genéticas para identificar quem tem maior risco de desenvolver formas graves dessas doenças. Isso permite, por exemplo, reconhecer precocemente indivíduos com variantes associadas a quadros mais severos de COVID-19 ou tuberculose e direcioná-los para um acompanhamento mais atento (LADNER et al., 2019).

Além dessas variantes mais conhecidas, também é possível usar os scores poligênicos de risco (PRS), que combinam milhares de pequenas variações genéticas para estimar o risco geral de uma pessoa desenvolver determinada doença. Essa

estratégia pode ajudar a planejar políticas de saúde pública mais eficientes, priorizando grupos mais vulneráveis. No entanto, ainda existem desafios importantes. Muitos PRS foram desenvolvidos em populações majoritariamente europeias, o que significa que, se aplicados sem cautela em populações com diferentes ancestrais, podem acabar ampliando desigualdades em saúde (MARTIN et al., 2019).

Outro obstáculo relevante está no desenvolvimento de vacinas eficazes para populações geneticamente diversas. Os alelos do sistema dos antígenos leucocitários humanos (*HLA*) variam bastante entre os indivíduos, e cada alelo reconhece um conjunto diferente de peptídeos. Por isso, uma vacina que funciona muito bem em um grupo pode não ter o mesmo efeito em outro. Para tentar superar essa barreira, surgiu a chamada vacinologia reversa, que utiliza ferramentas de bioinformática para identificar partes do patógeno que mudam pouco e que podem ser reconhecidas por muitos tipos de *HLA* (RAPPUOLI, 2000). Atualmente, softwares como o ImmuneApp tornam esse processo ainda mais preciso, facilitando a previsão desses epítomos e contribuindo para o desenvolvimento de vacinas mais amplas e eficazes (XU et al., 2024).

Por fim, a farmacogenômica também é importante para tornar os tratamentos mais seguros e personalizados. O exemplo mais clássico é o do alelo *HLA-B*57:01*, conhecido por aumentar o risco de reações graves ao antirretroviral *Abacavir*. Esse achado, inicialmente demonstrado por MALLAL e colaboradores (2002), foi tão impactante que levou à adoção do teste genético prévio como parte da rotina clínica. Hoje, diretrizes internacionais recomendam evitar o uso de *Abacavir* em pacientes que apresentam esse alelo, o que reduziu drasticamente as reações adversas graves e tornou o tratamento da infecção pelo HIV muito mais seguro (CAUDLE et al., 2017).

Em resumo, essas aplicações da genética imunológica já estão mudando a forma como tratamos as doenças infecciosas. A medicina de precisão permite intervenções mais direcionadas, a vacinologia avança no desenvolvimento de imunizantes capazes de atender populações geneticamente diversas e a farmacogenômica torna os tratamentos mais seguros e individualizados. No entanto, a incorporação ampla e justa dessas ferramentas ainda enfrenta obstáculos importantes. Entre esses desafios está o fato de que muitos bancos genômicos têm dados principalmente de pessoas de origem europeia, o acesso limitado às tecnologias de sequenciamento em países de baixa renda e questões éticas complexas relacionadas a consentimento e privacidade genética (FATUMO et al., 2022).

Para que a saúde personalizada chegue de verdade a todas as populações, é fundamental enfrentar essas limitações. A próxima seção discutirá de forma mais aprofundada os principais desafios éticos e estruturais envolvidos nesse processo.

DESAFIOS E PERSPECTIVAS ÉTICAS

A incorporação da genômica no manejo das doenças infecciosas é um avanço importante para a medicina personalizada, mas também traz desafios. Entretanto, transformar esse conhecimento em prática clínica não é um processo simples. Surge, então, um debate essencial sobre como implementar essas inovações de maneira justa, garantindo que os benefícios cheguem a diferentes populações e não apenas a grupos historicamente favorecidos (MILLS; RAHAL, 2019; FATUMO et al., 2022).

Um dos grandes desafios é o viés populacional presente nos principais bancos de dados genômicos. A maioria das pesquisas ainda é baseada em indivíduos de ancestralidade europeia, o que limita a compreensão real da diversidade genética humana e reduz a aplicabilidade dos resultados em diversos contextos (POPEJOY; FULLERTON, 2016). Esse desequilíbrio cria um verdadeiro “fosso genômico”, no qual ferramentas de predição de risco, diagnóstico e tratamento, desenvolvidas para uma parcela da população, podem ser imprecisas ou até inadequadas para outras (BENTLEY et al., 2020). No caso das doenças infecciosas, variantes associadas à resposta ao HIV, à tuberculose ou ao SARS- CoV-2 podem apresentar frequências e efeitos diferentes entre populações, afetando a precisão das ferramentas usadas para prever riscos. Sem uma abordagem cuidadosa, a medicina de precisão pode, inadvertidamente, ampliar desigualdades já existentes (MARTIN et al., 2019; BUSTAMANTE et al., 2011).

Superar esse cenário exige uma mudança real na forma como fazemos genômica em direção a uma genômica mais inclusiva. A necessidade de ampliar a diversidade genética em pesquisas tem motivado iniciativas para incluir populações historicamente sub-representadas, um passo essencial para reduzir disparidades em saúde (BENTLEY; CALLIER; ROTIMI, 2020). Ao mesmo tempo, modelos de governança participativa ganham relevância ao defender que as comunidades não sejam apenas fornecedoras de dados, mas parceiras ativas ao longo de todo o processo científico. Dentro desse contexto, surge o consentimento dinâmico, que permite que os participantes decidam continuamente como seus dados podem ser

usados, pois permite que os participantes mantenham controle contínuo sobre o uso de suas informações genéticas, fortalecendo a confiança e a transparência (KAYE et al., 2015).

A expansão da genômica também traz outros dilemas éticos. O risco de discriminação genética, em que dados genéticos podem ser utilizados de forma inadequada por empregadores ou seguradoras, é uma preocupação crescente e demanda legislações claras e protetivas (JOLY et al., 2021). Além disso, o acesso desigual às tecnologias continua sendo um desafio real. Testes de sequenciamento e análises farmacogenômicas ainda possuem custos elevados, o que concentra os benefícios da medicina personalizada em regiões e instituições com maiores recursos econômicos (FATUMO et al., 2022).

Dessa forma, para que o potencial transformador da genômica realmente se concretize no campo das doenças infecciosas, é fundamental enfrentar esses desafios éticos, estruturais e sociais no dia a dia da prática. Isso inclui diversificar bancos de dados genômicos, garantir transparência no uso das informações, ampliar o acesso às tecnologias e investir na capacitação de profissionais em regiões sub-representadas. Somente assim será possível assegurar que os avanços da genômica beneficiem toda a diversidade humana, e não apenas uma fração dela.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste trabalho mostra que a diversidade genética nos genes do sistema imune é fundamental para entender por que cada pessoa reage de forma diferente aos mesmos patógenos. Genes como os do sistema HLA, os receptores de reconhecimento de padrões e as citocinas atuam de maneira integrada, influenciando desde os primeiros sinais de alerta do organismo até a modulação da resposta inflamatória. Pequenas variações no DNA, muitas vezes imperceptíveis, podem determinar se alguém controla melhor uma infecção, se apresenta maior risco de agravamento ou se evolui para formas clínicas mais severas.

Os exemplos analisados em HIV/AIDS, malária, COVID-19 e tuberculose reforçam essa ideia de forma concreta. Nessas doenças, diferentes variantes genéticas mostraram impacto direto na entrada de vírus nas células, no reconhecimento de antígenos, na força da resposta imune e até na capacidade dos macrófagos de destruir bactérias. Esses casos evidenciam que a relação entre

genótipo e desfecho clínico não é teórica: ela se manifesta como diferenças reais no risco, na progressão e na gravidade das infecções.

Os avanços da imunogenética já começam a chegar à prática clínica. A medicina de precisão tem contribuído para identificar grupos de risco e orientar intervenções mais individualizadas. A vacinologia reversa, por sua vez, utiliza ferramentas bioinformáticas para prever alvos vacinais eficazes em populações geneticamente diversas. A farmacogenômica também vem tornando os tratamentos mais seguros ao reduzir reações adversas por meio da análise prévia do perfil genético dos pacientes.

Mesmo assim, persistem desafios importantes. A predominância de dados de indivíduos de ancestralidade europeia nos bancos genômicos limita a aplicação dos achados em escala global. Além disso, questões éticas relacionadas à privacidade, ao consentimento e ao acesso desigual às tecnologias precisam ser enfrentadas para evitar que a medicina personalizada aprofunde desigualdades já existentes.

Diante disso, conclui-se que a diversidade genética desempenha um papel profundo e determinante na resposta às infecções. Esse conhecimento abre caminho para intervenções mais precisas e para uma medicina translacional que considere as particularidades de cada indivíduo e de cada população. No entanto, para que esses avanços beneficiem a todos, será essencial ampliar a diversidade em pesquisas, adotar modelos éticos de uso de dados e promover políticas que garantam acesso equitativo às tecnologias. Só assim o potencial da genômica poderá, de fato, alcançar toda a diversidade humana que busca compreender.

REFERÊNCIAS

ALBERTS, B. et al. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582714232/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BENTLEY, A. R.; CALLIER, S. L.; ROTIMI, C. N. **Evaluating the promise of inclusion of African ancestry populations in genomics**. npj Genomic Medicine, v. 5, n. 1, p. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41525-019-0111-x>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BRODIN, P.; DAVIS, M. M. **Human immune system variation**. Nature Reviews Immunology, v.17, n.1, p. 21-29, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nri.2016.125>. Acesso em: 12 nov. 2025.

BUSTAMANTE, C. D. et al. **Genomics for the world**. Nature, v. 475, p. 163-165, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/475163a>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CASANOVA, J. L.; ABEL, L. **The human genetic determinism of life-threatening infectious diseases: genetic heterogeneity and physiological homogeneity?** Human Genetics, v. 139, n. 6, p. 681-694, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00439-020-02184-w>. Acesso em: 09 nov. 2025.

CAUDLE, K. E. et al. **Standardizing terms for clinical pharmacogenetic test results: consensus terms from the Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium (CPIC).** Genetics in Medicine, v. 19, n. 2, p. 215-223, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/gim.2016.87>. Acesso em: 08 nov. 2025.

FATUMO, S. et al. **A roadmap to increase diversity in genomic studies.** Nature Medicine, v. 28, p. 243–250, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01672-4>. Acesso em: 14 nov. 2025.

FITZGERALD, K. A.; KAGAN, J. C. **Toll-like Receptors and the Control of Immunity.** Cell, v. 180, n. 6, p. 1044-1066, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.041>. Acesso em: 14 nov. 2025.

HEDRICK, P. W. **Population genetics of malaria resistance in humans.** Heredity, v. 107, n. 4, p. 283–304, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/hdy.2011.16>. Acesso em: 14 nov. 2025.

HILL, A. V. S. et al. **Common west African HLA antigens are associated with protection from severe malaria.** Nature, v. 352, n. 6336, p. 595–600, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/352595a0>. Acesso em: 10 nov. 2025.

INTERNATIONAL HIV CONTROLLERS STUDY. **The Major Genetic Determinants of HIV-1 Control Affect HLA Class I Peptide Presentation.** Science, v. 330, n.6010, p. 1551-1557, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1195271>. Acesso em: 08 nov. 2025.

JOLY, Y. et al. **The Genetic Discrimination Observatory: confronting novel issues in genetic discrimination.** Trends in Genetics, v. 37, n. 11, p. 951-954, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2021.08.004>. Acesso em: 14 nov. 2025.

KAYE, J. et al. **Dynamic consent: a patient interface for twenty-first century research networks.** European Journal of Human Genetics, v. 23, n. 2, p. 141–146, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ejhg.2014.71>. Acesso em: 08 nov. 2025.

LADNER, J. T. et al. **Precision epidemiology for infectious disease control.** Nature Medicine, v. 25, p. 206–211, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0345-2>. Acesso em: 14 nov. 2025.

LI, X. et al. **SLC11A1 (NRAMP1) polymorphisms and tuberculosis susceptibility: updated systematic review and meta-analysis.** PLoS One, v. 6, n. 1, e15831, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015831>. Acesso em: 14 nov. 2025.

MALLAL, S. et al. **Association between presence of HLA-B*5701, HLA-DR7, and HLA-DQ3 and hypersensitivity to HIV-1 reverse-transcriptase inhibitor abacavir.** The Lancet, v. 359, n. 9308, p. 727–732, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)07873-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07873-X). Acesso em: 14 nov. 2025.

MARTIN, A. R. et al. **Clinical use of current polygenic risk scores may exacerbate health disparities.** Nature Genetics, v. 51, n. 4, p. 584-591, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41588-019-0379-x>. Acesso em: 09 nov. 2025.

MCLAREN, P. J.; CARRINGTON, M. **The impact of host genetic variation on infection with HIV-1.** *Nature Immunology*, v. 16, n. 6, p. 577-583, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ni.3147>. Acesso em: 14 nov. 2025.

MILLS, M. C.; RAHAL, C. **A scientometric review of genome-wide association studies.** *Communications Biology*, v. 2, n. 1, p. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0261-x>. Acesso em: 14 nov. 2025.

PIEL, F. B. et al. **Global burden of sickle cell anaemia in children under five, 2010– 2050: modelling based on demographics, excess mortality, and interventions.** *PLoS Medicine*, v. 10, n. 7, e1001484, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001484>. Acesso em: 14 nov. 2025.

POPEJOY, A. B.; FULLERTON, S. M. **Genomics is failing on diversity.** *Nature*, v. 538, p. 161-164, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/538161a>. Acesso em: 10 nov. 2025.

QUINTANA-MURCI, L.; CLARK, A. G. **Population genetic tools for dissecting innate immunity in humans.** *Nature Reviews Immunology*, v. 13, n. 4, p. 280-293, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nri3421>. Acesso em: 11 nov. 2025.

RAPPUOLI, R. **Reverse vaccinology.** *Current Opinion in Microbiology*, v. 3, n. 5, p. 445–450, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(00\)00119-3](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(00)00119-3). Acesso em: 10 nov. 2025.

SAMSON, M. et al. **Resistance to HIV-1 infection in caucasian individuals bearing mutant alleles of the CCR-5 chemokine receptor gene.** *Nature*, v. 382, n. 6593, p. 722- 725, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/382722a0>. Acesso em: 14 nov. 2025.

SOLLOCH, U. V. et al. **Frequencies of gene variant CCR5-Δ32 in 87 countries based on next-generation sequencing of 1.3 million individuals sampled from 3 national DKMS donor centers.** *Human Immunology*, v. 78, n. 11-12, p. 710-717, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.humimm.2017.10.001>. Acesso em: 11 nov. 2025.

TROWSDALE, J.; KNIGHT, J. C. **Major histocompatibility complex genomics and human disease.** *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, v. 14, p. 301-323, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-genom-091212-153455>. Acesso em: 10 nov. 2025.

XU, H. et al. **ImmuneApp for HLA-I epitope prediction and immunopeptidome analysis.** *Nature Communications*, v. 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53296-0>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ZHANG, Q. et al. **Inborn errors of type I IFN immunity in patients with life- threatening COVID-19.** *Science*, v. 370, n. 6515, p. eabd4570, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abd4570>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ZHANG, S. et al. **Human genetic and immunological determinants of critical COVID-19 pneumonia.** *Nature*, v. 603, p. 587–598, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04447-0>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ESCLEROSE MÚLTIPLA REMITENTE-RECORRENTE: UMA REVISÃO DE LITERATURA**RELAPSING-REMITTING MULTIPLE SCLEROSIS: A LITERATURE REVIEW**

Bruna Barbosa Magalhães¹
Clara Pedreira Santos²
Evilly Thauany Queirós Brito³
Icaro Assis Santos Souza⁴
Maria Luísa Lopes Lima⁵
Sílvia Leticia G. A. dos Santos⁶
Taiana de Araújo Conceição⁷

- ¹ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
brunamagalhaes63@hotmail.com
- ² UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
clpedreirasantos@gmail.com
- ³ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. CEP 44434-532. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP
evillythauany@yahoo.com
- ⁴ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. CEP 44430-104. Bacharel em Psicologia. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP. icaro.assis60@gmail.com
- ⁵ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. CEP 44430-104. Graduanda no curso de Medicina na UNIFACEMP.
marialuisalopes12@outlook.pt
- ⁶ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. CEP 44430-104. Graduanda no curso de Medicina na UNIFACEMP.
sletiguima@gmail.com
- ⁷ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências Empresariais, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Bióloga - UEFS. Doutora em Microbiologia – Universidade de Évora.
taiana.conceicao@facemp.edu.br <http://lattes.cnpq.br/6182111364165634>

Resumo

A Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente é a forma clínica mais comum da Esclerose Múltipla, caracterizada por episódios de desmielinização seguidos de recuperação total ou parcial. Este estudo revisa aspectos epidemiológicos, diagnósticos, moleculares e terapêuticos relacionados ao subtipo, destacando sua alta prevalência e o impacto funcional na vida dos indivíduos acometidos. A ausência de biomarcadores específicos torna o diagnóstico complexo, exigindo a combinação de critérios clínicos, exames de imagem e análise do Líquido cefalorraquidiano. Avanços recentes revelam que variantes genéticas do Complexo Principal de Histocompatibilidade, especialmente o alelo HLA-DRB1*15:01, desempenham papel central na susceptibilidade à doença, ao lado de mecanismos epigenéticos que modulam a expressão gênica. Também se discutem terapias modificadoras da doença, que reduzem a atividade inflamatória, embora não revertam danos estabelecidos. Apesar das melhorias no diagnóstico e no tratamento, persistem desafios relacionados ao acesso equitativo aos serviços especializados e à necessidade de biomarcadores mais específicos. Os achados reforçam a relevância de abordagens personalizadas para o manejo e acompanhamento da Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente.

Palavras-Chave: HLA-DRB1; doença autoimune; fatores genéticos; tratamento.

Abstract

Relapsing-Remitting Multiple Sclerosis is the most prevalent clinical form of Multiple Sclerosis, characterized by episodes of demyelination followed by partial or complete recovery. This study reviews epidemiological, diagnostic, molecular and therapeutic aspects of the subtype, highlighting its high prevalence and the significant functional impact on affected individuals. The absence of specific biomarkers makes diagnosis challenging and requires the integration of clinical criteria, imaging findings and cerebrospinal fluid analysis. Recent advances indicate that genetic variants within the Major Histocompatibility Complex, particularly the HLA-DRB1*15:01 allele, play a key role in disease susceptibility, alongside epigenetic mechanisms that modulate gene expression. Disease-modifying therapies are also discussed, as they reduce inflammatory activity but do not reverse established neural damage. Despite improvements in diagnostic tools and treatment availability, challenges persist regarding equitable access to specialized services and the need for more specific biomarkers. Overall, the findings emphasize the importance of personalized approaches for the management and monitoring of Relapsing-Remitting Multiple Sclerosis.

Keywords: HLA-DRB1; Autoimmune disease; Genetic factors; Treatment

INTRODUÇÃO

A Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente (EMRR) é o subtipo mais prevalente da Esclerose Múltipla, uma doença autoimune, inflamatória e crônica que acomete o Sistema Nervoso Central, caracterizada pela desmielinização e pela formação de múltiplas lesões no tempo e espaço. Por afetar principalmente adultos jovens em fase produtiva da vida, sua evolução clínica gera repercussões importantes na funcionalidade, no bem-estar emocional e na qualidade de vida dos indivíduos acometido (BRAIDE et al. 2023; SOUZA, 2024).

A ausência de um exame específico, a diversidade de manifestação clínica e a semelhança com outras condições neurológicas fazem com que o diagnóstico seja desafiador, embora ferramentas como os Critérios de McDonald, exames de imagem e análise do líquido cefalorraquidiano tenham contribuído para maior precisão diagnóstica (OLIVEIRA et al. 2024).

Nas últimas décadas, os avanços científicos têm ampliado a compreensão dos mecanismos imunológicos, genéticos e epigenéticos associados ao desenvolvimento e a progressão da EMRR. Destacam-se, entre esses fatores as contribuições do Complexo Principal de Histocompatibilidade (MHC), especialmente os alelos HLA-DRB1, e processos epigenéticos como a metilação do DNA, que modulam a expressão gênica e influenciam a susceptibilidade individual. Simultaneamente, terapias modificadoras da doença têm demonstrado eficácia na redução da atividade inflamatória embora ainda não sejam capazes de reverter danos já instalados (SILVA et al, 2019).

Diante disso, compreender as bases moleculares e epigenéticas associadas a esses subtipos, bem como seus desafios diagnósticos e terapêuticos, torna-se fundamental para aprimorar estratégias clínicas, favorecer o manejo precoce e minimizar desigualdades no cuidado aos pacientes.

METODOLOGIA

O presente artigo traz uma revisão bibliográfica sobre as bases moleculares da Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente. Foram utilizadas as seguintes bases de dados: Scientific Electronic Library (SciELO), National Library of Medicine (PubMed) e Portal de Periódicos da CAPES, em novembro de 2025. As estratégias de busca combinaram os termos “Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente (EMRR)”, “HLA-DRB1”, “doença autoimune”, “fatores genéticos” e “tratamento”.

Foram aplicadas restrições de período e idioma, sendo incluídas apenas produções científicas publicadas a partir do ano de 2019 até 2025, além de publicações em inglês e português. Os resumos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: artigos publicados com texto completo, que relataram pelo menos uma das dúvidas apresentadas no projeto; estudo de casos e resultados científicos que apresentem conteúdos pertinentes acerca da biologia molecular com ênfase na Esclerose Múltipla Recorrente-Remitente (EMRR). Foram excluídos artigos que não estejam no marco temporal delimitado, produções científicas que não abordem questões biomoleculares e produções que não relatam pelo menos uma das dúvidas apresentadas no tema.

RESULTADOS

ESCLEROSE MÚLTIPLA REMITENTE-RECURRENTE (EMRR)

A Esclerose Múltipla (EM) é uma doença autoimune, inflamatória, crônica e progressiva que acomete o Sistema Nervoso Central (SNC), afetando principalmente o cérebro e a medula espinhal. Sua fisiopatologia se caracteriza por um ataque imunológico, lesionando as bainhas de mielina, que são estruturas que envolvem e protegem as fibras nervosas e que permitem a condução de sinais e impulsos elétricos através dos neurônios. Quando o sistema imunológico erroneamente passa a

reconhecer essa mielina como um alvo de ataque, ocorre o processo de desmielinização, causando o comprometimento da transmissão neuronal (GOMES, et al., 2020; NOVAIS et al., 2016; ALVES et al., 2014).

A doença, dessa forma, resulta na formação de diversos focos de lesão distribuídos pelo SNC, gerando graves manifestações clínicas, com alterações psicológicas, cognitivas e físicas, levando ao acometimento da qualidade de vida dos portadores. Vale pontuar, ainda, que de acordo com a periodicidade dos surtos, a EM pode ser classificada em: Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente (EMRR), Esclerose Múltipla Primária Progressiva (EMSP) e Esclerose Múltipla Progressivo-Recorrente (EMPR) (GOMES, et al., 2020; ALVES et al., 2014; NOVAIS et al., 2014).

A Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente, foco deste artigo de revisão sistemática de bibliografia, afeta entre 80% e 85% dos pacientes diagnosticados. Também conhecida como a forma “surto-remissão”, a EMRR é a apresentação mais comum da EM e resulta de surtos inflamatórios nos quais as células do sistema imunológico desencadeiam danos à mielina, produzindo sintomas compatíveis com o processo desmielinizante. Essa forma clínica é caracterizada por episódios de piora aguda do funcionamento neurológico (novos sintomas ou piora dos sintomas existentes), com recuperação total ou parcial (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

Além de surgir de maneira imprevisível e caracteriza-se por períodos de agravamento neurológico agudo que se prolongam por pelo menos 24 horas, podem persistir por dias ou semanas e são seguidos por uma fase de recuperação parcial ou total. À medida que a doença avança, aumenta também a probabilidade de surgirem novas sequelas após cada episódio (VIVEIROS et al., 2024).

DIAGNÓSTICO

Os instrumentos de diagnóstico para a Esclerose Múltipla geral e para a Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente são fundamentalmente os mesmos, principalmente porque a EMRR é o subtipo mais comum da EM. O diagnóstico em EM é extremamente complexo, uma vez que não existe marcador ou teste específico, porém, é possível chegar ao diagnóstico da doença se feito com base em um conjunto de achados clínicos através de diversas ferramentas de exames e análise, por meio da anamnese, que avalia o histórico de vida do paciente e seus ascendentes, além de testes laboratoriais e exames de imagem como ressonância magnética, tomografia

computadorizada, análise do líquido cefalorraquidiano e testes complementares (EKŞİ et al., 2020; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

Embora não exista um exame laboratorial específico e definitivo para o diagnóstico na EM alguns achados laboratoriais podem oferecer suporte importante à identificação da doença. Entre eles, destaca-se a análise do líquido cefalorraquidiano (LCR), que permite avaliar alterações associadas ao processo inflamatório no sistema nervoso central. Além disso, a dosagem do índice de imunoglobulina G (IgG) pode revelar aumento da produção dessa proteína dentro do SNC, algo que costuma ocorrer em resposta a inflamações ou lesões, contribuindo para reforçar a suspeita diagnóstica (SOUZA, 2024; SANTOS, 2018).

Entre as ferramentas de diagnóstico, tem-se também, os Critérios de McDonald, criados em 2001 e revisados em 2005, 2010 e 2017, que representam o principal modelo utilizado atualmente para apoiar o diagnóstico da Esclerose Múltipla. Esses critérios combinam achados clínicos e radiológicos com o objetivo de confirmar o diagnóstico de forma mais rápida e precisa. A introdução e atualização dos Critérios de McDonald permitem diagnósticos mais precoces, contribuindo para melhores prognósticos e desfechos terapêuticos. Em sua formulação mais recente, o foco foi aperfeiçoar a definição dos subtipos da doença e a compreensão dos diferentes padrões (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

O conjunto de Critérios de McDonald se baseia, principalmente, nos conceitos de disseminação no espaço, a partir da presença de lesões em diferentes áreas do sistema nervoso central, e disseminação no tempo, que indica a ocorrência de lesões novas em momentos distintos. Com isso, para atender aos critérios, o paciente deve apresentar um ou mais episódios clínicos com duração mínima de 24 horas e intervalo de pelo menos um mês entre eles, além de evidências de múltiplas lesões distribuídas pelo SNC. Quando o paciente, já apresenta dois ou mais surtos clínicos não é obrigatória a realização de exames complementares, entretanto, a ressonância magnética é de grande utilidade, pois pode mostrar lesões típicas, frequentemente ovaladas, que reforçam a disseminação espacial e podem indicar também a disseminação temporal (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

A ressonância magnética é a tecnologia mais utilizada entre os métodos de imagem, como a tomografia computadorizada e o raio-x, devido a sua capacidade de entregar contrastes melhor entre os tecidos cerebrais. Esse exame produz cortes detalhados das estruturas cerebrais e medulares, permitindo visualizar de forma clara

as áreas afetadas. No exame de ressonância magnética, são geradas imagens de sequência T1 e T2, que ajudam a identificar diferentes características (KLEIN, 2016). As sequências ponderadas em T1 e T2 da ressonância magnética são essenciais para o diagnóstico e o acompanhamento da EMRR, pois fornecem diferentes contrastes que facilitam a visualização das lesões. Nas imagens T1, as áreas com maior conteúdo lipídico (como a gordura), aparecem mais claras, enquanto o líquido cefalorraquidiano (LCR) tende a ser mais escuro, essa ponderação é útil para observar a anatomia cerebral e, quando associado ao contraste com gadolínio, identificar lesões com inflamação ativa devido a permeabilidade aumentada da barreira hematoencefálica. Já nas imagens T2, tudo que contém água, incluindo inflamação, edema ou LCR, aparece mais claro, o que torna essa sequência particularmente importante para detectar as áreas de desmielinização características, pois essas regiões tendem a acumular fluido e se manifestar com maior intensidade na imagem (SOUSA et al., 2025).

Por fim, vale pontuar, ainda, que o diagnóstico deve ser correlacionado, isso ocorre devido à falta de um biomarcador ou teste específico para a doença, exigindo a utilização de vários critérios e exames para sua confirmação, a fim de descartar outras doenças neurológicas semelhantes à esclerose múltipla (SOUZA, 2024; SANTOS, 2018).

EPIDEMIOLOGIA

A Esclerose Múltipla (EM) acomete normalmente adultos jovens dos 20 aos 50 anos de idade, com maior prevalência aos 30 anos de idade, sendo mais rara quando se inicia fora dessa faixa etária. Em média é duas vezes mais frequente em mulheres e apresenta menor incidência na população afrodescendente, oriental e indígena (HAHN et al., 2025).

De acordo com o estudo de KHAN e colaboradores (2025) é possível observar um aumento consistente na prevalência, além de apresentar variações epidemiológicas significativas entre países e regiões, incluindo o Brasil. Publicado em 2025, o estudo avalia a epidemiologia da EM entre os anos de 1990 e 2021. Com isso, em 2021 havia 1.89 milhão de pessoas no mundo vivendo com EM. Isso corresponde a 23,9 casos por 100.000 habitantes. Essa taxa tem aumentado continuamente desde 1990 em todas as regiões do mundo, com o maior aumento nas regiões mais

desenvolvidas. Mais de 62 mil indivíduos são diagnosticados com EM a cada ano e estima-se que ocorram mais de 15 mil mortes anualmente por conta dos avanços da doença (KHAN et al., 2025).

No Brasil, houve um crescimento de aproximadamente 92% entre os anos estudados, com cerca de 55 mil pacientes com EM em 2021 e prevalência de 25 para cada 100 mil habitantes. Assim como no mundo, a prevalência varia de acordo com a região residência dos pacientes, sendo menor no Nordeste e maior na região Sul (HAHN et al., 2025).

Embora a Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente seja a forma clínica mais prevalente da doença, a literatura científica ainda carece de dados epidemiológicos robustos e específicos sobre esse subtipo de EM, dificultando estimativas precisas de incidência e prevalência. No entanto, dados observados no estudo de HAHN e colaboradores (2025) que analisou registros do Ministério Público da Saúde, estima-se que entre os anos de 2020 e 2023 cerca de 19.415 pacientes estavam em tratamento para EMRR no país, refletindo demanda por terapias direcionadas a esse subtipo da doença (HAHN, et al., 2025).

BASES MOLECULARES

A compreensão das bases moleculares da EMRR tem avançado significativamente nas últimas décadas, permitindo esclarecer como processos imunológicos, genéticos e celulares interagem para desencadear a doença. A EMRR não resulta de um único mecanismo, mas sim de uma combinação complexa entre predisposição genética, ativação anormal do sistema imune e vulnerabilidade específicas das células do SNC (KULAR et al., 2018).

A resposta inflamatória desregulada do sistema imunológico desempenha papel central na fisiopatologia da EMRR. O ataque autoimune é dirigido contra componentes do SNC, especialmente contra a mielina que envolve e protege os axônios. A partir do momento em que o organismo passa a reconhecer proteínas da mielina como antígenos nocivos, inicia-se uma cascata de eventos inflamatórios destrutivos. Células imunes como linfócitos T e células B atravessam a barreira hematoencefálica, que normalmente atua como estrutura da proteção e invadem o SNC. Uma vez ativadas, essas células liberam citocinas pró-inflamatórias que perpetuam o processo e atraem mais células imunes para os locais de lesão (NORO

et al., 2020).

Nesse contexto, a desmielinização se torna um dos grandes processos patológicos que ocorrem na doença causando dano neural. A perda da mielina prejudica a condução dos impulsos elétricos ao longo dos axônios, reduzindo a velocidade e a precisão da comunicação neuronal. Esse processo é consequência direta do ataque imunológico, que compromete estruturalmente as bainhas de mielina e pode, inclusive, levar à degeneração axonal progressiva. O dano cumulativo ocorre de forma heterogênea ao longo do SNC, resultando nos vários sintomas motores, sensoriais e cognitivos característicos da doença (ITTURI et al., 2025).

Além dos mecanismos imunes, os fatores genéticos exercem papel expressivo na suscetibilidade a EMRR. Diversos estudos demonstram que elementos biológicos, sociais, ambientais e físicos influenciam o risco de desenvolvimento da doença. Entre eles, a genética se destaca, especialmente devido à associação com o Sistema HLA de Classe II, que codifica proteínas essenciais para a apresentação de antígenos. Este complexo, localizado no cromossomo 6, inclui genes altamente polimórficos que modulam a capacidade do organismo de reconhecer e responder a antígenos (WAUBANT et al., 2019).

Entre esses genes, os alelos HLA-DRB1 são os mais investigados. A literatura demonstra que a frequência de determinados alelos varia significativamente entre populações, o que pode explicar diferenças epidemiológicas globais da EM. Embora ainda não se compreenda totalmente como cada alelo influencia diretamente a patogênese, sabe-se que identificar esses marcadores nos estágios iniciais da doença pode auxiliar na previsão do curso clínico e na escolha do tratamento mais adequado. Formas progressivas da EM mostram associação elevada com alelos da Família HLA-DRB (NORO et al., 2020).

O alelo HLA-DRB1*15:01 constitui o fator genético isolado mais fortemente associado a EM especialmente entre os indivíduos caucasianos (pessoas de ascendência europeia). A combinação do HLA-DRB1*15:01 com outros genes como os DQA1 e DQB1 aumenta ainda mais a suscetibilidade. Essas moléculas participam da apresentação de antígenos às células T e sua variabilidade pode modificar profundamente a resposta imune, facilitando a ativação anormal contra a mielina. No entanto, os loci genéticos conhecidos até o momento explicam apenas cerca de metade da herdabilidade da doença e pouco se sabe sobre as variantes causais subjacentes e seus mecanismos moleculares (NORO et al., 2020).

Diversos relatos também associam alelos HLA-DQA1 a várias doenças autoimunes além da EM. A susceptibilidade à doença tem sido particularmente vinculada aos haplótipos HLA-DRB5*01:01, HLA-DRB1*15:01, HLA-DRA1*01:02 e HLA-DQB1*06:02, que compõem parte importante das contribuições genéticas para o risco de desenvolvimento da enfermidade (NORO et al., 2020).

Uma metanálise conduzida pelo Consórcio Internacional de EM reforçou a importância da interação entre genes da região HLA e a regulação das células imunes periféricas e da micróglia (células imunes do SNC que agem como protetores), são células de extrema importância para manutenção da saúde cerebral, removendo detritos celulares e patógenos, participando de reparos de lesões e modelando as conexões entre os neurônios (INTERNATIONAL MS GENETICS CONSORTIUM, 2019).

Estudos de associação genômica ampla tem demonstrado que a susceptibilidade a EM está relacionada a múltiplos polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs), com destaque para aqueles localizados no complexo principal de histocompatibilidade no cromossomo 6, região associada a regulação da resposta imune (BARANZINI et al., 2009; INTERNATIONAL MS GENETICS CONSORTIUM, 2019). Além disso, evidências em populações brasileiras sugerem que há indícios de que certos polimorfismos nos genes, como o CIITA-168AA e CIITA+1614GG, podem estar associados a uma evolução clínica mais favorável da doença (NORO, et al., 2020).

Avanços recentes no mapeamento genético e epigenético de alta resolução sugerem que a maior parte das variantes candidatas relacionadas a doenças autoimunes é não codificante, desempenhando papéis regulatórios na expressão gênica. Mecanismos epigenéticos, como a metilação do DNA, podem modular a expressão dos genes por meio de alterações herdáveis durante sucessivas divisões celulares (KULAR et al., 2019).

De modo consistente, variantes genéticas localizadas em regiões que codificam componentes da maquinaria epigenética também foram associadas a EMRR, reforçando a relevância desses mecanismos na patogênese. Evidências indicam que modificações genéticas e epigenéticas interagem biologicamente, auxiliando na compreensão de como a metilação do DNA contribui para o risco genético observado em doenças complexas (KULAR et al., 2019).

Estudos recentes sugerem que a associação entre HLA-DRB1*15:01 e EMRR

pode envolver níveis diferenciados de expressão gênica. De acordo com esses achados, monócitos de indivíduos portadores desse alelo apresentam o gene HLA-DRB1 não metilado e com expressão aumentada em comparação com outros haplótipos (NORO et al., 2020).

Por fim, evidencia-se ainda, a forte contribuição de características étnicas e de gênero. Estudos genéticos e epidemiológicos anteriores demonstram que o gênero do genitor afetado pode influenciar o risco de uma criança desenvolver EM. Somado a isso, foi mostrado que meios-irmãos maternos apresentam maior risco de desenvolver a doença do que meios-irmãos paternos, que implica um possível papel dos mecanismos epigenéticos (HAHN et al., 2025).

TRATAMENTOS

Embora a comunidade médica reconheça a EM como uma condição ainda sem cura, há diversas abordagens terapêuticas disponíveis cujo objetivo principal é desacelerar a evolução da doença e evitar o surgimento de déficits clínicos e funcionais mais severos. O manejo da doença é considerado complexo e exige a atuação de diferentes profissionais da saúde, combinando intervenções farmacológicas e não farmacológicas para garantir melhor controle dos sintomas e qualidade de vida ao paciente (HAHN et al., 2025).

No Brasil, por meio do Ministério da Saúde, existem protocolos clínicos para a disposição de medicamentos específicos para cada subtipo da Esclerose Múltipla que estabelecem critérios confiáveis baseados em qualidade técnica e científica a respeito das condutas diagnósticas e terapêuticas que devem ser adotadas por profissionais da saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

O tratamento medicamentoso da Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente baseia-se principalmente no uso de imunomoduladores e imunossupressores, medicamentos que são fornecidos gratuitamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Entre os fármacos mais utilizados destacam-se o interferon beta e o acetato de glatirâmer (AG) (SOUZA, 2024; SILVA, 2014).

O interferon- β 1b é uma versão modificada do interferon- β humano que inibe a síntese de interferon gama, reduzindo tanto a frequência de surtos quanto o aparecimento de novas lesões cerebrais observadas pela ressonância magnética (SOUZA et al., 2021). Já o acetato de glatirâmer atua como um imunomodulador com

propriedades neuro-protetoras, competindo com peptídeos derivados da mielina na ligação com moléculas de MHC classe II, que são componentes do sistema imunológico, que bloqueia a ativação de células T patogênicas e evitar maior dano à bainha de mielina (HAHN et al., 2025).

Por se tratar de medicamentos de alto custo, a sua liberação ocorre por meio das farmácias do Componente Especializado da Assistência Farmacêutica (CEAF), mediante a solicitação formal acompanhada do receituário médico no município de residência do paciente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

Além dos medicamentos citados acima, classificados como Medicamentos Modificadores do Curso da Doença (MMCD) de primeira linha, existem diversos outros de segunda e terceira linha de tratamento, assim como medicamentos para baixa, moderada e alta atividade da doença, além de tratamentos para populações específicas como crianças, adolescentes e gestantes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024; VIVEIROS et al., 2025).

Entre as abordagens terapêuticas disponíveis, destaca-se a terapia por indução, considerada a estratégia mais agressiva devido a potência das drogas imunossupressoras utilizadas precocemente para suprir de forma intensa o processo inflamatório. O protocolo inclui: doses de agentes limitadas (cladribina, ciclofosfamida); agentes de uso contínuo (fingolimode e natalizumabe); agentes usados em período limitado (alemtuzumab, ocrelizumab, rituximabe) (BRAIDE et al, 2023).

Ademais, vale pontuar também, que apesar da variedade de terapias disponíveis, é importante destacar que nenhum desses fármacos é capaz de restaurar funções neurológicas já comprometidas. Por isso, é de extrema importância associar o tratamento medicamentoso com intervenções não medicamentosas, como fisioterapia, terapia ocupacional e apoio psicossocial (HAHN et al., 2025).

Por fim, vale ressaltar, ainda que a escolha pelos tratamentos de melhor prognóstico para a EM tem se tornado um desafio para os neurologistas, isso porque a alta complexidade da patologia ocorre por interações entre diferentes genes e influência de fatores ambientais que ainda não são totalmente elucidados. Essa complexidade está ligada ao polimorfismo desta patologia que causa variedade fenotípica e leva a diferentes reações a intervenções e a medicamentos) (BRAIDE et al, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço das pesquisas nas últimas décadas, o entendimento sobre a Esclerose Múltipla Remitente-Recorrente evoluiu de forma significativa, embora ainda enfrente desafios importantes em sua compreensão, diagnóstico e manejo clínico. Apesar das limitações históricas e das dificuldades quanto à investigação de uma doença complexa e multifatorial, a comunidade científica tem produzido conhecimento contínuo e consistente, permitindo não apenas expandir a visão sobre os mecanismos biológicos envolvidos, mas também aprimorar estratégias terapêuticas e ferramentas diagnósticas.

A análise integrada dos aspectos moleculares, genéticos e terapêuticos da EMRR evidencia a complexidade multifatorial que caracteriza a doença. Essas evidências revisadas reforçam que variantes genéticas, especialmente aquelas relacionadas ao Complexo Principal de Histocompatibilidade, desempenham papel central na suscetibilidade da doença, enquanto mecanismos epigenéticos modulam a expressão gênica e contribuem para heterogeneidade clínica observada entre os pacientes. A interação entre fatores genéticos, epigenéticos e ambientais se demonstram determinantes tanto para o início quanto para a progressão da doença, reforçando a necessidade de abordagens que considerem a biologia integrada do indivíduo.

A identificação de potenciais biomarcadores, sejam eles genéticos, epigenéticos ou imunológicos, surge como caminho promissor para aprimorar a especificidade diagnóstica, o monitoramento da atividade da doença e predição de resposta aos diferentes tratamentos.

Os dados também evidenciam que a resposta terapêutica varia de acordo com o perfil genético e com a interação entre organismo e ambiente, destacando a importância da medicina personalizada na EMRR. Apesar dos avanços significativos no desenvolvimento e disponibilidade de tratamentos modificadores da doença, ainda persistem desafios relacionados ao acesso, a distribuição regional dos serviços especializados e a necessidade de estratégias que reduzam a desigualdade no cuidado, especialmente no contexto do Brasil.

Assim sendo, é indubitável a necessidade de aprofundamento do conhecimento sobre os determinantes moleculares e genéticos da EMRR, aliado a investigação de fatores ambientais e a avaliação da efetividade terapêutica, que é

essencial para o aprimoramento das práticas clínicas, o desenvolvimento de intervenções mais específicas e o fortalecimento da vigilância epidemiológica. O conjunto dessas evidências contribui para o entendimento mais integrado da doença e sinaliza caminhos importantes para futuras pesquisas que visem reduzir impactos, melhorar prognósticos e ampliar a qualidade de vida das pessoas com EMRR.

Embora o conhecimento sobre a doença tenha avançado, o Brasil ainda carece de dados epidemiológicos robustos sobre esse subtipo específico. Também, infelizmente, o acesso desigual a tecnologia ainda limita a confirmação diagnóstica em muitas regiões do Brasil, o que impacta o início do tratamento.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. C. A. *et al.* Esclerose múltipla: revisão dos principais tratamentos da doença. **Saúde e Meio Ambiente: revista interdisciplinar**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 19-34, jul./dez. 2014. Disponível em: DOI:10.24302/sma.v3i2.542

BARANZINI, S. E. *et al.* Genome-wide association analysis of susceptibility and clinical phenotype in multiple sclerosis. **Human Molecular Genetics**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 767-778, fev. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/hmg/ddn388>.

BRAIDE, P. V. L.; REZENDE, T. M.; CARMO, M. S. do. Esclerose múltipla: uma revisão de literatura sobre os aspectos gerais da doença. **Revista de Estudos Multidisciplinares**, São Luís, v. 3, n. 3, Edição Especial I JOMED UNDB, dez. 2023. Disponível em: <https://periodicos.undb.edu.br/rem/article/view/174>

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Conjunta SAES/SECTICS Nº 08, de 12 de setembro de 2024. Aprova o **Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas da Esclerose Múltipla (EM)**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/conitec/pt-br/midias/protocolos/pcdt-esclerose-mltipla.pdf>

EKŞİ, Z. *et al.* Diferenciação de esclerose múltipla recorrente-remitente e progressiva secundária: um estudo de ressonância magnética com espectroscopia baseado em aprendizado de máquina. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, São Paulo, v. 78, n. 12, p. 789-796, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0004-282X20200094>.

GOMES, T. V. *et al.* Como os tratamentos alternativos e complementares para a esclerose múltipla contribuem para a qualidade de vida dos pacientes portadores da doença. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, [S. l.], v. 16, p. e5042, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reac.e5042.2020>.

HAHN, V. de O. *et al.* Avaliação do uso de terapias modificadoras do curso da doença para esclerose múltipla remitente recorrente no Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 1380-1385, mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v11i3.18361>.

INTERNATIONAL MULTIPLE SCLEROSIS GENETICS CONSORTIUM. Multiple Sclerosis Genomic Map implicates peripheral immune cells & microglia in susceptibility. **Science**, [S. I.], v. 365, n. 6460, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aav7188>.

ITTURI, B. K. *et al.* Environmental risk factors for multiple sclerosis: a comprehensive systematic review and meta-analysis. **Journal of Neurology**, [S. I.], v. 272, n. 2, p. 513-525, jan. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00415-025-13248-0>.

JORGE, F. F.; FINKELSZTEJN, A.; RODRIGUES, L. P. Sintomas motores e a qualidade de vida de pacientes com esclerose múltipla remitente recorrente em um centro especializado no Sul do Brasil. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, São Paulo, v. 78, n. 11, p. 745-750, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0004-282X-ANP-2020-0315>.

KHAN, G.; HASHIM, M. J. Epidemiology of Multiple Sclerosis: Global, Regional, National and Sub-National-Level Estimates and Future Projections. **Journal of Epidemiology and Global Health**, [S. I.], v. 15, n. 21, p. 1-12, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44197-025-00353-6>.

KULAR, L. *et al.* DNA methylation as a mediator of HLA-DRB1*15:01 and a protective variant in multiple sclerosis. **Nature Communications**, [S. I.], v. 9, n. 2397, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04732-5>.

NORO, F. *et al.* O HLA-DQA1*04:01 está relacionado com uma alta carga lesional na ressonância magnética em T2/Flair nos pacientes com esclerose múltipla. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, São Paulo, v. 78, n. 11, p. 720-726, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0004-282X-ANP-2020-0487>.

NOVAIS, N. G. P. *et al.* The effects of progressive muscular relaxation as a nursing procedure used for those who suffer from stress due to multiple sclerosis. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 24, p. e2841, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1518-8345.1257.2841>.

OLIVEIRA, J. C. de *et al.* Esclerose múltipla: fisiopatologia, diagnóstico, tratamentos e impacto na qualidade de vida. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 1-11, jul./ago. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n4-359>.

ROSA, R. C.; ESPINDULA, A. P.; CARDOSO, F. A. G. Correlação entre a qualidade de vida e a capacidade funcional em pacientes com esclerose múltipla. **Saúde e Pesquisa**, [S. I.], v. 14, n. 2, p. 271-277, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9206.2021v14n2e7654>.

SANTOS, V. M. Diagnóstico de esclerose múltipla por ressonância magnética. **Revista Remecs: revista multidisciplinar de estudos científicos em saúde**, [S. I.], v. 3, n. 5, p. 3-13, 2018. Disponível em: [10.24281/rremecs2526-2874.2018.3.5.3-13](https://doi.org/10.24281/rremecs2526-2874.2018.3.5.3-13)

SILVA, J. G. da; PEZZINI, M. F.; POETA, J. Avanços no tratamento da esclerose múltipla através do anticorpo monoclonal Ocrelizumabe. **Medicina (Ribeirão Preto)**, Ribeirão Preto, v. 53, n. 1, p. 35-41, jan./mar. 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v53i1.p35-41>.

SOUSA, W. R. G.; GUIMARÃES, A. F.; PARENTE FILHO, L. W. S. Análise da aplicabilidade da ressonância magnética e dos avanços diagnósticos no manejo terapêutico da esclerose múltipla: uma revisão integrativa da literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 1-15, jan./fev. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n1-515>.

SOUZA, A. C. de. Um panorama sobre a fisiopatologia e diagnóstico da esclerose múltipla. **Revista Multidisciplinar em Saúde – CRONICS**, [S. l.], v. 5, n. 2, 2024. Disponível em: <https://ime.events/iii-cronics/pdf/35203>

VIVEIROS, J. W. S. de; AMORIM, M. F. C. R.; MENEZES, T. S. Impacto das Intervenções Precoces no Tratamento de Esclerose Múltipla Recorrente-Remitente: Uma Revisão Sistemática. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 1415-1428, mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n3p1415-1428>.

WAUBANT, E. *et al.* Environmental and genetic risk factors for MS: an integrated review. **Annals of Clinical and Translational Neurology**, [S. l.], v. 6, n. 9, p. 1905-1922, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/acn3.50862>.

MÉTODOS/SISTEMAS DO TREINAMENTO DE FORÇA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.*Strength training methods/systems: a literature review*Uildson Cerqueira de Carvalho¹
Thyerre Torres²¹ Bacharel em Educação Física – Centro Universitário Maria Milza – UNIMAM.
uildson47@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-3566>² UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Licenciado em Educação Física – Faculdade Maria Milza; Mestre em Ciências Sociais – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB.
thyerre.anias@facemp.edu.br. <http://lattes.cnpq.br/8895323632632026>**RESUMO**

Atualmente há diversas técnicas no treinamento de força (TF), e, dentre elas, existem os métodos/sistemas de treinamento. De maneira geral estes métodos/sistemas possibilitam a manipulação de variações consideráveis importantes para a adaptação aguda e crônica do treino, e que, conseqüentemente, acabam ensejando uma prescrição adequada. Este trabalho teve como objetivo principal averiguar, através de revisão integrativa, a utilização e o entendimento dos métodos/sistemas do treinamento de força na prescrição dos exercícios físicos. No que tange aos objetivos específicos buscou-se delinear a compreensão através dos artigos analisados, acerca da implementação desses métodos/sistemas, e, por fim, apresentar, através das discussões e reflexões, os entraves e dificuldades encontrados nas manipulações destas técnicas de treinamento. Ao fim, esta revisão integrativa delineou um perfil de publicação de artigos científicos onde o TF e seus métodos/sistemas acabam sendo efetuados em diferentes âmbitos, e que a utilizações destes métodos, em geral, precisa ser mais evidenciado.

Palavras-chave: Treinamento Físico, Exercício Físico e Educação Física e Treinamento**ABSTRACT**

Currently, there are various techniques in strength training (ST), and among them are training methods and systems. In general, these methods and systems allow for the manipulation of significant variables that are important for acute and chronic training adaptation, which, in turn, lead to appropriate exercise prescription. The main objective of this study is to investigate, through an integrative review, the use and understanding of strength training methods and systems in the prescription of physical exercises. Regarding the specific objectives, the study sought to outline, through the analyzed articles, an understanding of the implementation of these methods and systems and, finally, to present—through discussions and reflections—the obstacles and difficulties encountered in applying these training techniques. In conclusion, this integrative review outlined a publication profile of scientific articles in which strength training and its methods/systems are applied in various settings, and it highlighted that the use of these methods, in general, needs to be further emphasized.

Key-Words: Physical Training, Physical Exercise, and Physical Education and Training

INTRODUÇÃO

O treinamento de força (TF), que também é comumente conhecido como treinamento resistido ou com pesos, se tornou uma das formas mais populares de exercício para melhorar a aptidão física e o aperfeiçoamento do condicionamento de atletas (Fleck; Kraemer, 2017). Além disso, esses termos buscam objetivar tipos de exercícios que exigem da musculatura corporal grande excitação – realizada com uma força oposta – geralmente exercida por pesos soltos, seu próprio corpo ou aparelhos (Fleck; Kraemer, 2017).

Porém, nem sempre foi assim. No século XIX o treinamento de força era muito desconhecido, praticado por halterofilistas em atividades circenses e, conseqüentemente, a ciência ainda não conhecia seus benefícios (Salles; Pena, 2020). Com isso, só partir do século XXI que o empirismo da prática do TF foi se encontrando com o crescimento considerável de estudos na área, possibilitando, portanto, o aparecimento de diversas técnicas de treinamento² (Salles; Pena, 2020).

Logo, ao longo de todos esses anos, diversas pesquisas vêm demonstrando a importância e os benefícios do treinamento de força, principalmente em relação à aptidão física, a melhora da qualidade de vida; na prevenção de inúmeras doenças e na promoção da saúde biológica (Improta-caria et al., 2021; Prestes et al., 2016; Torres et al., 2021).

Contudo, mesmo com o avanço da ciência, o empirismo prático ainda sobrevoa as diversas academias de musculação, e, manipular diferentes técnicas do treinamento acaba sendo muito complicado e desafiador para o professor de Educação Física (Prestes et al., 2016). Por isso, ao longo dos anos, em conexão com a ciência e a prática empírica, muitos tipos de treinamento foram se criando, com os mais variados objetivos – através de acertos e erros – dando, portanto, a criação dos métodos ou sistemas do treinamento de força, na busca de suprir necessidades e metas dos praticantes (Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti; Charro; Prestes, 2016).

De maneira geral estes métodos/sistemas possibilitam a manipulação de variações consideráveis importantes para a adaptação aguda e crônica do treino e que, conseqüentemente, acabam ensejando uma prescrição adequada, voltados a

² Entendemos as “técnicas de treinamento” como os métodos, variáveis e princípios que regem o treinamento de força.

uma gama de estratégias que devem ser utilizadas, seja qual for o objetivo do praticante (Salles, 2020; Fleck; Kraemer, 1999; Prestes et al., 2016; Torres et al., 2021). Além disto, esses métodos/sistemas – através das suas acertadas utilizações – continuam sendo um meio de evitar os platôs de treinos, melhorando, portanto, a eficácia nos resultados (Fleck; Kraemer, 2017).

Atualmente há inúmeros métodos/sistemas que foram surgindo devido à necessidade dos seus praticantes, os quais objetivam melhorar as possibilidades no treinamento, devido à necessidade e as metas específicas objetivadas. No entanto, ainda não é muito claro, a utilização desses métodos/sistemas nos TF dentro das academias de musculação e nas pesquisas científicas publicadas. Diante disso, destacamos alguns métodos e sistemas de TF que consideramos importantes para análise nesta pesquisa, sobretudo aqueles que entendemos ser indispensáveis para essa discussão. Conforme (Salles; Pena, 2020; Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti, Charro, Prestes, 2016) os métodos e sistemas são:

Quadro 1 - Descrição de alguns métodos/sistemas do treinamento de força

Métodos/Sistemas do TF	Métodos/Sistemas do TF
Método circuito	Rest pause
Repetições forçadas	Método de exaustão
Método roubada	Repetições parciais
Método excêntrico ou negativo	Treinamento com restrição do fluxo sanguíneo
Método pirâmide (crescente/decrescente)	Método drop set e stripsets
Biset, triset e série gigante	Método blitz
Superlento	Full body
Método série simples e múltiplas	Método cluster

No fim, diante tais argumentações, este trabalho teve como objetivo principal averiguar, através de revisão integrativa, a utilização e o entendimento dos métodos/sistemas do treinamento de força na prescrição dos exercícios físicos. No que tange aos objetivos específicos, buscou-se delinear a compreensão através dos artigos analisados acerca da implementação desses métodos/sistemas e, por fim,

apresentar, através das discussões e reflexões, os entraves e dificuldades encontrados nas manipulações destas técnicas do treinamento.

METODOLOGIA

Este artigo foi realizado a partir de buscas nas bases de dados: *Scientific Eletronic Library Online* (SCIELO), e na Biblioteca Virtual da Saúde (BVS) com suas bases de dados, abrangendo apenas o idioma português nos últimos dez anos, de 2012 a 2022. Os critérios de inclusão adotados contemplaram trabalhos disponíveis em formato on-line. Esta revisão integrativa foi realizada por meio da utilização dos descritores “Treinamento Físico”, “Exercício Físico” e “Educação Física e Treinamento”.

Para o alcance dos objetivos propostos foi realizado um levantamento de materiais como artigos e pesquisas científicas, o que possibilitou um agrupamento de publicações atualizadas sobre a problemática. A produção deste material teve início em março de 2022 e foi finalizada em agosto de 2022. Foram excluídos documentos que não abordavam a temática selecionada, publicados em línguas estrangeiras, incompletos ou resumos, documentos fora das bases de dados evidenciadas e/ou publicados fora do lapso temporal estabelecido.

Outro aspecto relevante é que, embora a pesquisa se apoie em uma abordagem qualitativa, por possibilitar ao pesquisador uma maior aproximação com o objeto de estudo e por contemplar aspectos relacionados a sentimentos, valores e crenças, considerou-se igualmente importante a utilização de dados quantitativos. Nesse sentido, a quantificação das informações obtidas na revisão permitiu complementar as análises realizadas, uma vez que a integração entre dados qualitativos e quantitativos contribui para uma compreensão mais ampla do fenômeno investigado e favorece a interpretação e assimilação dos resultados (Minayo, 2003).

Desta maneira, inicialmente foram encontrados 320 artigos (sendo 306 da BVS e 14 da SCIELO). Porém, aplicando-se os critérios de inclusão e exclusão, selecionou-se 47 (quarenta e sete) documentos; destes, 6 (seis) estavam duplicados nas bases de dados BVS e SCIELO e 12 (doze) não correspondiam aos objetivos deste estudo, totalizando 5 (cinco) da SCIELO e 24 (vinte e quatro) da BVS. Para a realização da busca nas bases de dados BVS e SciELO, foram utilizados os

operadores booleanos AND e OR. O operador AND foi empregado para associar descritores distintos e restringir os resultados, enquanto o operador OR foi utilizado para combinar descritores sinônimos ou relacionados, ampliando a abrangência da busca. No fim, foram aceitos 29 artigos selecionados para o desenvolvimento desta revisão integrativa.

Quadro 2 - Resultados das buscas nas bases de dados e seleção dos artigos relacionados ao tema.

Bases de Dados	Total	Aceitos
SCIELO	14	5
BVS	306	24

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quadro 3 - Descrição dos estudos incluídos na revisão integrativa, segundo título, base de dados, autor(es), ano de publicação e resultados.

Nº	Autor(es)/ Ano de Publicação	Título	Resultados
SCIELO			
1	Nunes, J; Samuel, M. D. RR; Vecchio, F. B. D. (2012)	Treinamento de força com uso de correntes e potencialização pós-ativação do salto vertical	Pirâmide
2	Paulo, C.A. et al. (2012)	Efeito agudo dos exercícios de flexibilidade no desempenho de força máxima e resistência de força de MMII e superiores	Falha concêntrica ou Exaustão
3	Brodt, G.A. et al. (2013)	Avaliação da força de atrito em máquina de musculação durante exercícios de extensão de joelho	NDC
4	Brito, J. C. et al. (2013)	Impacto do treinamento resistido na força e hipertrofia muscular em HIV-soropositivo	NDC
5	Silva, M. V. et al. (2019)	Efetividade da intervenção múltipla para a prevenção de quedas em idosos participantes de uma Universidade Aberta à Terceira Idade	NDC
BVS			
6	Carvalho, T, B. et al (2012)	Treinamento de força excêntrico em idosos: revisão acerca das adaptações fisiológicas agudas e crônicas	Excêntrico

7	Mendes, J, E. et al. (2012)	Efeito do treinamento concorrente sobre a força e área de secção transversa muscular	Série Múltiplas
8	Paz, G, A. et al. (2013)	Efeito da facilitação neuromuscular proprioceptiva e pré-ativação dinâmica dos antagonistas sobre a força isométrica máxima e sinal eletromiográfico	Rest pause
9	Goersch, M, C. et al. (2013)	Efeito do tempo de prática de exercício físico na aptidão física relacionada à saúde em mulheres idosas	NDC
10	Duarte, S, V. et al. (2013)	Exercícios físicos e osteoartrose: uma revisão sistemática	NDC
11	Kura, G, G. et al (2013)	Treinamento de força de intensidade progressiva não altera a pressão arterial pós-exercício de idosos hipertensos	Série Simples
12	Souza, G. L. et al. (2014)	Comparação entre treinamento concorrente e corrida em piscina funda associados à orientação nutricional na perda de peso e composição corporal de indivíduos obesos	NDC
13	Orsano, V.S.M; Moraes W.M.A.M; Prestes J. (2017)	Treinamento de potência em idosos: por que é importante?	NDC
14	Estrela, L, A; Bauer, E, M. (2017)	Envelhecimento saudável e atividade física: uma revisão sistemática sobre os efeitos do exercício nas doenças cardiovasculares.	Série Múltiplas
15	Andreatta M.V. et al (2018)	Exercício de força combinado à restrição de fluxo sanguíneo induz aumentos agudos na PAS	Oclusão vascular
16	Bulhões L.C.C et al. (2018)	Efeito do treinamento resistido na redução da dor no tratamento de mulheres com fibromialgia: revisão sistemática	NDC
17	Pedrosa, G, F. et al. (2019)	Comparação do número máximo de repetições em séries múltiplas entre indivíduos com diferentes tempos de experiência no treinamento de força.	Séries Múltiplas e Falha Concêntrica
18	Sosciarelli, V; Polito M. (2019)	Intervalo de recuperação autossugerido: efeito agudo na quantidade de repetições e na densidade de treinamento em homens treinados	Falha concêntrica ou Exaustão
19	Paes P.P. et al. (2019)	Estímulos verbais e musicais promovem maior desempenho no teste de 1RM em mulheres recreacionais no treinamento de força?	NDC
20	Lopes, C, R. et al. (2019)	Alongamento estático de alta	Série simples

		intensidade não afeta o volume absoluto de uma sessão de treinamento de força para o peitoral maior e deltoide anterior	
21	Rolim Y. Et Al. (2019)	Efeito de diferentes intensidades sobre a atividade mioelétrica do vasto lateral, tempo sob tensão, e deslocamento angular durante séries múltiplas na cadeira extensora	Série Simples e Múltiplas
22	Azevedo, C.B.A Et Al. (2019)	Respostas neuromusculares ao treinamento resistido de alta intensidade (hirt)	Exaustão e Super lento
23	Reis, F, B, C; Leite, D, R; Ide, N, B. (2020)	A densidade como uma nova métrica de quantificação de cargas no treinamento de força	
24	Brunheroti, K.A et al. (2020)	Efeito de duas intervenções com diferentes volumes de exercícios físicos na aptidão física de mulheres usuárias da atenção primária de saúde.	
5	Ornelas F. et al. (2020)	Manipulação das variáveis do treinamento de força nas academias da região metropolitana de campinas-sp.	
26	Corrêa VP et al. (2020)	Impacto do exercício físico no transtorno do espectro autista: uma revisão sistemática	
27	Lima, L.S. et al. (2020)	Efeito do treino com restrição de fluxo sanguíneo versus treino resistido de alta intensidade sobre a força de indivíduos sedentários: um ensaio clínico controlado e randomizado.	
28	Neto, J.G.G. et al. (2020)	10 semanas de treinamento de força melhoram quais capacidades físicas em adolescentes fisicamente ativos?	
29	Silva, D.S.I. et al. (2021)	Treinamento pliométrico em 5 semanas melhora desempenho físico de estudantes de educação física: um estudo piloto	

Fonte: Autor da pesquisa

Legenda: NDC – Não deixa claro o método/sistema utilizado

MÉTODOS/SISTEMAS DO TREINAMENTO DE FORÇA

SÉRIE SIMPLES OU ÚNICA E SÉRIE MÚLTIPLAS

No método de séries simples, segundo (Fleck;Kraemer, 2017), apenas uma só série é executada em cada exercício. A literatura aponta que esse método está entre os mais antigos e populares no contexto do treinamento de força (TF). Introduzido na

década de 1970, esse método foi amplamente difundido e continua sendo utilizado de forma significativa até os dias atuais (Salles; Pena, 2020; Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Durante esta revisão ficou bem evidente a utilização deste método em alguns artigos, onde os praticantes realizaram números de séries estabelecidos uma única vez para cada exercício. No que tange ao método/sistema de série múltiplas, é importante salientar que este método, de forma geral, consiste em todos os sistemas de treinamento em que possam realizar mais de uma série de um exercício (Fleck; Kraemer, 2017). No entanto, podemos exemplificá-lo melhor quando o praticante realiza um determinado número de repetições e, após o descanso (sem fazer outro exercício), ele novamente realiza aquele número de repetições, que é denominado por duas séries ou mais seguidas para o mesmo exercício. (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Nesta revisão observou-se que também alguns artigos evidenciam o uso de série múltiplas nas suas pesquisas.

AGRUPADOS OU COMBINADOS (BI-SET, TRI-SET E SÉRIE GIGANTE OU SUPER SÉRIE)

Esses métodos/sistemas consistem em fazer exercícios agrupados ou combinados, através de dois ou mais, com o menor intervalo possível (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). O sistema de bi-set, também conhecido como “bi-série”, consiste na realização consecutiva de dois exercícios destinados ao mesmo grupamento muscular, com o menor intervalo possível entre eles. Após a execução dos dois exercícios, realiza-se um período de recuperação e, em seguida, a sequência é repetida. Esse processo é realizado pelo número de séries previamente estabelecido, geralmente três ou mais, mantendo-se intervalos mínimos entre os exercícios e períodos de recuperação apenas ao final de cada sequência (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). O sistema de tri-set segue a mesma lógica, porém envolve a realização consecutiva de três exercícios para o mesmo grupamento muscular, com intervalo mínimo entre eles. Da mesma forma, o sistema de série gigante caracteriza-se pela execução sequencial de quatro ou mais exercícios destinados ao mesmo grupamento muscular, realizando-se o intervalo de recuperação apenas após a conclusão de toda a sequência (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Vale endossar que esses métodos/sistemas, por muitas vezes, chegam à falha concêntrica em determinado exercício; isto devido ao grande estresse gerado, por diferentes formas,

nas musculaturas envolvidas (Salles; Pena, 2020). Durante esta revisão não foi visto com clareza o uso de nenhum desses sistemas/métodos.

DROPSET E STRIPSET

Métodos *dropset* e *strip* envolvem a relação de determinado exercício até a fadiga voluntária, que, normalmente, é dado pouco ou nenhum descanso entre as séries (Fleck; Kraemer, 2017).

O sistema *drop-set* pode ser realizado com diferentes números de repetições, sendo ajustado de acordo com os objetivos propostos no treinamento. Já o *strip-set* é considerado uma variação, ou mesmo uma progressão do *drop-set*, caracterizando-se pela realização de sucessivas reduções da carga ao longo da série. Em alguns casos, esse processo pode ser mantido até que a sobrecarga seja reduzida ao mínimo possível ou totalmente zerada (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). O objetivo desses métodos é manter o volume total de treinamento através da quantidade de repetições por série, buscando, por consequência, uma maior densidade e volume total de treino (Salles; Pena, 2020). Em consonância com esta pesquisa, não ficou evidente o uso desses métodos nos artigos revisados.

EXAUSTÃO OU ATÉ A FALHA

Este método é basicamente elucidado quando o praticante treina seu músculo até a exaustão muscular, ou seja, até a falha concêntrica (Salles; Pena, 2020). É importante ressaltar que este método, por um bom tempo, foi bastante utilizado por fisiculturistas e praticantes avançados do TF, mas, atualmente, uma gama de praticantes, induzido pelos seus professores de Educação Física, estão incorporando este sistema de treino nos seus programas de exercícios físicos (ACSM, 2009; (Salles; Pena, 2020). É importante destacar que a realização de uma série até a exaustão ou até a falha muscular refere-se à execução de repetições com técnica adequada até o momento em que o praticante não consegue completar outra repetição de forma correta. Esse ponto também pode ser denominado fadiga voluntária, uma vez que representa o limite momentâneo de desempenho durante o exercício (Fleck; Kraemer, 2017). Nesta pesquisa observou-se alguns artigos evidenciando com clareza este método.

SUPERLENTOS

Os sistemas superlentos são definidos através da execução de repetições que envolvem baixa velocidade. Conquanto pode ser usado em qualquer velocidade lenta, a literatura preconiza a cadência concêntrica superlenta entre dez segundos e excêntrica de quatro a cinco segundo, totalizando, em média, quinze segundo na ação total do movimento (Fleck; Kraemer, 2017). O sistema superlento combina movimentos muitos lentos, comparados aos métodos tradicionais e pode ser utilizado por vários objetivos do praticante (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Dentro desta pesquisa foi observado apenas um artigo que traz este método/sistema claramente nas suas discussões.

REPETIÇÕES PARCIAS

O método/sistema de repetições parciais é caracterizado pela execução do movimento com menor amplitude em cada série, o qual pode proporcionar através da redução da amplitude do movimento a utilização da intensidade da carga maior, que muitas das vezes não são alcançadas em amplitudes máximas. (Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Esses mesmos autores reforçam que o uso menor do arco do movimento poderá proporcionar um aumento da força máxima e uma atenção com mais ênfase em determinados ângulos de movimentos. Esse sistema, que tem como característica a execução do movimento em amplitudes articulares reduzidas, não foi identificado nos artigos analisados nesta revisão, não sendo observada sua utilização entre os estudos selecionados.

SISTEMA PIRÂMIDE

O método pirâmide foi desenvolvido por halterofilistas em 1940 e ele consiste na manipulação do peso de forma crescente e depois decrescente ou vice-versa (Salles; Pena, 2020). Ademais este sistema pode variar na maneira crescente ou decrescente das repetições executadas, envolvendo progressões do volume total de treinamento (Fleck; Kraemer, 2017). Logo, podemos dividir este método em pirâmide crescente – onde há a progressão de pesos leves para pesados com a diminuição das

séries – e a pirâmide decrescente que há a redução da carga durante a progressão das séries (Salles; Pena, 2020). Nesta revisão observamos apenas um artigo na utilização deste método, porém não ficou muito evidente qual tipo de pirâmide foi usado na pesquisa.

MÉTODO DA REPETIÇÃO FORÇADA

Este sistema de método acaba sendo uma extensão do método de série até falha, pois após o praticante ter completado uma série de exaustão, o companheiro de treino ou o professor de Educação Física o auxilia a erguer o peso ou a resistência, permitindo, portanto, a execução das repetições ou da série completa (Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Reitera-se que a ajuda deve ser fornecida, principalmente, próxima à amplitude de maior dificuldade, com a aplicação mínima de força do auxiliar (Salles; Pena, 2020). No que se refere aos artigos revisados, não foi observada a utilização desse método em nenhum dos estudos analisados.

MÉTODO “ROUBADA”

O sistema de roubada é muito popular entre os fisiculturistas e, como o nome já pressupõe, trata-se de “enganar” ou romper a técnica correta do exercício (Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Este método se aproxima de outros sistemas de treinamentos (método de repetições forçadas e exaustão), só que sua diferença se dá através do uso de outras articulações ou movimentos não envolvidos no exercício para ultrapassar a amplitude de maior dificuldade e, assim, buscar a extensão ou flexão do movimento por completo (Salles; Pena, 2020). Cabe ressaltar que a utilização desse método é mais indicada para praticantes avançados ou experientes em treinamento de força (TF). Isso porque a técnica da “roubada” consiste na utilização intencional e acentuada de outros segmentos corporais, como o tronco ou articulações auxiliares, para possibilitar a continuidade da execução do movimento após o surgimento da fadiga muscular. Dessa forma, indivíduos iniciantes ou mesmo intermediários podem apresentar maior risco de lesões ao empregar esse método, em razão da menor experiência técnica e do menor controle motor necessários para sua execução adequada. Os artigos revisados desta pesquisa não deixam claro o uso

deste método/sistema.

MÉTODO NEGATIVO OU EXCÊNTRICO

O método/sistema negativo ou excêntrico se dá durante o uso da parte negativa ou excêntrica do movimento, enquanto os músculos estão se alongando ativamente (Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Este método enfatizado na fase excêntrica do movimento e na busca do isolamento da fase concêntrica, acaba sendo muito interessante, pois, segundo Salles (2020), pode-se almejar, através dele, a melhora do desempenho, da força, da potência e da hipertrofia muscular. No que se refere a esta revisão integrativa, não foi possível identificar de forma clara a utilização desse método nos artigos analisados.

OCLUSÃO VASCULAR

O método de oclusão vascular, ou como também é conhecido, com treinamento com restrição do fluxo sanguíneo (RFS), se difundiu entre a década de 80 e recebeu uma grande atenção a partir dos anos 2000 (Fleck; Kraemer, 2017; Marchetti; Charro; Prestes, 2016). Este método se baseia numa técnica de treino que envolve o uso de um manguito estreito para comprimir a artéria principal que alimenta o musculo ou músculos, com o objetivo de diminuir o fluxo de sangue para os músculos que são treinados (Marchetti; Charro; Prestes, 2016).

Conforme Salles (2020), este sistema de treinamento, mesmo associado à baixíssimas cargas, pode resultar em ganhos expressivos na força e hipertrofia muscular. Com relação a esta revisão, observou-se que duas pesquisas trazem com clareza a utilização deste método/sistema de treinamento.

CIRCUITO

O sistema de circuito consiste na realização de uma sequência de exercícios físicos executados de forma sucessiva, com intervalos reduzidos entre as estações ou durante todo o treinamento (Fleck; Kraemer, 2017). Logo, este sistema é muito interessante para adequar ao horário de treinamento do indivíduo, fazendo com que ele não venha a ficar sem treinar devido seu curto tempo de treino disponível. O

objetivo deste sistema, além de adequar a horários de treinamento dos indivíduos, se dá na execução de diversos exercícios dentro de uma única sessão de treinamento, dando, consequentemente, mesmo com pouco tempo de treino, uma alta densidade do treinamento (Salles; Pena, 2020). Dentro desta revisão não ficou claro a utilização deste método nas pesquisas observadas.

SISTEMA BLITZ

Este método de treinamento consiste no treinamento de apenas um agrupamento muscular ou segmento corporal por sessão; ou seja, em vez de treinar diversas partes do corpo numa sessão, o indivíduo acaba treinando apenas uma parte em cada sessão de treinamento (Salles; Pena, 2020; Marchetti; Charro; Prestes, 2016). A ideia deste sistema perpassa por mais séries e exercícios por parte do corpo, proporcionando um maior volume de treino em determinado agrupamento ou segmento corporal (Salles; Pena, 2020). Nesta revisão feita, não ficou claro o uso deste sistema.

REST-PAUSE OU CLUSTER

Estes métodos são idênticos quando se estrutura pausas durante o treino. Exemplificando melhor, o *cluster set* se dá através de pausas entre as séries e entre as repetições. Já o método rest-pause é marcado por um curto período de descanso geralmente realizado ao final da primeira série, possibilitando a retomada do esforço em uma nova sequência de repetições (Salles; Pena, 2020). Esses sistemas acabam sendo muito práticos e versáteis, a fim de proporcionarem uma alta densidade do treinamento em curto período de tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta revisão, evidencia-se a necessidade de mais estudos na literatura brasileira sobre métodos e sistemas de treinamento de força, uma vez que a maioria dos artigos analisados não explicita de forma clara qual método ou sistema foi utilizado em suas intervenções. Por outro lado, alguns estudos se destacam por essa

preocupação metodológica, descrevendo com maior precisão as estratégias adotadas, como “série simples”, “oclusão vascular” e “treinamento até a exaustão”, entre outros. Essa heterogeneidade na descrição dos métodos reforça a importância de uma padronização mais rigorosa na apresentação das estratégias de treinamento nas pesquisas da área.

Outro ponto relevante a ser considerado é que os métodos explicitados nos estudos parecem ser escolhidos, em muitos casos, por permitirem maior controle e mensuração das variáveis de treinamento ao longo da pesquisa. Por exemplo, o treinamento até a exaustão não estabelece um número fixo de repetições, o que pode facilitar a padronização do esforço realizado entre os participantes. Em contrapartida, métodos mais tradicionais, como séries simples e séries múltiplas, apresentam maior previsibilidade e controle da carga prescrita, favorecendo a replicabilidade dos protocolos.

Cabe destacar que este trabalho buscou abranger o maior número possível de métodos e sistemas de treinamento de força descritos na literatura; no entanto, nem todos foram contemplados dentro dos critérios definidos para esta pesquisa.

Por fim, esta revisão integrativa traçou um perfil das publicações científicas nas quais o treinamento de força (TF) e seus métodos/sistemas são aplicados em diferentes contextos. Observou-se, contudo, que a utilização desses métodos ainda precisa ser descrita com maior clareza, de modo a orientar melhor a leitura dos estudos e favorecer o desenvolvimento de pesquisas futuras mais precisas sobre o tema.

REFERÊNCIAS

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. American College of Sports Medicine Position Stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 30, n. 6, p. 975-991, jun. 1998. DOI: 10.1097/00005768-199806000-00032. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00032>. Acesso em: 19 jun. 2026.

FLECK, Steven J.; KRAEMER, William J. **Fundamentos do treinamento de força muscular**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1999.

FLECK, Steven J.; KRAEMER, William J. **Fundamentos do treinamento de força muscular**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

IMPROTA-CARIA, Alex Cleber et al. Physical exercise and immune system: perspectives on the COVID-19 pandemic. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 67, supl. 1, p. 102-107, 2021. DOI: 10.1590/1806-9282.67.Suppl1.20200673. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9282.67.Suppl1.20200673>. Acesso em: 19 jun. 2026.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003.

NOZAKI, Hajime Takeuchi. **Educação física e reordenamento no mundo do trabalho: mediações da regulamentação da profissão**. 2004. 383 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

PRESTES, Jonato; FOSCHINI, Denis; MARCHETTI, Paulo; CHARRO, Mario; TIBANA, Ramires. **Prescrição e periodização do treinamento de força em academias**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2016.

SALLES, Belmiro Freitas de; PENA, Rodrigo. **Métodos de treinamento para força e hipertrofia: da prática à teoria**. 1. ed. Belo Horizonte: Livro na Mão, 2020.

TORRES, Thyerre; SILVA, Maguino Santos; GOMES, Jorge Medeiros; PINHO, Cristiano Silva; IMPROTA-CARIA, Alex Cleber; PITANGA, Francisco José Gondim. Variáveis do treinamento de força: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 10, e464101019291, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.19291. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.19291>. Acesso em: 19 jun. 2026.

**OS MECANISMOS MOLECULARES E CELULARES ENVOLVIDOS NA INVASÃO DO
TRYPANOSOMA CRUZI***The molecular and cellular mechanisms involved in Trypanosoma cruzi invasion*Valter Guilherme Costa de Almeida¹Zaqueu Jhones Góes Luz²Manassés Gonçalves Ché³Benedito Antônio do Nascimento Neto⁴Alexandre Franco dos Anjos⁵Arthur Souza Bittencourt⁶Taiana de Araújo Conceição⁷

¹ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
valteralmeida.adv@gmail.com

² UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
zaqueujhonesgoesluz@gmail.com

³ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
mangche15@gmail.com

⁴ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. CEP 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
benedito011006@gmail.com

⁵ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. CEP 44430-104. Graduando no curso de Medicina na UNIFACEMP.
alexandredranco04@outlook.com

⁶ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo. Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Graduando no curso de Medicina no UNIFACEMP.
arthursouzabitt1212@gmail.com

⁷ UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências Empresariais, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil, 44430-104. Bióloga - UEFS. Doutora em Microbiologia – Universidade de Évora.
taiana.conceicao@facemp.edu.br <http://lattes.cnpq.br/6182111364165634>

RESUMO

Trata-se de revisão bibliográfica qualitativa e descritiva que objetivou compreender os principais mecanismos moleculares e celulares envolvidos na interação entre o *Trypanosoma cruzi* e a célula hospedeira durante os processos de adesão, sinalização, internalização e multiplicação intracelular. As buscas foram realizadas nas bases PubMed/MEDLINE, SciELO e Google Acadêmico, selecionando-se estudos clássicos e produções contemporâneas publicadas até 2025. Identificou-se que a ancoragem inicial é mediada por glicoproteínas de superfície, como a gp82, e por mucinas, sendo regulada negativamente pela gp90. Tal adesão dispara uma cascata de sinalização dependente de cálcio intracelular, essencial ao rearranjo cortical da actina e ao recrutamento de lisossomos responsáveis pela exocitose que forma o vacúolo parasitóforo. Após a acidificação do vacúolo por bombas V-ATPase, o parasita escapa para o citosol pela ação da cruzaina e da proteína formadora de poros Tc-Tox, diferenciando-se em amastigotas que se multiplicam por fissão binária, com intenso estresse oxidativo, quebras na dupla fita de DNA e reprogramação epigenética que inibe a apoptose do hospedeiro. Conclui-se que o detalhamento dessas etapas e do tropismo tecidual elucidará a fisiopatologia inflamatória da fase crônica e aponta perspectivas para o desenvolvimento de alvos terapêuticos contra essa enfermidade negligenciada.

Palavras-chave: Doença de Chagas. *Trypanosoma cruzi*. Interação Parasito-Hospedeiro. Sinalização Celular. Invasão Celular.

ABSTRACT

This is a qualitative and descriptive literature review that aimed to understand the main molecular and cellular mechanisms involved in the interaction between *Trypanosoma cruzi* and the host cell during the processes of adhesion, signaling, internalization, and intracellular multiplication. Searches were conducted in the PubMed/MEDLINE, SciELO, and Google Scholar databases, selecting classic studies and contemporary works published up to 2025. It was identified that the initial anchoring is mediated by surface glycoproteins, such as gp82, and by mucins, being negatively regulated by gp90. This adhesion triggers an intracellular calcium-dependent signaling cascade, essential for the cortical rearrangement of actin and the recruitment of lysosomes responsible for the exocytosis that forms the parasitophorous vacuole. After acidification of the vacuole by V-ATPase pumps, the parasite escapes into the cytosol through the action of cruzipain and the pore-forming protein Tc-Tox, differentiating into amastigotes that multiply by binary fission, accompanied by intense oxidative stress, double-strand DNA breaks, and epigenetic reprogramming that inhibits host cell apoptosis. It is concluded that detailing these stages and tissue tropism elucidates the inflammatory pathophysiology of the chronic phase and points to perspectives for the development of therapeutic targets against this neglected disease.

Keywords: Chagas Disease. *Trypanosoma cruzi*. Host-Parasite Interaction. Cell Signaling. Cell Invasion.

INTRODUÇÃO

A doença de Chagas é causada pelo protozoário *Trypanosoma cruzi* e afeta milhões de pessoas ao redor do mundo, com uma alta taxa de mortalidade. A doença é de alto risco uma vez que sua ocorrência está associada ao baixo desenvolvimento econômico, principalmente no que tange às condições habitacionais precárias em áreas rurais e urbanas (DIAS *et al.*, 2016). Estima-se que entre 1,9 e 4,6 milhões de pessoas convivam com a doença de Chagas nas Américas, evidenciando sua relevância como problema de saúde pública. De acordo com o Ministério da Saúde, o diagnóstico da doença de Chagas na fase aguda baseia-se na avaliação dos sinais e sintomas clínicos associados à situação de risco epidemiológico. Na fase crônica, em que muitos indivíduos permanecem assintomáticos, torna-se fundamental investigar fatores de exposição, como residência em áreas endêmicas, moradia em habitações que favoreçam a presença do barbeiro e histórico familiar da doença. A confirmação diagnóstica é realizada por meio de exames laboratoriais de sangue disponibilizados pelo Sistema Único de Saúde (BRASIL, 2026).

Após a infecção, o *Trypanosoma cruzi* invade diferentes tipos celulares do hospedeiro, onde se diferencia e inicia sua multiplicação intracelular. Esse processo envolve etapas sucessivas de adesão à célula hospedeira, sinalização celular, internalização e replicação do parasito. A fisiopatologia da doença está diretamente relacionada ao tropismo tecidual do *T. cruzi* e à resposta inflamatória desencadeada

pela infecção. O acometimento predominante do tecido muscular, especialmente do miocárdio, pode resultar em alterações cardíacas progressivas, enquanto a lesão de neurônios do sistema nervoso entérico está associada ao desenvolvimento de manifestações digestivas, como megaesôfago e megacólon. (FRADE *et al.*, 2025).

Diante da relevância epidemiológica da doença de Chagas no Brasil e de seu potencial de disseminação associado às condições socioambientais, esta revisão bibliográfica teve como objetivo analisar os principais mecanismos moleculares e celulares envolvidos na interação entre *T. cruzi* e a célula hospedeira, abrangendo os processos de adesão, invasão celular, sobrevivência e multiplicação intracelular do parasito, bem como as alterações celulares decorrentes da infecção que contribuem para a patogênese.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo (PAGE *et al.*, 2021). O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de consultas em bases de dados indexadas e bibliotecas virtuais de relevância científica, incluindo PubMed/MEDLINE, SciELO e Google Acadêmico. Para a busca ativa de artigos científicos, periódicos, dissertações e teses, foram utilizados descritores combinados em língua portuguesa e inglesa, relacionados à doença de Chagas, invasão celular, interação parasito-hospedeiro, mecanismos de sinalização e internalização celular.

Foram incluídos artigos científicos originais, revisões de literatura, consensos e diretrizes em saúde, além de monografias acadêmicas diretamente associadas à infecção pelo *T. cruzi*. A seleção priorizou estudos clássicos amplamente estabelecidos na literatura científica, bem como produções contemporâneas publicadas até o ano de 2025, garantindo tanto o embasamento histórico quanto a atualização dos mecanismos fisiopatológicos propostos.

Foram excluídos trabalhos que não abordavam diretamente os aspectos fisiopatológicos, celulares e moleculares da invasão pelo parasito, assim como estudos que apenas tangenciavam o tema sem enfoque específico na interação parasito-hospedeiro.

Os dados obtidos a partir dos textos selecionados foram submetidos a uma análise de conteúdo integrativa, na qual as informações foram organizadas de forma

categórica para a construção do fluxo lógico do desenvolvimento do artigo.

A estrutura temática foi dividida em: reconhecimento e adesão celular; papel regulatório das glicoproteínas de superfície; cascatas de sinalização dependentes de cálcio intracelular; mecanismos de internalização e escape do vacúolo parasitóforo; impactos tardios da infecção, incluindo dano genotóxico; e estratégias de evasão imunológica desenvolvidas pelo parasito.

RESULTADOS

Reconhecimento e adesão à célula hospedeira

O *Trypanosoma cruzi*, enquanto agente etiológico da doença de Chagas, é um protozoário flagelado e intracelular cujo sucesso infeccioso depende da capacidade de invadir células do hospedeiro para sobreviver, multiplicar-se e perpetuar o ciclo (TYLER; ENGMAN, 2001; EPTING; COATES; ENGMAN, 2010). Esse processo não ocorre de forma aleatória, mas resulta de mecanismos moleculares específicos que articulam proteínas da superfície do parasita e alterações bioquímicas da célula-alvo. Macrófagos residentes, fibroblastos e células musculares constituem os principais alvos das formas tripomastigotas metacíclicas, e a diversidade de tipos celulares passíveis de infecção, fagocíticos e não fagocíticos, evidencia a notável plasticidade adaptativa do protozoário (ANDRADE; ANDREWS, 2005; SCHENKMAN; ROBBINS; NUSSENZWEIG, 1991).

A etapa inicial da invasão, fundamental para a infecção intracelular, consiste no reconhecimento da célula hospedeira e na posterior adesão do parasita à sua superfície (SCHENKMAN; ROBBINS; NUSSENZWEIG, 1991). Esse contato não é direto, mas mediado por moléculas presentes no glicocálix do tripomastigota, que reconhecem receptores e componentes da matriz extracelular, promovendo a fixação física do parasita. (SANT'ANNA; PARRAVANO, 2022). Entre essas moléculas, as mucinas se destacam na relação parasito-hospedeiro: ricas em resíduos de ácido siálico, ligam-se diretamente a integrinas e à fibronectina, favorecendo a ancoragem inicial por interações hidrofóbicas e eletrostáticas (CORTEZ *et al.*, 2012). Em paralelo, o parasita libera vesículas extracelulares contendo fatores de virulência e enzimas proteolíticas, como a cruzaina e transsiali-

dases, que clivam proteínas da matriz e desorganizam a lâmina basal, convertendo o contato mecânico primário em uma interface aberta à sinalização celular (TORRECILHAS *et al.*, 2020; SANT'ANNA; PARRAVANO, 2022).

Tropismo tecidual

Embora o *T. cruzi* invada *in vitro* praticamente todas as linhagens celulares nucleadas, o seu comportamento *in vivo* se diferencia ao apresentar um tropismo seletivo que varia com as fases clínicas da doença. Na fase aguda, há predileção por células fagocíticas mononucleares, células endoteliais e fibroblastos dérmicos na porta de entrada, colonização que funciona como plataforma para evadir a resposta imune inata precoce e alcançar as vias de disseminação hematogênica e linfática. À medida que a imunidade adaptativa elimina os parasitas circulantes, o tropismo se restringe a tecidos de baixa renovação e alta atividade metabólica, marcando a transição para a fase crônica, na qual o parasita exibe predileção por cardiomiócitos e células musculares lisas do esôfago e do cólon, em razão da afinidade pelo grupo heme e por receptores de matriz dessas regiões (BURLEIGH; ANDREWS, 1998; FRADE *et al.*, 2025; TYLER; ENGMAN, 2001; YOSHIDA, 2006).

O tropismo nesses tecidos acarreta um processo inflamatório degenerativo que destrói a arquitetura tecidual e os plexos neuronais mioentéricos, enquanto marcadores clássicos da doença, como a miocardiopatia chagásica crônica e as megassíndromes digestivas (BERN *et al.*, 2019). A carga parasitária atua como principal determinante prognóstico, ou seja, a magnitude do dano observado na fase crônica está correlacionada à densidade parasitária que coloniza os tecidos na fase aguda, quando a ruptura simultânea de numerosas células gera focos de necrose e cicatrizes fibróticas que comprometem a função mecânica e a condução elétrica dos órgãos (JANSEN *et al.*, 2018). Na fase crônica, ainda que a parasitemia periférica caia a níveis quase indetectáveis, a persistência de ninhos amastigotas ocultos no miocárdio mantém estímulo antigênico contínuo, atraindo infiltrado de linfócitos T CD8+ que, ao tentar eliminar os parasitas remanescentes, lesa progressivamente as células vizinhas saudáveis por injúria imunológica colateral (GÓMEZ *et al.*, 2021).

Cinética da infecção: Glicoproteínas de superfície e regulação da afinidade celular

A ancoragem das glicoproteínas à membrana é assegurada pelo glicosilfosfatidilinositol (GPI), âncora que participa da organização de microdomínios lipídicos do tipo balsas lipídicas e modula a fluidez da membrana, atuando como elemento inicial dos eventos parasito-hospedeiro (BROWN; WANECK, 1992; KENWORTHY *et al.*, 2004). O genoma do *T. cruzi* reflete a complexidade desse repertório: cerca de metade de sua sequência codifica proteínas de superfície, entre elas a protease gp63, a superfamília gp85/trans-sialidase, mucinas e proteínas associadas a mucinas (ALVES; COLLI, 2008).

Entre os mediadores moleculares da invasão, sobressaem as glicoproteínas gp82, gp90, as mucinas e as trans-sialidases, que regulam a adesão, a ativação de sinais intracelulares e a internalização do parasita. A gp82 é particularmente relevante na forma metacítica, responsável pelo início da infecção em mamíferos: ao ligar-se à proteína de membrana lisossomal LAMP-1, induz mecanismos intracelulares que culminam na mobilização de cálcio e na reorganização do citoesqueleto, favorecendo a internalização (CORTEZ *et al.*, 2014; YOSHIDA, 2006). Por outro lado, a gp90 se comporta como reguladora negativa, reduzindo a eficiência de entrada do protozoário (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Essa oposição funcional demonstra que a invasão depende de mecanismos regulatórios capazes de modular a intensidade da infecção (CORTEZ *et al.*, 2012). Soma-se a isso a ação das mucinas e trans-sialidases na interação com os tecidos do hospedeiro atributo que amplia a capacidade do parasita de colonizar diferentes tecidos (BUSCAGLIA *et al.*, 2006). A diversidade de cepas, com distintos potenciais de invasão associados à variação dessas moléculas de superfície, ajuda a explicar a heterogeneidade clínica observada nos pacientes (BARROS *et al.*, 2012).

A variabilidade genética do protozoário, que permite alterações nas proteínas de superfície envolvidas na interação com as células, torna a resposta defensiva menos eficiente (FREITAS *et al.*, 2011). O parasita ainda modula parcialmente a resposta inflamatória, interferindo na produção de mediadores e favorecendo a persistência por longos períodos, o que ajuda a explicar a permanência assintomática de muitos indivíduos infectados durante anos (SCHMUNIS; YADON, 2010).

Cinética da infecção: Sinalização por cálcio intracelular

Estabelecida a adesão, o *T. cruzi* precisa gerar sinais na célula hospedeira para viabilizar sua entrada, sobretudo em células não fagocíticas como fibroblastos e cardiomiócitos (BURLEIGH; ANDREWS, 1998). O evento central dessa fase é a mobilização transitória de cálcio intracelular, que tanto no parasita quanto na célula desencadeia cascatas bioquímicas facilitadoras da internalização (SCHENKMAN; ROBBINS; NUSSENZWEIG, 1991; YOSHIDA, 2006). O acoplamento de ligantes como a gp82 a receptores de membrana associados à proteína G ativa a fosfolipase C, que cliva o fosfatidilinositol 4,5-bifosfato (PIP₂) e gera os segundos mensageiros diacilglicerol e inositol 1,4,5-trifosfato (IP₃); este último liga-se a seus receptores no retículo endoplasmático, promovendo o efluxo de cálcio para o citoplasma (SANT'ANNA; PARRAVANO, 2022).

O parasita dispõe ainda de uma via independente de sinalização: a oligopeptidase B presente em seu citoplasma que não invade diretamente a célula, mas gera um agonista que se liga à superfície do hospedeiro e ativa a cascata dependente de cálcio mediada por adenilato ciclase e fosfolipase C (BURLEIGH; ANDREWS, 1998; SANT'ANNA; PARRAVANO, 2022; YOSHIDA, 2006). Inibidores de protease que ocorrem naturalmente e a geração de cininas, com formação do receptor de bradicinina por meio da fosfolipase C e do IP₃, reforçam esse impulso à invasão (ALVES; COLLI, 2008). A elevação do cálcio citosólico ativa proteínas dependentes de calmodulina que fosforilam proteínas motoras, como a miosina, e recrutam cinesinas para o tráfego de lisossomos perinucleares em direção à membrana plasmática (BURLEIGH; ANDREWS, 1998).

O cálcio também viabiliza o remodelamento do citoesqueleto necessário ao acesso lisossomal. Em condições basais, a rede cortical de actina funciona como barreira física à fusão vesicular; a elevação do cálcio ativa a gelsolina, enzima que cliva os filamentos de F-actina em G-actina solúvel, rompendo localmente essa barreira e permitindo que os lisossomos alcancem o domínio interno da membrana, onde proteínas SNARE se acoplam de modo mediado pela sinaptotagmina 7 (BURLEIGH; ANDREWS, 1998).

Internalização e multiplicação celular

A elevação dos níveis intracelulares de cálcio desencadeia o recrutamento direcionado de lisossomos para o sítio de interação entre o parasito e a célula hospedeira. A subsequente fusão dessas organelas com a membrana plasmática fornece membrana adicional para a formação do vacúolo de entrada, favorecendo a internalização do *Trypanosoma cruzi* e sua progressão no processo invasivo (FERRI; EDREIRA, 2021). Desse processo resulta o vacúolo parasitóforo, estrutura derivada da membrana do hospedeiro e da fusão com lisossomos, que inicialmente isola o protozoário do citoplasma e o protege da destruição imediata. A retenção do parasita no interior da célula depende criticamente dessa fusão lisossomal (ANDRADE; ANDREWS, 2004; SCHENKMAN; ROBBINS; NUSSENZWEIG, 1991).

A permanência no vacúolo é breve. Entre quinze minutos e duas horas após a entrada, a membrana vacuolar é desfeita e o parasita alcança o citosol. O rompimento decorre da formação lenta de poros e exige um ambiente ácido: bombas V-ATPase do hospedeiro hidrolisam ATP e bombeiam prótons para o lúmen vacuolar, reduzindo o pH a faixas em torno de 4,5 a 5,5. Nesse meio ácido, a cruzaina sofre alteração conformacional e a proteína Tc-Tox, secretada pelo tripomastigota e dotada de atividade formadora de poros, digere lipídios e glicoproteínas da face interna da membrana vacuolar, gerando lise osmótica que libera o protozoário no citoplasma (BURLEIGH; ANDREWS, 1998; SANT'ANNA; PARRAVANO, 2022). Diferentemente de outros protozoários intracelulares, o *T. cruzi* escapa rapidamente do vacúolo, etapa essencial para evitar sua degradação e dar continuidade ao ciclo (WOOLSEY *et al.*, 2003).

Já no citosol, o parasita converte-se da forma tripomastigota para a forma amastigota, dotada de elevada capacidade replicativa e essencial à manutenção da infecção (TYLER; ENGMAN, 2001). A multiplicação dá-se por fissão binária, em ciclos de aproximadamente quinze a dezoito horas, com aproveitamento dos nutrientes celulares. O ápice da disseminação ocorre após sucessivas divisões, quando as amastigotas-filhas se rediferenciam em tripomastigotas (ANDRADE; ANDREWS, 2005; EPTING; COATES; ENGMAN, 2010). O escape para o citoplasma é acompanhado de aumento no consumo de glicose e na produção de energia, além da ativação de vias de sinalização MAPK relacionadas ao crescimento e à diferenciação;

nesse contexto, proteínas transportadoras de ferro tornam-se essenciais à replicação tanto em macrófagos quanto em células não fagocíticas (ANDRADE; ANDREWS, 2005). Com o avanço da infecção, a ruptura celular libera novas formas tripomastigotas que infectam células vizinhas e perpetuam o ciclo (SCHMUNIS; YADON, 2010). Essa destruição tecidual contínua sustenta processos inflamatórios persistentes e relaciona-se diretamente às manifestações cardíacas e digestivas observadas na fase crônica da doença (EPTING; COATES; ENGMAN, 2010).

Consequências intracelulares da infecção por *Trypanosoma Cruzii*

A sinalização desencadeada pela infecção ultrapassa as vias do citoesqueleto e alcança o compartimento nuclear, comprometendo a integridade genômica da célula. Durante a infecção por *Trypanosoma cruzi*, as células hospedeiras liberam citocinas pró-inflamatórias e desencadeiam uma intensa produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o ânion superóxido (O_2^-), caracterizando um importante *burst* oxidativo na tentativa de controlar a proliferação do parasita. (GUIMARÃES-PINTO *et al.*, 2022)

Além disso, a infecção ativa vias de estresse inflamatório que promovem quebras na dupla fita de DNA, evidenciadas pela rápida fosforilação da histona H2AX, marcador molecular clássico desse tipo de lesão. O dano intensifica o aumento de espécies reativas de oxigênio e de óxido nítrico, induzidos pela ativação da NADPH oxidase mitocondrial e da óxido nítrico sintase em resposta ao patógeno, impondo à célula um estado de instabilidade molecular (FRADE *et al.*, 2025; GÓMEZ *et al.*, 2021; GUIMARÃES-PINTO *et al.*, 2022).

Desse modo, quando essa produção excede a capacidade dos sistemas antioxidantes celulares, os danos oxidativos acumulam-se e podem atingir proteínas, lipídios e o DNA. Nessas condições, lesões genéticas podem ser induzidas e, ao serem detectadas pela proteína p53, desencadeiam mecanismos de interrupção do ciclo celular para impedir a propagação de mutações. Contudo, quando o dano celular persiste, muitas células entram em estado de senescência, permanecendo metabolicamente ativas e atuando como fontes contínuas de espécies reativas de oxigênio. Dessa forma, contribuem para a manutenção do estresse oxidativo e para a disseminação de efeitos deletérios às células vizinhas. (GUIMARÃES-PINTO *et al.*, 2022).

Além do dano estrutural, o parasita exerce controle funcional sobre o núcleo do hospedeiro por meio de modificações epigenéticas coordenadas. A presença intracelular do *T. Cruzi* altera o equilíbrio entre histonas acetiltransferases e desacetilases, modificando resíduos das caudas aminoterminais das histonas centrais: a desacetilação e a metilação de lisinas condensam a cromatina e silenciam genes pró-inflamatórios e quimiocinas, enquanto a acetilação compensatória da histona H4 expõe promotores específicos que permitem a ligação de fatores de transcrição e o recrutamento da RNA-polimerase II para a expressão de genes de sobrevivência celular. Os transcritos resultantes, traduzidos nos ribossomos do hospedeiro, incluem proteínas antiapoptóticas como a Bcl-2, que bloqueiam a oligomerização de proteínas pró-apoptóticas, preservam a integridade mitocondrial e impedem a ativação das caspases executoras; assim, a reprogramação epigenética e traducional inibe a apoptose e converte a célula invadida em ambiente viável para a intensa proliferação dos amastigotas. (PEREIRA *et al.*, 2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo proporcionou traçar um panorama detalhado da maquinaria molecular envolvida na interação entre o *Trypanosoma cruzi* e a célula hospedeira. O sucesso infeccioso do parasito não decorre de eventos aleatórios, mas sim de uma interação bioquímica altamente coordenada, capaz de subjugar diferentes tipos celulares, sejam eles fagocíticos ou não fagocíticos.

A literatura revisada demonstrou que a interface inicial de adesão, mediada por glicoproteínas de superfície essenciais, como a gp82, e negativamente regulada pela gp90, funciona como um gatilho indispensável para o desencadeamento das cascatas de sinalização intracelular. Nesse contexto, a mobilização do cálcio intracelular ganha destaque como um dos principais pontos centrais da invasão, sendo responsável pela reorganização do citoesqueleto da célula hospedeira e pelo recrutamento da exocitose lisossomal necessária para a formação do vacúolo parasitóforo.

Ademais, o estudo reforça a elevada capacidade adaptativa do *T. cruzi* ao detalhar o rápido escape do ambiente ácido vacuolar em direção ao citosol, local onde sua replicação intracelular é assegurada por mecanismos de evasão imunológica, modulação metabólica e alterações epigenéticas e genotóxicas no núcleo da célula hospedeira.

O recrutamento e a unificação desses achados teóricos preenchem uma lacuna essencial para a compreensão global da biologia do parasito e da fisiopatologia da doença de Chagas. A identificação precisa de cada etapa molecular envolvida na invasão celular e no tropismo tecidual não apenas auxilia na compreensão da heterogeneidade clínica e do caráter inflamatório-progressivo da fase crônica da doença, mas também direciona futuras perspectivas para o desenvolvimento de alvos terapêuticos inovadores.

Por fim, ante ao impacto contínuo da doença de Chagas como uma enfermidade negligenciada que perpetua ciclos de vulnerabilidade socioeconômica, o aprofundamento das pesquisas em biologia celular, molecular e imunopatologia permanece como uma necessidade urgente para a saúde pública global, especialmente em países endêmicos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maria Júlia M.; COLLI, Walter. Role of the gp85/trans-sialidase superfamily of glycoproteins in the interaction of *Trypanosoma cruzi* with host structures. In: **Molecular Mechanisms of Parasite Invasion**. New York: Springer, 2008. 58-69. DOI: 10.1007/978-0-387-78267-6_4. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18512341/> Acesso em: 18 junho 2026.

ANDRADE, Luciana O.; ANDREWS, Norma W. Lysosomal fusion is essential for the retention of *Trypanosoma cruzi* inside host cells. **The Journal of Experimental Medicine**, v. 200, n. 9, p. 1135-1143, 2004. DOI: 10.1084/jem.20041408. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15520245/> Acesso em: 18 junho 2026.

ANDRADE, Luciana O.; ANDREWS, Norma W. The *Trypanosoma cruzi*-host-cell interplay: location, invasion, retention. **Nature Reviews Microbiology**, v. 3, n. 10, p. 819-823, 2005. DOI: 10.1038/nrmicro1249. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16175174/> Acesso em: 18 junho 2026.

BARROS, M. P. *et al.* Mecanismos específicos de patogenicidade de protozoários intracelulares. **Revista Liberato**, 2012. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/revista/article/view/183/173> Acesso em: 18 junho 2026.

BERN, Cary *et al.* Chagas disease in the United States: a public health approach. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 32, n. 4, e00031-18, 2019. DOI: 10.1128/CMR.00031-18. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9035085/> Acesso em: 18 junho 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Doença de Chagas**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [s.d.]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/22doenca_chagas.pdf Acesso em: 6

BROWN, D.; WANECK, G. L. Glycosyl-phosphatidylinositol-anchored membrane proteins. **Journal of the American Society of Nephrology**, v. 3, n. 4, p. 895-906, 1992. DOI: 10.1681/ASN.V34895. Disponível em: <https://www.ovid.com/jnls/jasn/abstract/10.1681/asn.v34895~glycosyl-phosphatidylinositol-anchored-membrane-proteins>. Acesso em: 18 jun. 2026.

BURLEIGH, B. A.; ANDREWS, N. W. Signaling and host cell invasion by *Trypanosoma cruzi*. **Current Opinion in Microbiology**, v. 1, n. 4, p. 461-465, 1998. DOI: 10.1016/S1369-5274(98)80066-0. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10066513/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

BUSCAGLIA, C. A.; CAMPO, V. A.; FRASCH, A. C. C.; DI NOIA, J. M. *Trypanosoma cruzi* surface mucins: host-dependent coat diversity. **Nature Reviews Microbiology**, v. 4, n. 3, p. 229-236, 2006. DOI: 10.1038/nrmicro1351. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16489349/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

CORTEZ, C.; YOSHIDA, N.; BAHIA, D.; SOBREIRA, T. J. P. Structural basis of the interaction of a *Trypanosoma cruzi* surface molecule implicated in oral infection with host cells and gastric mucin. **PLoS One**, v. 7, n. 7, e42153, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0042153. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22860068/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

CORTEZ, C.; SOBREIRA, T. J. P.; MAEDA, F. Y.; YOSHIDA, N. The gp82 surface molecule of *Trypanosoma cruzi* metacyclic forms. In: American Trypanosomiasis Chagas Disease. **Subcellular Biochemistry**, v. 74, p. 137-150, 2014. DOI: 10.1007/978-94-007-7305-9_6. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24264244/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

DIAS, J. C. P. *et al.* 2nd Brazilian Consensus on Chagas Disease, 2015. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 49, supl. 1, p. 3-60, 2016. DOI: 10.1590/0037-8682-0505-2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27982292/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

EPTING, C. L.; COATES, B. M.; ENGMAN, D. M. Molecular mechanisms of host cell invasion by *Trypanosoma cruzi*. **Experimental Parasitology**, [S. l.], v. 126, n. 3, p. 302-307, nov. 2010. DOI: 10.1016/j.exppara.2010.06.023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20603123/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

FERRI, G.; EDREIRA, M. M. All Roads Lead to Cytosol: *Trypanosoma cruzi* Multi-Strategic Approach to Invasion. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, Lausanne, v. 11, art. 634793, p. 1-13, mar. 2021. DOI: 10.3389/fcimb.2021.634793. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7973469/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

FRADE, Amanda Farage *et al.* Cardiac and digestive forms of Chagas disease: an update on pathogenesis, genetics, and therapeutic targets. **Mediators of Inflammation**, [S. l.], v. 2025, art. 8862004, p. 1-15, 2025. DOI: 10.1155/MI/8862004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39832104/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

FREITAS, J. M. *et al.* Variabilidade genética e evasão imune em *Trypanosoma cruzi*. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Uberaba, v. 44, n. 3, p. 291-298, maio/jun. 2011. DOI: 10.1590/S0037-86822011000300005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21698285/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

GÓMEZ, I. C. *et al.* Host-parasite interactions in Chagas disease: mechanisms of heart damage. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 12, art. 620556, p. 1-17, abr. 2021. DOI: 10.3389/fmicb.2021.620556. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33936005/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

GUIMARÃES-PINTO, K.; FERREIRA, J. R. M.; COSTA, A. L. A. da; MORROT, A.; FREIRE-DE-LIMA, L.; DECOTE-RICARDO, D.; FREIRE-DE-LIMA, C. G.; FILARDY, A. A. Cellular Stress and Senescence Induction during *Trypanosoma cruzi* Infection. **Tropical Medicine and Infectious Disease**, v. 7, n. 7, p. 129, 2022. DOI: 10.3390/tropicalmed7070129. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35878141/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

JANSEN, A. M. *et al.* *Trypanosoma cruzi* biology, ecology, and transmission. **Molecular Microbiology**, Oxford, v. 107, n. 4, p. 410-422, fev. 2018. DOI: 10.1111/mmi.13902. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29318683/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

KENWORTHY, A. K. *et al.* Dynamics of putative raft-associated proteins at the cell surface. **The Journal of Cell Biology**, Nova York, v. 165, n. 5, p. 735-746, jun. 2004. DOI: 10.1083/jcb.200312168. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15184402/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

PAGE, Matthew J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, [S. l.], v. 372, n. n71, p. 1–9, 29 mar. 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33782057/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

PEREIRA, M. C. *et al.* Epigenetic alterations induced by *Trypanosoma cruzi* infection in host cells. **Parasites & Vectors**, v. 16, n. 1, p. 112, 2023. DOI: 10.1186/s13071-023-05742-1.

RODRIGUES, J. P. F.; SANT'ANA, G. H. T.; JULIANO, M. A.; YOSHIDA, N. Inhibition of host cell lysosome spreading by *Trypanosoma cruzi* metacyclic stage-specific surface molecule gp90 downregulates parasite invasion. **Infection and Immunity**, v. 85, n. 9, e00302-17, 2017. DOI: 10.1128/IAI.00302-17. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28607099/>. Acesso em: 24 maio 2026.

SANT'ANNA, J.; PARRAVANO, R. A. *Trypanosoma cruzi, a interação entre o parasita e a célula hospedeira*. São Paulo, 2022. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Centro Universitário São Camilo, São Paulo, 2022. Disponível em: <http://repo.saocamilo-sp.br:8080/dspace/handle/123456789/1322>. Acesso em: 24 maio 2026.

SCHENKMAN, S.; ROBBINS, E. S.; NUSSENZWEIG, V. Attachment of *Trypanosoma cruzi* to mammalian cells requires parasite energy, and invasion can be independent of the target cell cytoskeleton. **Infection and Immunity**, v. 59, n. 2, p. 645-654, 1991. DOI: 10.1128/iai.59.2.645-654.1991. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1987081/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

SCHMUNIS, G. A.; YADON, Z. E. Chagas disease: a Latin American health problem becoming a world health problem. **Acta Tropica**, v. 115, n. 1-2, p. 14-21, 2010. DOI: 10.1016/j.actatropica.2009.11.003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19932071/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

TORRECILHAS, A. C.; SOARES, R. P.; SCHENKMAN, S.; FERNÁNDEZ-PRADA, C.; OLIVIER, M. Extracellular Vesicles in Trypanosomatids: Host Cell Communication. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 10, p. 602502, 2020. DOI: 10.3389/fcimb.2020.602502. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33381465/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

TYLER, K. M.; ENGMAN, D. M. The life cycle of *Trypanosoma cruzi* revisited. **International Journal for Parasitology**, v. 31, n. 5-6, p. 472-481, 2001. DOI: 10.1016/S0020-7519(01)00153-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11334932/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

WOOLSEY, A. M.; SUNWOO, L.; PETERSEN, C. A.; BRACHMANN, S. M.; CANTLEY, L. C.; BURLEIGH, B. A. Novel PI 3-kinase-dependent mechanisms of trypanosome invasion and vacuole maturation. **Journal of Cell Science**, v. 116, n. 17, p. 3611-3622, 2003. DOI: 10.1242/jcs.00666. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12876217/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

YOSHIDA, N. Molecular basis of mammalian cell invasion by *Trypanosoma cruzi*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 1, p. 87-111, 2006. DOI: 10.1590/S0001-37652006000100010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16532210/>. Acesso em: 18 jun. 2026.



UNIFACEMP – Centro Universitário de Ciências e Empreendedorismo
Praça Renato Machado, 10 C – Centro – Santo Antônio de Jesus – BA
www.unifacemp.edu.br
(75) 3162-7600