

Maturação biológica, carga de treinamento e risco de lesão no futebol de base: Uma revisão integrativa sobre desempenho, adaptações ao esforço e estratégias de desenvolvimento esportivo seguras em atletas jovens

Biological maturation, training load, and injury risk in youth soccer: An integrative review on performance, exercise-induced adaptations, and safe sport development strategies in young athletes

Maduración biológica, carga de entrenamiento y riesgo de lesión en el fútbol formativo: Una revisión integrativa sobre el rendimiento, las adaptaciones al esfuerzo y las estrategias seguras de desarrollo deportivo en atletas jóvenes

Recebido: 14/01/2026 | Revisado: 18/01/2026 | Aceitado: 18/01/2026 | Publicado: 19/01/2026

Victor Vicente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0600-5529>

Grêmio Novorizontino SAF, Brasil

E-mail: victorvicente2000@gmail.com

Thiago Fernando Lourenço

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1518-9021>

Faculdade São Leopoldo Mandic, Brasil

E-mail: thiago.fernando.lourenco@outlook.com

Resumo

A presente revisão integrativa teve como objetivo analisar a influência da maturação biológica na prescrição das cargas de treinamento e no risco de lesões em atletas do futebol de base. A busca foi realizada nas bases PubMed, SciELO e LILACS, considerando estudos publicados entre 2015 e 2025, com amostras compostas por atletas do sexo masculino, entre as categorias Sub-11 e Sub-23. Foram incluídos 31 estudos que abordaram aspectos fisiológicos, biomecânicos e perceptivos relacionados ao estágio maturacional. Os achados indicam que a maturação exerce impacto significativo nas respostas neuromusculares, adaptações ao treinamento, percepção de esforço e suscetibilidade a lesões. O período circa-PVC foi identificado como uma janela crítica, exigindo controle rigoroso das cargas e protocolos de exercício individualizados. Estratégias como *bio-banding*, classificação maturacional e ajuste de carga com base em indicadores subjetivos e objetivos mostraram-se eficazes para mitigar riscos e otimizar o desenvolvimento atlético de longo prazo. Conclui-se que a consideração do estágio maturacional é essencial para uma prescrição segura e eficiente, devendo substituir abordagens baseadas exclusivamente na idade cronológica no contexto do futebol de base.

Palavras-chave: Crescimento e Desenvolvimento; Treinamento; Lesões Esportivas; Futebol.

Abstract

This integrative review aimed to analyze the influence of biological maturation on training load prescription and injury risk in youth soccer athletes. The literature search was conducted in the PubMed, SciELO, and LILACS databases, including studies published between 2015 and 2025, with samples composed of male athletes from the U-11 to U-23 categories. A total of 31 studies were included, addressing physiological, biomechanical, and perceptual aspects related to maturational stage. The findings indicate that maturation significantly impacts neuromuscular responses, training adaptations, perceived exertion, and injury susceptibility. The circa-PHV period was identified as a critical window, requiring strict load management and individualized exercise protocols. Strategies such as *bio-banding*, maturational classification, and load adjustments based on both subjective and objective indicators proved effective in mitigating risks and optimizing long-term athletic development. It is concluded that considering maturational stage is essential for safe and effective training prescription and should replace approaches based solely on chronological age in youth soccer contexts.

Keywords: Growth and Development; Training; Athletic Injuries; Soccer.

Resumen

Esta revisión integrativa tuvo como objetivo analizar la influencia de la maduración biológica en la prescripción de la carga de entrenamiento y el riesgo de lesión en futbolistas jóvenes. La búsqueda de la literatura se llevó a cabo en las bases de datos PubMed, SciELO y LILACS, incluyendo estudios publicados entre 2015 y 2025, con muestras compuestas por atletas masculinos de las categorías Sub-11 a Sub-23. Se incluyeron un total de 31 estudios, los cuales abordaron aspectos fisiológicos, biomecánicos y perceptivos relacionados con el estadio de maduración. Los resultados indican que la maduración impacta significativamente las respuestas neuromusculares, las adaptaciones al entrenamiento, la percepción del esfuerzo y la susceptibilidad a las lesiones. El período *circa-PHV* fue identificado como una ventana crítica, que requiere una gestión estricta de la carga y protocolos de ejercicio individualizados. Estrategias como el *bio-banding*, la clasificación madurativa y los ajustes de carga basados tanto en indicadores subjetivos como objetivos demostraron ser eficaces para mitigar riesgos y optimizar el desarrollo deportivo a largo plazo. Se concluye que la consideración del estadio de maduración es esencial para una prescripción del entrenamiento segura y eficaz, y que debería reemplazar los enfoques basados únicamente en la edad cronológica en contextos de fútbol formativo.

Palabras clave: Crecimiento y Desarrollo; Entrenamiento; Traumatismos en Atletas; Fútbol.

1. Introdução

Antes de abordar especificamente o cenário do futebol de base, é fundamental compreender a importância desse segmento no contexto esportivo e científico. As categorias formativas não apenas servem como espaço de desenvolvimento de talentos, mas também como ambiente de experimentação e aplicação de metodologias que visam maximizar o desenvolvimento atlético e técnico, respeitando as individualidades do crescimento e da maturação biológica. Essa etapa da formação exige um equilíbrio minucioso entre desempenho e segurança, considerando que decisões tomadas nesse período podem influenciar significativamente a trajetória esportiva e a saúde do atleta ao longo da vida. É a partir dessa perspectiva que se torna relevante contextualizar o futebol de base no cenário atual, identificando os desafios e oportunidades que embasam a presente investigação.

1.1 Contextualização do futebol de base no cenário atual

O futebol é um fenômeno complexo composto por fatores técnicos, táticos, biomecânicos, psicossociais e fisiológicos, sendo um dos esportes mais populares do mundo (Stølen et al., 2005). Considerando a grande quantidade de clubes ao redor do mundo e a grande diversidade de atletas inseridos desde as categorias de base até a profissionalização, o processo de seleção de talentos e os investimentos no futebol de formação vem ganhando notória prioridade em clubes pelos diversos benefícios no âmbito econômico e competitivo que podem ser gerados para as instituições (Relvas et al., 2010).

Estudos recentes demonstram uma evolução para processos de identificação de talentos que sejam multifacetados e holísticos, visando a captação de jovens promissores que possam atuar pela equipe profissional e outros que talvez não atuem pela equipe, mas que ainda assim possuem valor de mercado para serem vendidos ou negociados com lucro para outras equipes (Reeves & Roberts, 2020).

A crescente profissionalização desses programas de formação visando alcançar os objetivos expostos anteriormente de forma precoce tem levado adolescentes a serem expostos a cargas de treinamento intensas e rotinas competitivas semelhantes às do futebol profissional, frequentemente sem a devida consideração às suas particularidades biológicas como gênero, idade e estado maturacional, além do tempo de treinamento na modalidade, promovendo uma especialização precoce (Lloyd et al., 2016). Essa realidade levanta questionamentos importantes sobre a adequação da prescrição de carga em populações com variabilidade maturacional significativa e quais são as respostas provocadas pelo treinamento à essa população quando comparado aos efeitos oriundos do processo de desenvolvimento maturacional.

1.2 Importância do desenvolvimento físico e da carga de treinamento na formação atlética

Atletas em estágios avançados de maturação biológica tendem a apresentar desempenhos superiores em diversas capacidades biomotoras quando comparados àqueles que se encontram em estágios maturacionais mais tardios (Vega et al., 2024; Albaladejo-Saura et al., 2022). No entanto, é inadequado adotar uma abordagem linear e não individualizada na prescrição de cargas de treinamento, desconsiderando a complexidade e variabilidade interindividual desse processo. A maturação é um fenômeno multifatorial e dinâmico, exigindo diferentes intervenções adaptadas ao perfil biológico e funcional de cada indivíduo (Read et al., 2018).

A produção hormonal durante a puberdade, sobretudo de androgênios como a testosterona, desempenha papel crucial no desenvolvimento de capacidades físicas relacionadas a fatores neuromusculares, como o aumento da força, potência e hipertrofia, podendo ser influenciada negativamente pela prescrição inadequada da carga de treinamento, comprometendo o eixo hipotálamo-hipófise-gonadal e consequentemente reduzindo os níveis de testosterona, causando alterações significativas na razão testosterona/cortisol (Sekine, 2024). Além da testosterona, hormônios como a androstenediona e a dehidroepiandrosterona (DHEA) também participam do processo de diferenciação sexual e maturação física. Paralelamente, hormônios anabólicos como o hormônio do crescimento (GH) e o fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1 (IGF-1) estão diretamente envolvidos nas vias de sinalização relacionadas a síntese proteica, na hipertrofia muscular, na recuperação tecidual e na adaptação ao treinamento, destacando a qualidade do sono como um fator imprescindível para que estes processos listados anteriormente ocorram de forma adequada (Nemet et al., 2002; Patel et al., 2024). A prescrição inadequada da carga de treinamento pode promover ao organismo um perfil metabólico pró-inflamatório com o aumento da concentração séricas de citocinas como TNF- α , IL-6, IL-1 β , IL-1ra sendo citocinas com ação inibidora do eixo GH/IGF-1 e IGFBPs, aumentando as respostas catabólicas em relação aos efeitos anabólicos provocados pelo efeito do treinamento, além de aumentar substancialmente a concentração de neutrófilos, monócitos e do hormônio adrenocorticotrófico (Chung; Hsiao & Huang, 2021; Cadegiani & Kater, 2017). Apesar da relevância desses fatores fisiológicos, seu efeito deve ser interpretado dentro de um contexto multifatorial que inclua também o tempo de prática, a qualidade dos estímulos motores recebidos e os aspectos psicossociais.

Por esse motivo, tais elementos não devem ser considerados de forma isolada nos processos de identificação e seleção de talentos esportivos. A literatura científica demonstra que não há correlação direta e consistente entre um desempenho físico acentuado em idades precoces, frequentemente resultado de vantagens maturacionais, e o sucesso esportivo em níveis profissionais (Sieghartsleitner et al., 2019). Isso reforça a importância de avaliações longitudinais e holísticas que contemplem o potencial de desenvolvimento de forma ampla, envolvendo entre alguns aspectos a técnica, tática, cognição, e não apenas o desempenho momentâneo (Sarmiento et al., 2018).

Outro elemento crítico que impacta diretamente o desenvolvimento atlético de jovens atletas é a inadequação na prescrição e monitoramento das cargas de treinamento. A aplicação de estímulos desproporcionais à maturação e à capacidade funcional do atleta pode comprometer a qualidade da execução motora, induzir padrões técnicos ineficientes, potencializar desequilíbrios musculares e aumentar significativamente o risco de lesões musculoesqueléticas (Sullivan et al., 2024). Além disso, o afastamento temporário por lesões pode fazer com que o atleta perca janelas sensíveis do desenvolvimento motor, fases estas em que o sistema neuromuscular se encontra mais responsivo à aquisição de determinadas capacidades físicas (Balyi & Hamilton, 2004). Assim, torna-se imprescindível que treinadores e profissionais envolvidos no processo de formação realizem um controle rigoroso das cargas de treinamento externas (volume, intensidade e densidade) e internas (respostas fisiológicas e perceptuais), em estreita associação com o estágio de maturação biológica individual.

Promover um desenvolvimento multilateral, caracterizado por uma ampla variedade de estímulos motores, é uma diretriz fundamental durante a fase de formação atlética. A consolidação de um repertório motor diversificado favorece a aquisição de vantagens biomecânicas, técnicas e coordenativas, refletindo-se em maior eficiência na execução dos gestos esportivos. Indivíduos que são adequadamente expostos a diferentes padrões de movimento ao longo de seu desenvolvimento tendem a apresentar maior adaptabilidade motora, fator preditivo de sucesso em esportes de alta complexidade (Bompa & Haff, 2009). Dessa forma, respeitar as fases do desenvolvimento motor e compreender os períodos críticos para o treinamento de determinadas capacidades físicas, como, coordenação motora, velocidade, resistência aeróbica e anaeróbica, é essencial para uma progressão pedagógica eficaz (Balyi & Hamilton, 2004). Tal abordagem deve ser planejada de maneira holística, integrada e individualizada, promovendo não apenas o desempenho, mas também a saúde, menor abandono da prática esportiva e incidência de casos de burnout durante a formação atlética (Brenner; Watson & Council On Sports Medicine And Fitness, 2024).

1.3 Maturação cronológica, maturação biológica e idade relativa

O conceito de maturação cronológica e idade relativa são amplamente populares no contexto esportivo e no processo de detecção de talentos, mesmo sabendo dos diversos fatores que ele deixa de considerar e não sendo uma estratégia adequada quando usada de forma isolada, desconsiderando a individualidade biológica de cada um durante o processo maturacional (Curnyn et al., 2025). Ela considera somente a idade cronológica do indivíduo, ou seja, o dia do seu nascimento até a data que ele está sendo avaliado, sendo um dos critérios para a seleção de talentos pelo fato de existir uma grande lacuna de desenvolvimento maturacional entre atletas de primeiro quartil anual (janeiro–março) e quarto quartil anual (outubro–dezembro), promovendo vantagens significativas em diversos parâmetros fisiológicos, psicológicos e somáticos (Wattie; Schorer & Baker, 2015).

Por outro lado, o conceito de maturação biológica considera o processo não linear maturacional de forma individualizada, sendo avaliado por meio de métodos como equações preditivas para estimar a maturação somática, ou com métodos que avaliem o estado de maturação do sistema esquelético considerando períodos como o pico de velocidade de crescimento e ossificação das epífises (Lloyd et al., 2014). O padrão ouro para avaliar a maturação biológica são os métodos que envolvem a avaliação da idade esquelética, sendo os mais utilizados o Método de Tanner-Whitehouse – TW3 (Tanner et al., 2001), o Método de Greulich-Pyle (Greulich & Pyle, 1959) e o Método de Fels (Chumela; Roche & Thissen, 1989).

A maturação biológica é um processo altamente complexo e dinâmico, que pode apresentar discrepâncias de alguns anos entre jovens da mesma idade cronológica (Malina; Bouchard & Bar-Or, 2004). Essas diferenças repercutem diretamente nas capacidades físicas, na recuperação fisiológica e na adaptação aos estímulos do treinamento (Philippaerts et al., 2006). Assim, a utilização exclusiva da idade cronológica como critério de organização do processo de treinamento físico em jovens atletas pode resultar em sobrecarga precoce em atletas pré-púberes e subestimulação nos atletas que já passaram pelo pico de velocidade de crescimento (PVC), comprometendo o desenvolvimento físico e a equidade dentro das categorias (Vaeyens et al., 2008; Williams & Reilly, 2000).

1.4 Maturação biológica e carga de treinamento

Diversos estudos reforçam que o estágio de maturação exerce influência direta sobre a resposta às cargas de treinamento. A força, por exemplo, é significativamente mais responsiva no período pós-pico de velocidade de crescimento, enquanto a coordenação e a velocidade podem apresentar maior sensibilidade em fases anteriores (Lloyd & Oliver, 2012). O

modelo Youth Physical Development (YPD) propõe uma abordagem integrada, na qual qualidades físicas e habilidades motoras são treinadas desde cedo, com variações no enfoque conforme o estágio maturacional. Essa proposta coaduna-se com os princípios do desenvolvimento atlético de longo prazo, que defendem a progressão segura, variada e individualizada como fundamento da formação de jovens atletas (Lloyd & Oliver, 2012).

No contexto do futebol, a estimativa da maturação tem se tornado uma ferramenta estratégica para o ajuste das cargas de treinamento. O modelo de predição proposto por Mirwald et al. (2002) para avaliar a maturação somática, baseado em medidas antropométricas, é amplamente utilizado para estimar o tempo até o PVC, permitindo classificar atletas em diferentes estágios maturacionais (pré-PVC, circa-PVC, pós-PVC). Essa classificação não apenas orienta a prescrição de estímulos, mas também subsidia decisões relacionadas à progressão de carga, recuperação, monitoramento e diminuição do risco de lesões (Towilson et al., 2021). Vale salientar que este método não é invasivo, é de baixo custo e é de bastante prático para ser utilizado na prática clínica em clubes esportivos.

Particular atenção deve ser dada ao período circa-PVC, que compreende ± 1 ano em torno do PVC, considerado uma janela de vulnerabilidade biomecânica e neuromuscular. Durante essa fase, o risco de lesões por sobrecarga aumenta significativamente, especialmente se a carga for desproporcional à capacidade de absorção dos tecidos em crescimento (McCunn et al., 2017; Jayanthi et al., 2015). Ferramentas como a razão carga aguda/crônica (ACWR) e o monitoramento de carga interna e externa têm sido utilizadas para esse fim, mas sua aplicação precisa ser contextualizada ao estágio maturacional para garantir segurança e eficácia (Gabbett, 2016; Impellizzeri; Marcora & Coutts, 2019).

Além dos aspectos físicos, há um viés estrutural importante relacionado à maturação na dinâmica do futebol de base. Atletas biologicamente mais desenvolvidos tendem a ser favorecidos em processos seletivos e recebem mais oportunidades de competição e treinamento especializado, enquanto atletas maturacionalmente tardios, muitas vezes, são excluídos ou subaproveitados, ainda que apresentem potencial técnico e cognitivo elevado (Vaeyens et al., 2008; Williams & Reilly, 2000). Esse cenário contribui para a perpetuação de desigualdades e, possivelmente, para a perda de talentos em longo prazo.

Diante desse panorama, compreender como a maturação biológica influencia a prescrição e as respostas às cargas de treinamento torna-se essencial para otimizar o processo de formação esportiva, promover o desenvolvimento físico seguro e reduzir a incidência de lesões em atletas de futebol de base. A presente revisão integrativa tem como objetivo analisar criticamente a relação entre o estágio maturacional e a resposta às cargas de treinamento em jovens jogadores de futebol, discutindo suas implicações práticas para o planejamento, monitoramento e desenvolvimento sustentável no esporte de base ao longo prazo.

1.5 Justificativa

A prática esportiva no futebol de base envolve jovens em fases críticas do desenvolvimento biológico, nos quais a variação no estado maturacional pode alcançar até cinco anos entre atletas da mesma idade cronológica. Essa ampla heterogeneidade tem implicações diretas na forma como os atletas respondem às cargas de treinamento físico, o que demanda uma abordagem mais individualizada para evitar riscos à saúde e otimizar o processo de formação esportiva.

A relevância da presente pesquisa reside na necessidade de fundamentar, com base na literatura científica, como a maturação biológica influencia a prescrição e as respostas às cargas de treinamento em jovens jogadores de futebol. Ainda que a temática da carga de treinamento esteja consolidada em contextos de alto rendimento, seu ajuste ao estado maturacional permanece como um ponto crítico pouco explorado, especialmente no contexto do futebol de base. Compreender essas relações é essencial para promover práticas mais seguras, equitativas e eficazes no desenvolvimento de talentos esportivos.

Entre os principais motivos que justificam este estudo, destaca-se a alta incidência de lesões por sobrecarga em fases sensíveis do crescimento, como o período ao redor do PVC, associada à fragilidade estrutural e ao desequilíbrio neuromuscular. Soma-se a isso a existência de vieses no processo seletivo que favorecem atletas biologicamente adiantados, muitas vezes em detrimento de atletas com potencial técnico e cognitivo igual ou superior, porém maturacionalmente tardios.

As contribuições esperadas desta revisão incluem a sistematização de evidências científicas sobre a interação entre maturação e treinamento, oferecendo subsídios para a elaboração de protocolos de prescrição e monitoramento mais sensíveis às necessidades individuais dos jovens atletas. Do ponto de vista prático, o estudo poderá orientar treinadores, preparadores físicos e coordenadores técnicos na tomada de decisão mais precisa quanto à carga de treinamento e progressão de estímulos, contribuindo para a prevenção de lesões, captação de talentos e desenvolvimento sustentável no futebol de base.

Por fim, presume-se que os benefícios desta investigação se estendam para além do desempenho esportivo, promovendo uma abordagem mais humana, inclusiva e baseada na ciência para o treinamento de jovens atletas.

1.6 Objetivo

Apesar do crescente interesse científico na compreensão da maturação biológica e de suas repercussões no desempenho e na saúde de atletas jovens, ainda é limitada a existência de revisões integrativas que articulem, de forma simultânea, a prescrição de cargas de treinamento, as respostas fisiológicas adaptativas e o risco de lesão no contexto do futebol de base. A maior parte dos estudos aborda esses fatores de maneira fragmentada, o que dificulta a consolidação de diretrizes práticas baseadas em evidências robustas. Diante dessa lacuna, o presente estudo busca integrar essas dimensões, oferecendo uma visão abrangente que auxilie técnicos, preparadores físicos e profissionais da saúde na tomada de decisão e no planejamento do desenvolvimento atlético seguro e eficiente.

1.6.1 Objetivo principal

Analisar como a maturação biológica influencia a prescrição e as respostas às cargas de treinamento em atletas de futebol de base.

1.6.2 Objetivos específicos

Identificar as implicações relacionadas ao treinamento das diferentes capacidades biomotoras durante o processo de maturação.

Identificar as implicações para a diminuição do risco de lesões e para a otimização do desenvolvimento físico desses jovens ao longo prazo.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa documental de fonte indireta, baseada em artigos científicos (Snyder, 2019), configurando-se como um estudo de abordagem quantitativa, considerando a seleção de 31 artigos para compor o *corpus* da pesquisa, e qualitativa, em função das discussões realizadas a partir dos estudos incluídos (Pereira *et al.*, 2018). Trata-se de uma revisão integrativa da literatura (Crossetti, 2012), com aplicação de estatística descritiva simples, incluindo a utilização de gráficos de colunas, classificação dos dados por faixas etárias e apresentação da frequência absoluta do número de artigos ou estudos analisados (Shitsuka *et al.*, 2014).

Foi conduzida uma revisão integrativa da literatura por meio de bases de dados acadêmicas reconhecidas cientificamente: PubMed (Health Information from the National Library of Medicine), SciELO (Scientific Electronic Library

Online) e LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde). As buscas foram realizadas no dia 14 de Julho de 2025, contemplando um período de publicação de 10 anos (2015–2025). Foram utilizados os descritores “*maturation*” (maturação), “*soccer*” (futebol) e “*training load*” (carga de treinamento), combinados pelo operador booleano “AND” (e), a fim de integrar os termos e refinar os resultados. A seleção e análise dos estudos seguiram as etapas metodológicas da revisão integrativa conforme proposta por Mendes, Silveira e Galvão (2008).

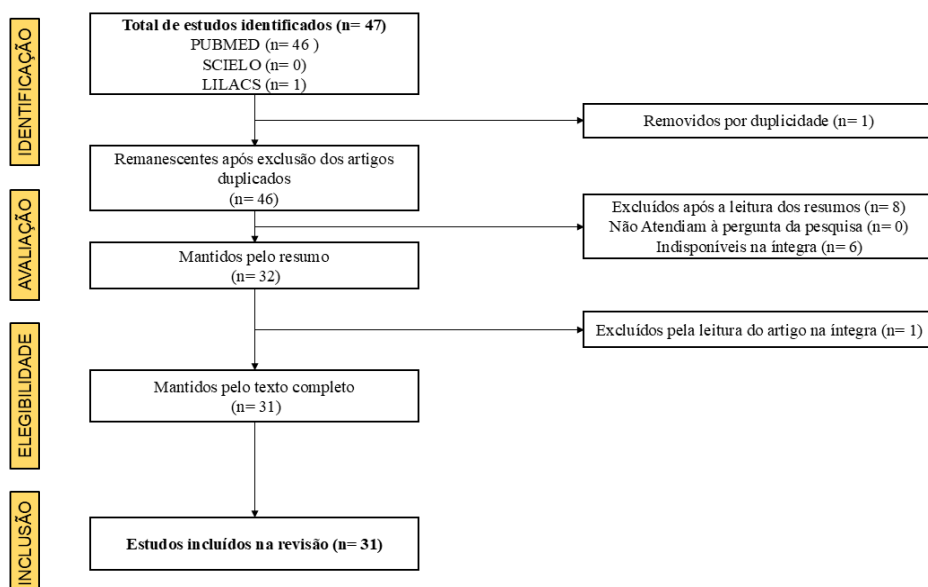
Para a presente revisão integrativa, foram adotados critérios de elegibilidade com o objetivo de garantir a consistência metodológica e a pertinência temática dos estudos incluídos. Como critérios de inclusão, consideraram-se artigos que investigaram atletas praticantes de futebol, especificamente do sexo masculino, inseridos em categorias de base (Sub-11 ao Sub-23), independentemente do nível competitivo ou região geográfica. Em contrapartida, foram excluídos da amostra estudos que:

- a) não envolvessem o futebol como modalidade esportiva principal;
- b) investigassem exclusivamente atletas adultos profissionais, uma vez que o foco da presente revisão está nas particularidades do desenvolvimento esportivo nas categorias de base;
- c) fossem caracterizados como revisões da literatura.

A aplicação rigorosa desses critérios possibilitou a seleção de estudos alinhados à problemática central da investigação, promovendo uma análise crítica mais coerente com os objetivos propostos.

A seguir, a Figura 1 apresenta o fluxograma de estudos inseridos como *corpus* da pesquisa, sendo ilustrado no Quadro 1 a relação de artigos selecionados para o presente estudo:

Figura 1 – Fluxograma dos estudos incluídos na revisão integrativa.



Fonte: Autoria própria.

Fluxograma de seleção dos estudos primários incluídos na revisão integrativa de acordo com a recomendação PRISMA (Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Metanálise).

Quadro 1 – Estudos incluídos na revisão integrativa.

Autor / Periódico / Ano	Título	Objetivo	Grupo Experimental	Principais Achados
Teunissen <i>et al.</i> Annals Of Human Biology. 2020.	Accuracy of maturity prediction equations in individual elite male football players.	Avaliar a precisão das equações de predição para a estimativa da idade do pico de velocidade de crescimento em jogadores de futebol jovens.	Foram avaliados 17 jogadores de futebol Sub-11.	Nenhuma das equações de predição avaliadas foram precisas para estimar a idade do PVC em jogadores individualmente.
Stables <i>et al.</i> Science and Medicine in Football. 2024.	Acute fuelling and recovery practices of academy soccer players: implications for growth, maturation, and physical.	Avaliar as práticas nutricionais e de recuperação pré e pós treino de jovens futebolistas e analisar seu impacto no crescimento, maturação e desempenho físico.	Foram avaliados 48 futebolistas entre as categorias Sub-12 e Sub-23.	Os jogadores avaliados no presente estudo habitualmente adotaram estratégias subótimas de alimentação e recuperação, porém uma ingestão abaixo de carboidratos antes, durante e após os treinamentos, comprometendo o crescimento, a maturação e o desempenho físico.
Nobari <i>et al.</i> Frontiers in Physiology. 2021.	Analysis of Fitness Status Variations of Under-16 Soccer Players Over a Season and Their Relationships With Maturational Status and Training Load.	Analisar as variações no consumo máximo de oxigênio (VO ₂ max), frequência cardíaca máxima (FCmax), frequência cardíaca em repouso, aceleração, velocidade máxima, agilidade e potência anaeróbica ao longo da temporada competitiva, utilizando o estado maturacional e a carga de treinamento acumulada como covariáveis.	Foram avaliados 23 futebolistas da categoria Sub-16.	Deve-se enfatizar a relevância da carga de treinamento acumulada e do estado maturacional no desenvolvimento atlético e nível de aptidão física de jovens futebolistas.
Nobari <i>et al.</i> BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2023.	Association between 2D/4D ratios and sprinting, change of direction ability, aerobic fitness, and cumulative workloads in elite youth soccer players.	Determinar a correlação entre a razão 2D/4D, o consumo máximo de oxigênio (VO ₂ max), a porcentagem de gordura corporal (BF%), a frequência cardíaca máxima (FCmax), a mudança de direção (COD) e as variáveis de carga de trabalho aguda e crônica acumuladas.	Participaram do estudo 20 futebolistas da categoria Sub-14.	O presente estudo verificou que jogadores de futebol Sub-14 com baixas razões 2D/4D nas mãos direita e esquerda não apresentam desempenho superior em avaliações físicas selecionadas.
Nobari <i>et al.</i> Biology. 2022.	Associations among Maturity, Accumulated Workload, Physiological, and Body Composition Factors in Youth Soccer Players: A Comparison between Playing Positions.	Analisar a correlação entre a carga de trabalho acumulada com base nos períodos da temporada, com a maturação, <i>sprints</i> lineares, consumo máximo de oxigênio (VO ₂ max), frequência cardíaca máxima e composição corporal.	Participaram do estudo 21 futebolistas da categoria Sub-14.	O estudo não encontrou correlações significativas entre carga de trabalho acumulada e maturação, todavia, foi relatado que uma exposição a maiores cargas no início da temporada pode contribuir positivamente para sua progressão na segunda metade da temporada, tornando imprescindível o controle destas variáveis desde o início do processo de treino.
Johnson <i>et al.</i> Annals Of Human Biology. 2023.	Can we reduce injury risk during the adolescent growth spurt? An iterative sequence of prevention in male academy footballers.	Este estudo teve como objetivo utilizar uma colaboração interdisciplinar entre treinadores, cientistas do esporte e departamento médico para mitigar o risco de lesões durante o estirão puberal.	Participaram do estudo 77 futebolistas das categorias Sub-13 até Sub-16.	Estratégias como a individualização da carga de treinamento, prescrição de exercícios de equilíbrio, coordenação motora e aterrissagem, junto a implementação de um programa de treinamento de força podem mitigar os riscos de lesão durante o estirão puberal em jovens futebolistas.
Nobari <i>et al.</i> Children. 2021.	Somatotype, Accumulated Workload, and Fitness Parameters in Elite Youth Players: Associations with Playing Position.	Descrever as diferenças antropométricas, de maturação e somatotipo com base nas posições em campo, além de analisar as variações de carga acumulada, consumo máximo de oxigênio e da potência máxima.	Participaram do estudo 27 futebolistas da categoria Sub-16.	Os resultados do presente estudo demonstram o papel tático de cada posição e as distintas adaptações oriundas do treinamento, reforçando a importância de uma carga de treino aumentada no início da temporada.

Fernquest <i>et al.</i> Of Orthopaedic Research. 2023.	Coronal-plane leg alignment in adolescence and the effects of activity: A full leg length MRI study.	Explorar a associação entre o desenvolvimento do alinhamento das pernas no plano coronal e os níveis de atividade durante a adolescência.	Participaram do estudo 34 futebolistas do sexo masculino de 11 até 21 anos de idade.	Níveis elevados de atividade física durante a adolescência, particularmente em futebolistas masculinos de elite, estão fortemente associados ao desenvolvimento de um alinhamento mais varo das pernas. Este desenvolvimento de varo parece estar ligado a alterações na epífise tibial proximal medial, sugerindo uma potencial adaptação fisiológica à carga mecânica.
Salter <i>et al.</i> European Journal Of Sport Science. 2023.	Does biologically categorised training alter the perceived exertion and neuromuscular movement profile of academy soccer players compared to traditional age-group categorisation?	Analisar o impacto agudo da maturação no desempenho neuromuscular e na percepção de esforço em atletas de futebol das categorias de base.	Participaram do estudo 55 futebolistas entre as categorias Sub-12 e Sub-16.	<i>Bio-banding</i> é uma abordagem promissora para otimizar o treino de jovens atletas, adaptando as cargas de treino às necessidades e características individuais de maturação. Essa abordagem pode tornar mais assertiva as respostas neuromusculares e reduzir a percepção de esforço, além de reduzir o risco de lesões quando comparada a uma abordagem que considere somente a idade cronológica.
Silva <i>et al.</i> BMC Pediatrics. 2022.	Does maturity estimation, 2D/4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players?	Analisar as mudanças na aptidão física de jogadores de futebol de base após uma temporada completa, e examinar se essas mudanças na aptidão física podem ser explicadas pelo estado maturacional estimado, pela razão 2D/4D de cada mão e pelas medidas de carga de treinamento.	Participaram do estudo 27 futebolistas da categoria Sub-15.	A razão 2D/4D não foi eficaz para estimar o nível de aptidão física depois de uma temporada, todavia, o comprimento de 2D e 4D de ambas as mãos junto com o nível maturacional parecer ser uma boa alternativa para estimar o desempenho de mudança de direção durante uma temporada.
Rodríguez-Rosell <i>et al.</i> Journal Of Strength and Conditioning. 2017.	Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages.	O estudo procurou avaliar o impacto do treino resistido com baixa carga e baixo volume combinado com a pliometria no desempenho neuromuscular, <i>sprint</i> e salto em jovens futebolistas.	Foram avaliados 86 jogadores divididos nas categorias Sub-13, Sub-15 e Sub-17.	O treinamento de força com cargas leves e levantamento com velocidade voluntária máxima, combinado com exercícios pliométricos, representa um estímulo eficaz que promove melhorias maiores em ações fundamentais para o desempenho no futebol do que aquelas geradas apenas pela prática específica do esporte, sem a necessidade de realizar repetições até a falha muscular, independentemente da idade.
Perroni <i>et al.</i> PLoS ONE. 2019.	Effect of pre-season training phase on anthropometric, hormonal and fitness parameters in young soccer players.	Investigar o efeito de 8 semanas de treinamento sobre variáveis antropométricas, hormonais e de aptidão física, correlacionando estes fatores, além de verificar o impacto da metodologia e experiência do treinador sobre esses parâmetros.	Foram avaliados 35 futebolistas da categoria Sub-15.	O estudo enfatiza que a pré-temporada impacta significativamente os perfis hormonais e de aptidão dos jovens futebolistas, com diferenças notáveis entre clubes, provavelmente devido a metodologias de treino variadas. As correlações observadas entre alterações hormonais e de aptidão destacam a importância de uma distribuição cuidadosa da carga de treino para otimizar o desempenho e reduzir a incidência de lesões em jovens futebolistas, considerando as suas características biológicas individuais e o estágio de desenvolvimento.
Cirer-Sastre <i>et al.</i> International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019.	Effect of training load on post-exercise cardiac troponin T elevations in young soccer players.	Avaliar a relação entre as medidas de carga de treinamento durante um jogo reduzido de futebol e o subsequente aumento de troponina cardíaca (cTn) em jogadores jovens.	Foram avaliados 20 futebolistas da categoria Sub-12.	Os resultados mostram que a concentração de hs-cTnT atingiu o pico 3 horas após o exercício em todos os participantes. A magnitude da elevação de hs-cTnT foi explicada principalmente pela duração do exercício na zona de frequência cardíaca máxima, pelo tempo na zona de alta velocidade e pela distância percorrida na zona de alta velocidade.

Macedo <i>et al.</i> PLoS ONE. 2025.	Effects of biobanding on training loads and technical performance of young football players.	Avaliar os efeitos do <i>bio-banding</i> sobre as cargas internas e externas de treinamento, assim como sobre o desempenho técnico durante jogos reduzidos.	Foram avaliados 20 futebolistas da categoria Sub-13.	Em jogos que foi aplicado o <i>bio-banding</i> a carga externa foi elevada para jogadores pré-PVC quando comparados a atletas da mesma idade cronológica e com estado maturacional mais avançado, entretanto, não houve alterações significativas nos parâmetros de carga interna entre os grupos.
Di Giminiani, R; Visca, C. PLoS ONE. 2017.	Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons.	Avaliar a resistência aeróbica, resistência de força rápida, força, rigidez das pernas e desempenho em sprints curtos ao longo de duas temporadas de futebol.	Foram avaliados 19 futebolistas da categoria Sub-13.	O estudo demonstra que um programa de treino bem estruturado pode levar a melhorias notáveis na força explosiva e na resistência em jovens jogadores de futebol de elite a longo prazo.
Van Der Sluis <i>et al.</i> International Journal of Sports Medicine. 2015.	Importance of peak height velocity timing in terms of injuries in talented soccer players.	Identificar diferenças na incidência de lesões traumáticas e por sobrecarga entre jogadores de futebol talentosos que diferem no momento do seu estirão puberal na adolescência.	Foram avaliados 26 jogadores de futebol Sub-12.	Jogadores de futebol que amadurecem mais tarde do que seus pares apresentam uma incidência significativamente maior de lesões por sobrecarga.
Salter <i>et al.</i> Research in Sports Medicine. 2024.	Maturity status influences perceived training load and neuromuscular performance during an academy soccer season.	Investigar como o estado de maturação influencia nas adaptações neuromusculares e na percepção subjetiva de esforço de jovens futebolistas.	Foram avaliados 55 atletas de futebol das categorias Sub-13 até Sub-16.	O estado maturacional influencia diretamente no esforço percebido e no desempenho neuromuscular de jovens atletas da mesma idade cronológica.
Parr <i>et al.</i> Annals Of Human Biology. 2020.	Predicting the timing of the peak of the pubertal growth spurt in elite male youth soccer players: evaluation of methods.	Avaliar e comparar três protocolos não invasivos para estimar o pico de velocidade de crescimento em jogadores jovens de elite.	Fizeram parte da amostra do estudo 28 jogadores de futebol Sub-13.	No presente estudo, a janela de PVC baseada em 85–96% da estatura adulta prevista no momento da observação foi mais eficaz que os demais métodos para estimar o momento do PVC desta amostra.
Mandorino <i>et al.</i> Sports. 2022.	Predictive analytic techniques to identify hidden relationships between training load, fatigue and muscle strains in young soccer players.	Analisar diferentes técnicas de análise preditiva para prever o risco de lesões musculares com base em dados de treinamento de futebol nas categorias de base.	Fizeram parte da amostra do estudo 23 jogadores de futebol Sub-14.	O estudo demonstra que as lesões musculares são fatores multifatoriais complexos, influenciados por uma interação não linear de fatores não modificáveis (maturidade, antropometria), fadiga neuromuscular e carga de treino. <i>Support Vector Machine</i> (SVM) foi a técnica mais eficaz para realizar a análise.
Nobari <i>et al.</i> BMC Pediatrics. 2023.	Relationships between training load, peak height velocity, muscle soreness and fatigue status in elite-level young soccer players: a competition season study.	Comparar parâmetros relacionados a carga de treinamento, dor muscular tardia, fadiga e maturação entre a primeira e segunda parte de uma temporada de Futebol.	Fizeram parte da amostra do estudo 20 jogadores de futebol Sub-14.	O estado maturacional e de bem-estar não justificaram as variações na carga interna de treinamento dos atletas. Os índices de carga interna na primeira metade da temporada competitiva podem promover uma base sólida para a progressão de carga na segunda metade da temporada.
Amman <i>et al.</i> Frontiers in Physiology. 2023.	Seasonal analysis of match load in professional soccer players: An observational cohort study of a Swiss U18, U21 and first team.	Analisar a carga externa de jogos de futebol da categoria Sub-18 e Sub-21 comparadas a categoria profissional na Suíça.	Fizeram parte da amostra do estudo 59 jogadores de futebol das categorias Sub-18 e Sub-21.	O estudo demonstra que a carga externa das partidas varia de acordo com o nível competitivo e pela faixa etária das equipes, tornando necessário o controle da carga para mapear de forma sistemática as demandas específicas de cada competição, sem desconsiderar as diferenças interindividuais.
Monasterio <i>et al.</i> European Journal of Sport Science.	The burden of injuries according to maturity status and timing: A two-decade study with 110 growth curves in an elite football	Estudar a epidemiologia das principais lesões que ocorreram em um período de duas décadas em jogadores de futebol que estavam nas categorias de	Foram avaliados 110 jogadores entre a categoria Sub-11 e Sub-19.	A monitorização regular do estado de maturidade e do tempo é crucial para os jovens futebolistas, uma vez que o impacto das lesões varia significativamente com estes fatores.

2023.	academy.	base, correlacionando com o estágio maturacional dos mesmos.		Compreender o perfil de risco de lesão relacionado com a maturidade, combinado com outros fatores como carga de treino e biomecânica, pode ajudar a conceber programas de prevenção de lesões direcionados e proteger a saúde do jogador.
Falces-Prieto <i>et al.</i> Frontiers in Physiology. 2021.	The Differentiate Effects of Resistance Training With or Without External Load on Young Soccer Players' Performance and Body Composition.	Investigar os efeitos de dois programas distintos de treinamento resistido sobre medidas específicas de desempenho físico em jovens futebolistas.	Foram avaliados 144 jogadores entre a categoria Sub-16 e Sub-19.	Atletas jovens de futebol podem obter ganhos em força muscular, resistência aeróbica e melhora da composição corporal ao participarem de um programa de treinamento resistido de 15 semanas durante a temporada. Tanto o treinamento com quanto sem carga externa mostrou-se benéfico, porém, os exercícios realizados com carga externa foram mais eficientes para aprimorar a capacidade de salto.
Mandorino <i>et al.</i> Biology of Sport. 2022.	The influence of maturity on recovery and perceived exertion, and its relationship with illnesses and non-contact injuries in young soccer players.	Investigar a associação entre marcadores de carga interna e o estado de recuperação com o risco de doenças e lesões não traumáticas em jogadores de futebol jovens com diferentes estados maturacionais.	Foram avaliados 23 futebolistas da categoria Sub-14.	Um rápido aumento da carga de treino associado a uma diminuição do estado de recuperação está associado a um maior risco de doenças e lesões sem contacto. Embora estes marcadores de carga interna e o estado de recuperação estejam ligados ao risco de lesão, a sua capacidade preditiva individual é limitada, sugerindo que a lesão é um fenômeno multifatorial.
Salter; De Ste Croix; Hughes. European Journal of Sport Science. 2021.	The moderating impact of maturation on acute neuromuscular and psychophysiological responses to simulated soccer activity in academy soccer players.	Avaliar as respostas neuromusculares e psicofisiológicas a uma atividade padronizada e investigar se a relação dose-resposta é influenciada pelo nível de maturação biológica.	Foram avaliados 57 futebolistas das categorias Sub-13 até Sub-16.	A percepção do esforço técnico e métricas como a rigidez das pernas, o índice de força reativa (RSI) e a <i>Player Load</i> são influenciadas pelo estágio maturacional, especialmente em torno do pico de velocidade de crescimento. Os indivíduos mais maduros têm tendência a lidar melhor com a carga biomecânica, e a falha em considerar a maturação na prescrição de formação pode aumentar o risco de lesões, sugerindo a importância de abordagens personalizadas e bio-categorizadas para a otimização do desenvolvimento e a segurança dos jovens atleta.
Stables <i>et al.</i> European Journal of Applied Physiology. 2024.	Training with reduced carbohydrate availability affects markers of bone resorption and formation in male academy soccer players from the English Premier League.	Investigar como o treinamento com disponibilidade reduzida de carboidratos (CHO) influencia os marcadores de reabsorção e formação óssea em jogadores adolescentes.	Foram avaliados 10 futebolistas Sub-17.	Embora o treino de futebol seja considerado anabólico para o osso, a restrição de CHO em torno das sessões de treino agudas pode modular negativamente a remodelação óssea, com potenciais implicações para a saúde óssea a longo prazo em jovens atletas.
Brink <i>et al.</i> International Journal of Sports Physiology and Performance. 2017.	Understanding the mismatch between coaches' and players' perceptions of exertion.	Investigar as diferenças entre o planejamento da intensidade da sessão por meio do treinador, e a percepção subjetiva de esforço de jovens atletas de futebol.	Foram avaliados 31 futebolistas Sub-15 e Sub-17.	A principal conclusão do estudo é que existe uma divergência evidente entre o esforço programado pelos treinadores e aquele percebido pelos jogadores. Além disso, os treinadores não conseguem estimar com precisão o nível de esforço relatado pelos atletas após as sessões de treino.
Moraes <i>et al.</i> Jornal de Pediatria. 2024.	Upper and lower limb bone mass accrual in adolescent footballers across a short period of training and competition.	Investigar o desenvolvimento do conteúdo mineral ósseo e da densidade mineral óssea por área em adolescentes durante sua primeira temporada como jogadores de futebol.	Foram avaliados 17 futebolistas Sub-15.	Um período relativamente curto de treino e competição de futebol (15 semanas) pode promover um aumento na massa óssea em regiões específicas do corpo de adolescentes, especialmente nos membros inferiores e troncos, destacando a importância do esporte para a saúde

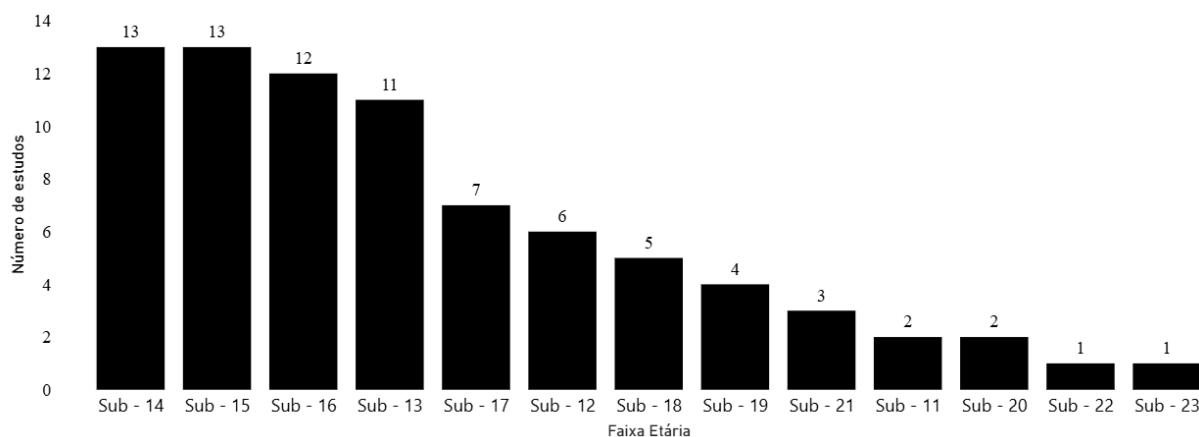
				óssea durante a adolescência, independentemente da carga de treino ou do estágio de maturação.
Nobari <i>et al.</i> Biology. 2022.	Variations in Accumulated-Training Load Parameters and Locomotor Demand with Consideration of Puberty in Elite Young Soccer Players.	Analisar como os parâmetros de carga de treinamento se relacionam com a demanda locomotora e o estágio puberal em jogadores de futebol jovens de elite, e prever a variação percentual na capacidade de desempenho com base em ajustes na carga de treinamento, por meio de uma análise de regressão multivariada, levando em conta o pico de velocidade de crescimento (PHV) e o grau de maturação biológica.	Foram avaliados 17 futebolistas Sub-16.	A conclusão central do estudo é que o estado de maturação biológica tem um papel determinante no desempenho funcional de jogadores de futebol de base em nível de elite, principalmente em parâmetros relacionados à capacidade aeróbica.
García-Ceberino <i>et al.</i> Sensors. 2024.	Variations in External and Internal Intensities and Impact of Maturation Age on Soccer Training Tasks.	O objetivo principal deste estudo foi comparar as cargas internas e externas de treinamento em jovens jogadores de futebol, considerando o tipo de tarefa realizada. Adicionalmente, investigou-se o impacto das diferentes tarefas na percepção das cargas de treino e a relação desses aspectos com o estágio de maturação biológica dos atletas.	Foram avaliados 55 futebolistas Sub-15 e Sub-16.	As exigências físicas e fisiológicas dos jogadores são impactadas pelo nível de envolvimento cognitivo e pela dimensão dos espaços de jogo, que tendem a ser maiores em partidas completas de treino. Os achados também evidenciam a influência relevante da maturação biológica sobre diferentes variáveis físicas, ajudando a compreender as diferenças ou semelhanças identificadas nas tarefas avaliadas.
Nobari <i>et al.</i> BMC Pediatrics. 2024.	Which training load indicators are greater correlated with maturation and wellness variables in elite U14 soccer players?	O estudo investigou a correlação entre os parâmetros de carga de treinamento acumulada, considerando os diferentes períodos da temporada, e o estado de maturação biológica.	Foram avaliados 20 futebolistas Sub-14.	O estudo evidencia que a qualidade do sono influencia diretamente a monotonia do treinamento, reforçando a importância de um gerenciamento eficaz da carga para prevenir o overtraining. A ausência de significância nos coeficientes de regressão demonstra a complexidade envolvida na previsão dos efeitos do treinamento a partir das variáveis avaliadas.

Fonte: Autoria própria.

3. Resultados e Discussão

Após a execução do processo metodológico, conforme os passos previamente descritos, esta revisão integrativa resultou na seleção de 31 artigos científicos. A maioria dos estudos analisados utilizou como amostra atletas do sexo masculino com idades entre 13 e 16 anos, faixa etária de especial relevância para a compreensão dos efeitos do treinamento físico, da maturação biológica e do estirão puberal. De forma consistente, os estudos se organizaram em torno das temáticas propostas por esta revisão, as quais serão discutidas a seguir com base nos principais achados dos materiais analisados.

Figura 2 – Número de estudos que contemplaram a respectiva faixa etária em sua amostra.



Fonte: Elaboração própria.

3.1 Estimativa da maturação biológica e suas implicações ao desempenho esportivo

Devido aos diferentes contextos em que estimar a maturação biológica de um grupo se torna importante, uma abordagem ampla deve ser considerada para identificar quais meios e métodos para atingir este objetivo se torna mais viável. As equações que estimam a maturação somática são amplamente utilizadas no contexto esportivo para identificação de talentos, controle do treinamento esportivo e desempenho, sendo uma alternativa de baixo custo e rápida aplicação na prática diária.

Grande parte dos estudos presentes nesta revisão fizeram a divisão dos grupos por estágio maturacional levando em consideração a maturação somática e dados antropométricos, se destacando a Equação de Mirwald (Mirwald *et al.*, 2002) e a Equação de Máxima Altura Predita de Khamis e Roche (1994), sendo amplamente utilizadas pela comunidade científica e no contexto esportivo.

Um estudo conduzido por Parr e colaboradores (2020) objetivou responder justamente à questão de qual método seria mais assertivo e eficaz para estimar o momento do pico de velocidade de crescimento em jovens atletas de futebol. No estudo participaram 28 futebolistas Sub-13 que foram acompanhados por 5 temporadas sendo coletados seus dados antropométricos para serem avaliados por equações preditivas do PVC. Foram comparados três métodos, sendo eles a Idade Genérica do PVC (Malina; Bouchard & Bar-Or, 2004) de 13,8 anos com desvio padrão de 0,9, a Equação de Mirwald (Mirwald, 2002) e a Equação de Máxima Altura Predita de Khamis e Roche (1994), propondo que o futebolista se encontra no PVC quando atingir a janela de 85% até 96% da sua máxima altura. Conclui-se que o método que apresentou melhor eficácia foi a equação de Khamis e Roche (1994), correlacionando de forma correta 96% dos jogadores avaliados e sendo significativamente maior que os demais métodos, todavia, vale salientar que essa equação leva em consideração a média de altura dos pais, oferecendo um

fator externo adicional a ser avaliado e muitas vezes inviabilizando o seu uso de forma adequada.

Mesmo sabendo das suas vantagens, devemos considerar que essas equações possuem limitações em seus resultados pois não consideram fatores genéticos específicos do sujeito que está sendo avaliado, assim como fatores históricos e sociais que podem influenciar na elaboração da equação. Teunissen e colaboradores (2020) encontraram grande variação na predição da idade do PVC entre as equações de Mirwald, Moore 1, Moore 2 e Fransen, demonstrando instabilidade em 71% dos casos observados e verificando que na maior parte deles a idade do PVC foi superestimada do que a observada realmente. As implicações do estudo sugerem que este tipo de equação não seja utilizado para intervenções individualizadas e para a redução do risco de lesões.

Outro método utilizado para avaliação maturacional e predição da capacidade física de jovens futebolistas é a razão 2D/4D que objetiva correlacionar o comprimento do segundo e quarto dedo das mãos com mudanças favoráveis no desempenho atlético. Silva e colaboradores (Silva *et al.*, 2022) investigaram este método com 27 jogadores Sub-15 e encontraram uma correlação significativa da medida do segundo e quarto dedos das mãos esquerda e direita com a capacidade de mudança de direção (COD), especificamente -0,39 até -0,45 (p entre 0,05 e 0,02), indicando que menores comprimentos destes dedos se associam com melhor desempenho do COD. Ainda no mesmo estudo, foram encontradas correlações significativas entre o estágio maturacional e o desempenho do COD, apresentando uma variação negativa moderada ($r = 0,4$, $p = 0,04$), concluindo que atletas mais distantes do PVC tendem a ter melhor desempenho na capacidade de mudança de direção. Vale destacar que a capacidade preditiva para o COD foi feita pelo comprimento dos dedos e não pela razão entre eles, não havendo correlações com outras capacidades biomotoras. Relacionando com o estudo anterior, Nobari e colaboradores (2023a) também investigaram a razão 2D/4D em 20 atletas de futebol Sub-14, mas não encontraram nenhuma correlação entre este indicador e parâmetros de aptidão física como COD, frequência cardíaca máxima, percentual de gordura corporal e velocidade de *sprint* (arrancada) 10 m e 30 m, obtendo uma conclusão diferente do estudo anterior apresentado e da hipótese de que atletas com valores menores neste indicador podem ter maiores níveis de aptidão física.

Com base nos achados apresentados, evidencia-se a relevância da correta identificação do estágio maturacional para fins de controle e individualização do treinamento em jovens atletas. Embora métodos como as equações de Mirwald (Mirwald *et al.*, 2002) e Khamis e Roche (1994) apresentem praticidade e sejam amplamente utilizados, suas limitações metodológicas e variabilidade preditiva requerem cautela, especialmente quando aplicadas a contextos que demandam precisão individual. Adicionalmente, marcadores alternativos como a razão 2D/4D têm sido investigados com resultados conflitantes, indicando que a aplicabilidade de tais parâmetros ainda necessita de maior robustez científica para sua consolidação prática. Diante disso, torna-se necessário compreender como essas variações maturacionais influenciam diretamente nas adaptações fisiológicas provocadas pelo treinamento, refletindo sobre o desempenho físico, a aptidão cardiorrespiratória e a resposta neuromuscular de jovens futebolistas em diferentes estágios de desenvolvimento. Assim, no próximo tópico, serão discutidas as evidências relacionadas às adaptações fisiológicas e ao desempenho, a fim de elucidar os efeitos da carga de treino quando modulada conforme a maturação biológica.

3.2 Adaptações fisiológicas e desempenho

Durante a maturação de um jovem futebolista, seu sistema hormonal está em desenvolvimento sendo fundamental para que algumas adaptações fisiológicas oriundas do treinamento ocorram, como por exemplo a biogênese mitocondrial, aumento dos estoques de glicogênio, maior capacidade de tamponamento de íons H^+ evitando a acidose metabólica, secreção de hormônios anabólicos como DHEA, testosterona, GH e IGF-1 que participam diretamente do processo de hipertrofia e

síntese proteica, além da otimização do funcionamento das vias bioenergéticas glicolíticas e oxidativa para ressíntese de ATP durante o exercício físico.

Para promover adaptações ao treinamento no contexto esportivo a pré-temporada é um período primordial para a promoção de estímulos que garantam as respostas fisiológicas esperadas para a progressão da carga de treino que ocorrerá até o final da temporada. O estudo de Perroni e colaboradores (2019) comparou o período de pré-temporada de 8 semanas de dois times italianos Sub-14, encontrando adaptações ao treinamento para todos os atletas quando comparamos o período pré e pós intervenção, entre elas estão o aumento da massa corporal com aumento médio de 60,09 kg para 60,84 kg, diminuição dos níveis de cortisol salivar de 5,85 ng/ml para 1,27 ng/ml, o aumento da razão da concentração de testosterona salivar por cortisol salivar de 0,02 ng/ml para 0,06 ng/ml, o aumento da concentração de DHEA salivar de 0,94 ng/ml para 3,58 ng/ml e aumento do VO_2max de 42,92 ml/kg/min para 46,41 ml/kg/min demonstrando importantes adaptações para o aumento da capacidade física dos atletas para a temporada. Também foi encontrada uma correlação inversamente proporcional entre a concentração de DHEA salivar e o desempenho no CMJ ($r = -0,38$) antes da pré-temporada, enquanto a variação do CMJ demonstrou uma correlação significativa com variação dos níveis de cortisol salivar ($r = 0,43$) e com o estágio de maturação em um dos clubes ($r = 0,72$), pôr fim a variação de VO_2max foi correlacionada inversamente com a variação do IMC ($r = -0,54$) e variação do cortisol salivar ($r = -0,37$) em todos os indivíduos. Esses resultados fornecem evidências de que a pré-temporada não apenas favorece a adaptação fisiológica, como também se associa ao desenvolvimento maturacional, o que será aprofundado a seguir por meio da análise das adaptações do sistema esquelético ao treinamento sistemático nas categorias de base.

Junto com o desenvolvimento do sistema hormonal, efeitos significantes sobre o sistema esquelético foram observados por Moraes e colaboradores (2023) durante a primeira temporada de futebolistas de 14 anos, verificando um aumento significativo do conteúdo mineral ósseo de membros inferiores e tronco (12,1 g/semana), além de uma taxa de 26,4 g/semana quando consideramos o corpo todo do atleta durante a temporada. Somando aos achados anteriores, atletas pós-PVC apresentaram conteúdo mineral ósseo maior de membros inferiores (254,6 g), tronco (158,5 g) e do corpo todo (451,1 g) maiores do que os que se encontravam em fase pré-PVC, além da densidade mineral óssea de 0,0007 g/cm²/semana, sendo o último parâmetro sem influência da maturação e da carga de treinamento, concluindo que o treinamento sistemático de futebol, independentemente da magnitude da carga interna imposta, promove adaptações positivas em marcadores do sistema esquelético de jovens atletas contribuindo com seu desenvolvimento atlético.

Adicionalmente, algumas adaptações fisiológicas também ocorrem no sistema cardíaco quando relacionamos o exercício físico com o estágio maturacional. Cirer-Sastre e colaboradores (2019) verificaram que 3 horas após o exercício físico a concentração de troponina T de alta sensibilidade (HS-CTNT) atingiu seu pico, tendo relação diretamente proporcional com métricas como PSE ($R^2 = 66\%$, MPE = 96,1%), distância absoluta ($R^2 = 70,1\%$, MPE = 99,4%) e relativa ($R^2 = 69,8\%$, MPE = 99,5%), velocidade máxima ($R^2 = 60\%$, MPE = 90,8%), frequência cardíaca máxima (MPE = 92,5%), distância em alta intensidade (MPE = 90,45%) e tempo na zona 5 de frequência cardíaca ($R^2 = 60,7\%$, MPE = 92,7%). Ademais, além dos biomarcadores e métricas externas, o aumento das concentrações de HS-CTNT após o exercício se relacionam com o tempo e idade ($R^2 = 68,7\%$, MPE = 99,1%), estágio maturacional de Tanner ($R^2 = 63,8\%$, MPE = 91,2%), frequência cardíaca ($R^2 = 69,1\%$, MPE = 98,8%) e tempo de experiência na modalidade ($R^2 = 72,9\%$, MPE = 99,7%), havendo uma tendência em jovens futebolistas com maior idade biológica e cronológica a terem maiores níveis de HS-CTNT após o exercício físico do que jovens com menor nível maturacional.

Compreender os principais mecanismos fisiológicos e adaptações que podem ser provocadas pela exposição ao

estímulo do treinamento em futebolistas das categorias de base é de suma importância para considerar as particularidades que o planejamento do treino deve considerar, além de tornar a intensidade e carga total do treinamento adequadas de acordo com a capacidade física do grupo, evitando lesões, sobrecarga neuromuscular e transtornos psicológicos.

O estudo de Nobari e colaboradores (2021b) relacionou as adaptações oriundas pelo treinamento, porém considerando a posição de cada jogador, relatando que os principais parâmetros que sofreram mudanças foram a porcentagem de gordura, massa de gordura, massa magra e estágio maturacional, além de variações significativas no VO_2max e potência pico entre o início e fim da temporada. Goleiros e meio-campistas centrais tendem a ter características predominantes de endomorfo, 3,33 e 3,77 respectivamente, enquanto extremos, centroavantes e zagueiros tendem a ter características de ectomorfo 3,90, 3,44 e 3,44 respectivamente, corroborando de forma direta com os dados antropométricos coletados, sendo os goleiros a posição com maior estatura média – 181,75 cm –, maior massa corporal – 73,44 kg – e maior tempo no pós-PVC – 2,38. Considerando que as demandas físicas do jogo de futebol são dependentes da posição, foi encontrado que goleiros, zagueiros e extremos tendem a apresentar maior potência pico ao final da temporada quando comparados aos atacantes, no entanto, quando abordamos a capacidade aeróbica identificamos que não houve diferenças significativas entre as posições de linha no VO_2max durante toda a temporada e somente entre elas e os goleiros, verificando que os goleiros tiveram VO_2max significativamente menor do que as posições de linha durante a temporada. Em estudo subsequente avaliando jogadores de 13 anos por 26 semanas, Nobari e colaboradores (2022a) não encontraram correlação significativa entre o estágio de maturação e VO_2max ($r = 0,266$), desempenho de *sprint* de 10 m (-0,337) e 30 m (-0,031), sendo os meio-campistas os que obtiveram melhor desempenho neste estudo nas avaliações de velocidade, onde o desempenho entre a distância de 10 m teve uma correlação alta com o de 30 m (0,769). Outro achado importante foi a correlação entre a carga de trabalho durante as primeiras 13 semanas para a segunda metade do período ($r = 0,551$), destacando a importância para a magnitude da carga de treinamento ser assertiva no início do período para garantir uma janela de progressão de carga mais elevada até o final da periodização do treinamento.

Para promover os estímulos específicos que cada posição demanda no esporte, Di Giminiani e Visca (2017) investigaram as adaptações que o treinamento e a maturação pode promover durante três temporadas em futebolistas de 13 anos, verificando um aumento significativo de 5,72% no VO_2max e uma diminuição de 1,7% da frequência cardíaca máxima, demonstrando uma otimização da metabolização do oxigênio, além da evolução nos parâmetros aeróbicos, foi observado o aumento da força explosiva com aumento significativo do *Squat Jump* (SJ) (agachamento com salto) = 10,26%, *Countermovement Jump* (CMJ) (salto com contramovimento) = 7,36% e *Hop Test* (HT) (teste de salto) = 8,34%, consequentemente refletindo na diminuição do tempo nos testes de *sprint* de 15 m e 30 m, respectivamente reduzindo 3,5% e 4,44% entre a primeira e terceira temporada. Esses achados são importantes pois demonstram em média o grau de desenvolvimento de diferentes sistemas energéticos e sua influência no desempenho físico de jovens futebolistas, verificando possíveis adaptações como aumento da rigidez tendínea, melhora do débito cardíaco, melhor capacidade de tamponamento e diminuição da acidose metabólica, maior eficiência da utilização de energia elástica, aumento do recrutamento de unidades motoras, aumento da ativação dos músculos agonistas, diminuição da ativação dos músculos antagonistas, aumento da eficiência dos sistemas ATP-CP, glicolítico láctico e oxidativo, assim como a maior tolerância ao esforço. É um desafio atribuir os efeitos específicos advindos do treinamento e os efeitos específicos relacionados ao avanço no estágio maturacional, no entanto, fica evidente a sinergia entre os dois fatores sendo fundamentais para o aumento da capacidade física seguindo uma adequada progressão no volume de treinamento e intensidade. Falces-Prieto e colaboradores (2021) também encontraram resultados semelhantes com protocolos de exercício resistido com e sem carga externa durante 15 semanas, verificando aumento significativo nos valores do CMJ de 7,46% para os atletas que treinaram sem carga externa e 9,91% para atletas que

treinaram com carga externa, além do aumento da capacidade aeróbica de 3,53% e 3,1% para os atletas que treinaram sem e com carga externa respectivamente, ambas as condições também foram capazes de reduzir a porcentagem de gordura corporal e massa corporal, além de aumentar até 3,92% de massa magra durante esse período, concluindo que o treinamento resistido não interferiu negativamente na capacidade aeróbica e ambas as condições surtiram efeito positivo em indicadores importantes para o desempenho esportivo, podendo ser aplicadas de acordo com a característica maturacional dos atletas e sua individualidade. Relacionando aos achados do estudo anterior, Rodriguez-Rosell e colaboradores (2016) investigaram o efeito de um protocolo de exercício combinado com exercícios de força e velocidade em futebolistas Sub-13, Sub-15 e Sub-17 durante 6 semanas, encontrando diferenças significativas entre a magnitude da evolução dos parâmetros avaliados de acordo com o estágio maturacional, o aumento da força máxima variou de 7,5% até 54,5%, consequentemente influenciando na melhora do teste CMJ com uma variação de 5,7% até 12,5%, obtendo melhora pronunciada também nos testes de velocidade com reduções de 1,2% até 3,7% para os atletas que realizaram a intervenção de exercícios quando comparados ao grupo controle, salientando que os efeitos do protocolo foram maiores em magnitude na categoria Sub-13, quando comparado a categorias mais avançadas, demonstrando grande eficácia nesta faixa etária para promover adaptações fisiológicas relacionadas a manifestação de força. Nobari e colaboradores (2021a), por sua vez, também investigaram as adaptações do treinamento durante 20 semanas em futebolistas da categoria Sub-16 e verificaram que a velocidade máxima teve uma correlação de ($G = -0,38$) com o tempo de treinamento, assim a melhora de variáveis advindas do RAST, como índice de fadiga ($G = 0,86$), potência média ($G = 0,47$) e potência pico ($G = 0,62$), sugerindo também que a maturação não teve relação direta com a melhora destes indicadores, entretanto foi uma covariável que é importante para as adaptações ocorrerem assim como o aumento progressivo da carga de treinamento durante a temporada.

Pode-se afirmar que protocolos que contemplem diferentes valências físicas como resistência aeróbica intermitente, força explosiva, resistência anaeróbica, flexibilidade e exercícios técnico-táticos junto com as adaptações fisiológicas potencializadas com a maturação promovem importante aumento da capacidade física em jovens futebolistas.

Diante das evidências apresentadas, torna-se evidente que o processo de maturação biológica influencia significativamente a magnitude e a natureza das adaptações fisiológicas decorrentes do treinamento em jovens futebolistas, afetando parâmetros hormonais, morfofuncionais e bioenergéticos. Essas adaptações, embora fundamentais para o desenvolvimento atlético, não ocorrem de forma homogênea entre os indivíduos, exigindo, portanto, estratégias de prescrição e monitoramento do treinamento ajustadas às demandas específicas de cada estágio maturacional. Entretanto, para que essas estratégias sejam efetivas e seguras, é imprescindível considerar não apenas os indicadores objetivos de desempenho e carga, mas também as percepções subjetivas dos atletas quanto à intensidade do esforço e ao seu estado de bem-estar. A próxima seção, portanto, aborda de forma sistemática como variáveis perceptivas, como a percepção subjetiva de esforço (PSE), a recuperação percebida e o estresse psicofisiológico, podem fornecer subsídios essenciais para a individualização do treinamento, contribuindo para a prevenção de lesões, o manejo da carga e a promoção de um ambiente esportivo saudável durante as diferentes fases da maturação.

3.3 Percepção de variáveis subjetivas relacionadas com a intensidade e bem-estar

As variáveis biopsicológicas são amplamente utilizadas para o controle do bem-estar e da carga interna percebida por jovens atletas de futebol, sendo de suma importância compreender as variações que podem ou não ocorrer de acordo com o nível maturacional, e os fatores que são considerados na sua interpretação para o controle da carga e futuras prescrições de treino. Seguindo o raciocínio exposto anteriormente, Brink e colaboradores (2017) buscaram compreender quais fatores

influenciavam os treinadores a prescreverem os treinos com base nas respostas de variáveis subjetivas dos seus atletas, investigando também se havia uma diferença significativa entre o esforço previamente planejado e o esforço percebido após a sessão de treino. Houve uma correlação moderada entre a taxa de esforço percebido e a percepção subjetiva de esforço dos jovens atletas $r = 0,58$ ($p < 0,01$), e da taxa de esforço observado após a sessão e a PSE dos atletas $r = 0,64$ ($p < 0,01$), conferindo uma incompatibilidade entre as respostas esforço planejado pelos treinadores e o que foi percebido pelos atletas, existindo uma tendência dos treinadores de subestimarem a PSE dos atletas. Métricas como *Player Load* (carga do jogador) e a capacidade de resistência intermitente demonstraram serem fatores que os treinadores consideram como preditores do esforço pretendido e observado pelos treinadores, existindo a tendência de relacionarem os atletas com menor desempenho em ambas as métricas a uma PSE mais elevada, todavia, indicadores como *Training Impulse* (TRIMP) (impulso de treinamento) e PVC não se mostraram determinantes neste estudo para a percepção dos treinadores, provavelmente pela característica da amostra ser majoritariamente composta por futebolistas pós-PVC.

Como identificado no parágrafo exposto anteriormente, existem divergências entre a carga planejada e a percebida pelos atletas, sendo que a maturação pode influenciar na PSE dos atletas, como demonstrou Salter e colaboradores (Salter *et al.*, 2024) em seu estudo, onde identificou que um aumento de 5% na estatura, com base na fórmula de máxima estatura predita, resultou em uma percepção de intensidade 6,9 unidades arbitrárias (UAs) menor, e um aumento de 10% na estatura reduziu a percepção em 13,9 UAs, sendo relacionadas também a um melhor desempenho no teste CMJ, índice de força relativa e rigidez absoluta das pernas, concluindo que indivíduos com maturação mais precoce tendem a suportar mais o esforço e ter melhor desempenho atlético quando comparados a futebolistas com maturação tardia. Se relacionando com o estudo exposto anteriormente, Salter e colaboradores (2021) não encontraram correlações significativas entre o estágio maturacional e a PSE da sessão ($R^2 = -0,51$), porém encontraram correlação significativa com a percepção de esforço técnica / cognitiva ($R^2 = 0,1$) durante treinos envolvendo o protocolo Y-SAFT que simula condições específicas encontradas em partidas oficiais, concluindo que atletas com maturação tardia tendem a perceber o esforço técnico/cognitivo de forma mais elevada do que os outros grupos.

A análise das variáveis subjetivas de carga interna, como a percepção subjetiva de esforço e indicadores de bem-estar, revelou-se essencial para o monitoramento das respostas psicofisiológicas de jovens atletas ao treinamento, especialmente diante das distintas fases maturacionais. As evidências discutidas destacam discrepâncias entre a carga planejada pelos treinadores e a carga percebida pelos atletas, reforçando a necessidade de individualização na prescrição dos estímulos. Além disso, o estágio de maturação parece exercer influência sobre a forma como o esforço físico e cognitivo é internalizado e interpretado, o que deve ser considerado em abordagens mais sensíveis de controle da carga. No entanto, ainda que essas percepções sejam relevantes para o ajuste da carga de treino, é imperativo compreender como tais cargas, quando aplicadas de maneira inadequada ou em desacordo com o estágio maturacional, podem aumentar o risco de lesões em futebolistas em formação. Dessa forma, o próximo tópico abordará de maneira aprofundada a interação entre carga de treinamento, risco de lesão e maturação biológica, com o intuito de evidenciar estratégias que conciliem desempenho esportivo e segurança no processo de desenvolvimento atlético.

3.4 A relação entre carga de treinamento, risco de lesões e maturação biológica

A lesão é um fenômeno multifatorial e complexo, envolvendo fatores intrínsecos dos indivíduos e extrínsecos. Durante a maturação existem períodos em que jovens atletas de futebol estão mais suscetíveis a incidência de lesões traumáticas e por sobrecarga nos membros inferiores, sendo comum a doença de Osgood-Schlatter e doença de Sever. O

estudo realizado por Van Der Sluis e colaboradores (2015) investigou por três anos 26 futebolistas Sub-12 para verificar as diferenças da incidência de lesões entre diferentes grupos maturacionais, concluindo que os jogadores que atingiram o PVC de forma mais tardia tiveram uma incidência de lesões por sobrecarga até 7 vezes maior do que jogadores que amadureceram de forma precoce no ano anterior ao PVC, sendo o período entre 13,5 e 14,5 anos, o ano anterior ao PVC e período que o atleta se encontra no PVC fases que demandam extremo cuidado pois parecem ser mais suscetíveis para a incidência de lesões, no caso do presente estudo atletas que amadureceram de forma tardia tiveram 3,53 lesões a cada 1.000h de exposição enquanto os que amadureceram antes tiveram uma incidência de 0,49 lesões no ano anterior ao PVC, corroborando com os achados, no ano do PVC o padrão se manteve, porém com uma incidência de 3,97 lesões a cada 1.000h de exposição para jogadores que amadurecem de forma tardia e 1,56 para jogadores que amadureceram de forma precoce.

É encontrado de forma consolidada na literatura que a mudança em fatores antropométricos, neuromusculares e fisiológicos induzidos pelo período circa-PVC é determinante para o aumento da incidência de lesões de todos os tipos após esta fase. O estudo de Monasterio e colaboradores (2023) corrobora com estas afirmações e detalha que conforme o estágio maturacional aumenta a incidência de lesões de todos os tipos tende a aumentar de forma proporcional, assim como os dias perdidos por lesão. O estudo analisou dados epidemiológicos de 2000 até 2020 e constatou que lesões relacionadas ao crescimento foram mais numerosas durante a fase circa-PVC, enquanto as musculares foram mais incidentes no período pós-PVC afetando principalmente os músculos isquiotibiais, quadríceps e adutores. Lesões articulares e ligamentares foram mais frequentes no período pós-PVC, se destacando lesões meniscais e na articulação do tornozelo. Diante dos achados, podemos concluir que a maior incidência de lesões entre todos os tipos se torna maior conforme o estágio maturacional avança também pela complexidade e aumento de fatores externos, como aumento da exposição a carga de treinamento e jogos, aumento da demanda mecânica, muscular e tendínea, entre outros fatores. No presente estudo, jogadores no período pré-PVC apresentaram uma incidência de 3,2 até 5,5 vezes menor que jogadores no período circa e pós-PVC, sendo influenciado fortemente pelos fatores listados anteriormente, tornando fundamental o controle da carga interna e externa, considerando a particularidade morfofuncional de cada estágio maturacional e as tendências existentes até a fase adulta. Outro trabalho que corrobora com os achados anteriores foi o de Johnson e colaboradores (2023) que acompanhou 77 atletas das categorias Sub-13 até Sub-16 por duas temporadas, concluindo também que o período circa-PVC é um período crítico para a incidência de lesões particularmente quando os atletas se encontram neste estágio maturacional, possuem uma alta taxa de crescimento por ano e uma alta taxa de crescimento de membros inferiores por ano $\geq 7,2$ cm. Estes efeitos foram mitigados por protocolos de exercício resistidos individualizados para atletas que tinham os três fatores de risco, havendo uma diferença na incidência de lesões de 5,2/1.000h para 0,8/1.000h, assim como uma redução dos dias afastados por conta desta incidência de 216 dias perdidos/1.000h para 17 dias perdidos/1.000h, demonstrando o grande impacto que um protocolo individualizado de exercícios envolvendo equilíbrio, coordenação motora, quedas e treinamento de força, além do conhecimento de fatores de risco para a faixa etária para a equipe, garante maior saúde, bem-estar e um cenário mais favorável para a equipe com a redução da incidência de lesões em jovens futebolistas. Avaliar e planejar intervenções individualizadas para diminuir fatores de risco específicos para lesões articulares de alta severidade, como rompimentos totais do ligamento colateral anterior (LCA) e ligamento colateral medial (LCM), é de suma importância para jovens futebolistas. Avaliando estes fatores de risco, Fernquest e colaboradores (2021) investigaram o alinhamento das pernas em adolescentes e a influência da atividade física nestes indicadores, destacando em seu estudo o fato de joelhos em valgo serem um forte fator de risco para lesões ligamentares mas que podem uma condição minimizada pelos níveis de atividade física de contato e com o avanço da maturação, os principais achados ilustram a afirmação anterior onde indivíduos com idade esquelética mais avançada tendem a ter um ângulo entre

quadril e joelho $1,37^\circ$ ($p < 0,001$) menor do que aqueles com epífise aberta, demonstrando a influência da maturação na minimização deste fator de risco, assim como indivíduos com maiores níveis de atividade física demonstraram ter um ângulo $1,85^\circ$ ($p < 0,001$) menor da epífise tibial proximal medial quando comparados a indivíduos com menor nível de atividade, reiterando adaptações fisiológicas positivas que o treinamento e protocolos individualizados de exercício podem promover para jovens atletas de futebol em seu sistema esquelético.

Como foi exposto anteriormente, torna-se invariavelmente importante controlar a carga interna e externa de treinamento, assim como o tempo de exposição em jogos para atletas que se encontram particularmente no período pré-PVC e cerca-PVC, considerando também a importância da individualização de protocolos de treinamento com conteúdo que podem reduzir a incidência de lesões nesta fase. Relacionando a temática da individualização do treinamento e suas demandas específicas, Salter e colaboradores (2023) investigaram por 6 semanas 55 atletas entre as categorias Sub-12 e Sub-16 objetivando avaliar a influência do estágio maturacional no desempenho neuromuscular e percepção subjetiva de esforço em jogos reduzidos, sendo divididos de acordo com o estágio de maturação e comparados aos grupos que não levaram o estágio de maturação em consideração. Os principais achados demonstram que jogadores em fase de pré-PVC tendem a perceber a intensidade das sessões de forma mais elevada quando comparados ao grupo cerca-PVC e pós-PVC, entretanto, quando abordamos as demandas mecânicas específicas dos jogos reduzidos encontramos que os grupos que foram separados pelo estágio de maturação apresentaram diferenças importantes nas avaliações pré e pós sessão relacionados a rigidez absoluta tendínea, comprimento da passada e cadência da passada, refletindo diretamente em fatores como tempo de contato com o solo e índice de força relativa. Se reforça a ideia que treinamento individualizado atenua fatores estressores entre os grupos, levando em considerações fatores intrínsecos que grupos divididos somente pela idade cronológica não consideram, a rigidez tendínea é uma delas, sendo um mecanismo importante para eficiência mecânica atuando em sinergia com os grupos musculares envolvidos, atletas com maturação tardia tendem a ter fadiga central de forma mais precoce, levando a compensações periféricas no sistema muscular, articulações e tendões que ainda podem não estar totalmente desenvolvidos nesta etapa do desenvolvimento humano. Considerar as diferenças entre a percepção do esforço entre os estágios maturacionais e a possível sobrecarga que pode haver especialmente nos tecidos tendíneos e musculares é de suma importância para reduzir os riscos de uma lesão precoce que pode afetar negativamente o desenvolvimento motor e atlético do indivíduo.

O estudo de García-Ceberino e colaboradores (2024) buscou identificar as correlações em parâmetros de carga externa com dados de GPS levando em consideração o estágio maturacional e o tipo de tarefa realizada, e assim como o estudo anteriormente exposto sugeriu algumas tendências entre os diferentes estágios maturacionais nos parâmetros de carga interna, este estudo demonstrou que a *Player Load* possui uma relação inversamente proporcional com o estágio maturacional, entretanto, métricas como distância em alta intensidade, aceleração ($+2/\text{min}$), desaceleração ($+2/\text{min}$) possuem relação diretamente proporcional, ambas as condições durante jogos amistosos e jogos reduzidos. O estágio maturacional não teve interferência em métricas amplamente utilizadas como distância relativa (m/min), velocidade máxima, velocidade máxima, velocidade média, frequência cardíaca máxima e frequência cardíaca média. Os achados corroboram com a afirmação que jogadores com estágio maturacional mais avançado tendem a ter um nível de aptidão mais elevado e conseguem gerir de forma mais assertiva os esforços em alta intensidade quando comparados ao grupo pré-PVC e cerca-PVC. Seguindo o raciocínio que conforme o estágio maturacional avança, as demandas fisiológicas e competitivas também aumentam, Amman e colaboradores (2023) quantificaram a carga externa de jogos entre a categoria Sub-18 e Sub-21, com a hipótese de que os maiores indicadores de carga externa estariam na categoria mais competitiva e mais avançada maturacionalmente, porém os resultados indicaram o oposto, tendo métricas como desaceleração ($p = 0,008$), distância relativa em alta velocidade ($p < 0,001$), distância em alta

carga metabólica ($p < 0,001$), intensidade da velocidade ($p < 0,001$) e distância de *sprint* ($p < 0,001$), sendo maiores na categoria Sub-21 somente a carga dinâmica de estresse ($p = 0,043$), concluindo que a progressão da carga externa que uma partida oficial demanda não linear com a idade das categorias, servindo como uma importante informação para treinadores planejarem de forma mais cautelosa os estímulos e dose-resposta dos seus atletas, diminuindo o risco de lesões por sobrecarga ou inadequado condicionamento físico.

Considerar as particularidades entre cada fase do estágio maturacional é fundamental para que as intervenções planejadas nos treinamentos sejam efetivas e oportunizem o atleta a estar exposto a estímulos e respostas fisiológicas assertivas para o seu desenvolvimento atlético. Fatores situacionais e contextuais, recuperação, capacidade física e técnica interferem diretamente nos resultados expostos pelos estudos anteriores, entendendo que embora existam tendências, desconsiderar a individualidade biológica de cada atleta é um erro crítico no momento do planejamento dos treinamentos e controle da carga de treinamento.

A recuperação é um tópico inerente ao desempenho esportivo e desenvolvimento atlético, portanto é algo que deve ser priorizado e avaliado de forma sistemática. Mandorino e colaboradores (2022) investigaram os efeitos da maturação na percepção subjetiva de esforço e sua relação com a incidência de lesões sem contato e doenças. Em contraste com o estudo de Salter e colaboradores (2024) citado anteriormente, os atletas que se encontraram no período pós-PVC relataram intensidade mais elevada (PSE) e pior recuperação na escala *Total Quality Recovery* (TQR) (qualidade total de recuperação) quando comparados aos grupos circa-PVC e pré-PVC. Indicadores como a razão carga aguda/crônica, respostas da escala TQR e a variação percentual da carga total semana tiveram uma correlação importante para o aumento do risco de doenças, assim como para o aumento da incidência de lesões quando adicionamos a percepção subjetiva de esforço entre os fatores. O grupo circa-PVC teve maior incidência de lesões 31,2/1.000h de exposição do que o grupo pré-PVC 18,3/1.000h, corroborando com achados expostos anteriormente. Em suma, um rápido aumento da carga interna e externa, associados com uma baixa recuperação provoca um cenário favorável para a incidência de lesões sem contato e ocorrência de doenças em jovens jogadores.

Os parâmetros subjetivos de carga interna apresentam relevante associação com a incidência de lesões; no entanto, quando analisados de forma isolada, demonstram capacidade preditiva limitada. Essa conclusão é compartilhada tanto pelo estudo de Mandorino *et al.* (2022) quanto pelo de Nobari *et al.* (2024), já citados anteriormente. A aptidão física, por sua vez, apresenta forte correlação com o estágio maturacional, evidenciando uma tendência diretamente proporcional entre o nível de maturidade biológica e o desempenho em capacidades físicas como resistência aeróbica, potência aeróbica, velocidade e força. Nobari *et al.* (2022b) demonstraram essa relação ao identificarem que a carga crônica de treinamento, a monotonia e o estágio de maturação foram preditores significativos para o desempenho em resistência aeróbica. No caso da potência aeróbica, a predição esteve associada à razão carga aguda/crônica, à monotonia e aos valores de PVC.

Em estudo subsequente, Nobari *et al.* (2024), avaliando jogadores de futebol da categoria Sub-14, observaram uma correlação moderada negativa entre o estresse do treinamento (*Training Strain*) e o estágio maturacional ($r = -0,46$; $p = 0,03$), sugerindo que, à medida que os atletas progridem maturacionalmente, sua tolerância ao estresse gerado pelas cargas de treino tende a aumentar. Outro fator determinante abordado foi a qualidade do sono, a qual apresentou correlação negativa moderada com a monotonia do treino ($r = -0,461$; $p < 0,05$), indicando que menores níveis de monotonia estão associados a melhor qualidade de sono.

Corroborando com esses achados, Nobari *et al.* (2023b) também identificaram correlação entre estágio maturacional e tensão de treino ($r = 0,479$; $p = 0,33$), além de relatarem que, apesar de os valores de carga aguda, carga crônica e dor muscular

de início tardio (DOMS) serem mais elevados na primeira metade da temporada competitiva, e a monotonia mais acentuada na segunda metade, tais variáveis não apresentaram correlações estatisticamente significativas com as variações nos parâmetros de carga interna ao longo da temporada. Isso sugere que, embora relevantes para o monitoramento do bem-estar e da resposta do atleta, esses indicadores isoladamente não explicam a flutuação da carga interna durante o período competitivo.

Com o avanço da literatura científica, modelos preditivos estão sendo desenvolvidos e utilizados no contexto esportivo para reduzir o risco de um atleta se lesionar e conseguir intervir de forma antecipada a esse evento. Mandorino e colaboradores (2022) compararam três modelos para analisar os dados e verificaram que o *Support Vector Machine* (SVM-Lag) (máquina de vetores de suporte) foi mais eficaz na habilidade preditiva de lesões em membros inferiores com uma área sob a curva = 0,84, demonstrando que considerar dados de treino de até três dias antes da lesão é crucial para a capacidade preditiva, encontrando correlações como a carga acumulada de duas semanas (> 3.605 UAs) em conjunto com elevado *Strain* (> 10.345 UAs) aumenta o risco de lesões, alertando também a um baixo estado de recuperação TQR ($\leq 6,94$ UAs) junto a baixa carga acumulada de duas semanas ($\leq 3.605,23$ UAs) e alta estatura (> 169 cm) também como fator de risco para a incidência de lesões em membros inferiores, outro fator relevante mapeado foi que um desempenho abaixo no teste CMJ, combinado com alta massa corporal e alta carga acumulada nas últimas 4 semanas ($> 5.916,5$ UAs) foi também um fator de risco. O estudo também corroborou com achados listados anteriormente por outros estudos como a maior incidência de lesões em atletas com níveis avançados de maturação, e que o fenômeno ocorre com uma interação não linear de fatores não modificáveis, como a antropometria e maturação, junto a fadiga neuromuscular e carga de treino.

Um pilar fundamental que une o controle de carga, recuperação muscular, desenvolvimento maturacional e desempenho esportivo é a nutrição adequada de jovens futebolistas pré e pós atividade, objetivando otimizar o desempenho e o processo de recuperação muscular. Stables e colaboradores (2024) avaliaram a ingestão de carboidratos (CHO) pré e pós atividade em jovens futebolistas de 12 até 23 anos de idade. A ingestão de CHO pré-treino apresentou uma variação de 1,5 g·kg realizado pela categoria Sub-12 até 0,8 g·kg para a categoria Sub-23, sendo inferiores à quantidade recomendada de 1 até 3 g·kg em um período de até quatro horas antes da atividade. Houve uma tendência das categorias Sub-12 e 13 consumirem mais CHO do que as categorias mais avançadas antes do treino, entretanto nos pós treino, a ingestão relativa de CHO foi maior em atletas Sub-12, Sub-13, Sub-15, Sub-16 e Sub-18 quando comparados a jogadores Sub-14 e Sub-23, salientando o fato de que a ingestão de proteínas foi adequada para todas as categorias nos pós treino, ou seja $> 0,3$ g·kg. Estes achados são importantes pois demonstram os atletas avaliados não tiveram um consumo de CHO adequado durante o período de treinamentos, comprometendo seu desenvolvimento maturacional, desempenho físico e crescimento, sendo necessária a atenção para educação alimentar pois é um fator determinante para diversos parâmetros que são de extrema importância para jovens atletas. Outro estudo de Stables e colaboradores (2024) corrobora com os achados anteriores de que o sub-abastecimento de CHO pode comprometer negativamente a saúde óssea de futebolistas de 17 anos, aumentando os níveis de biomarcadores ósseos relacionados a remodelação óssea, como β CTx e propeptídeo n-terminal, por mais que estejam próximos do completo desenvolvimento esquelético, sendo um importante fator de risco de lesões durante o crescimento e maturação quando persistem elevados de forma compensatória durante longos períodos.

Tais evidências, aliadas aos achados previamente discutidos, reforçam de maneira robusta a importância do descanso e alimentação adequados para a recuperação neuromuscular e o desenvolvimento maturacional, além da necessidade de um controle sistemático e individualizado da carga de treinamento com o objetivo de mitigar os fatores de risco relacionados à incidência de lesões. Outro ponto salientado nos estudos diz respeito à limitada significância preditiva isolada de variáveis como carga aguda, carga crônica, razão carga aguda/crônica, monotonia, estresse do treino, estágio de maturação e qualidade

do sono, sendo necessária a aplicação de modelos de regressão múltipla para identificar relações significativas. Isso evidencia a complexidade multifatorial que permeia a ocorrência de lesões em atletas jovens.

Dessa forma, conclui-se que profissionais da saúde do esporte, treinadores, fisiologistas e preparadores físicos devem desenvolver estratégias de intervenção baseadas em uma abordagem holística e integrativa, considerando, de forma individualizada, os aspectos fisiológicos, psicológicos e sociais inerentes ao processo de desenvolvimento do jovem atleta.

Com base nos achados anteriormente discutidos, torna-se evidente que a maturação biológica exerce papel central na mediação da resposta fisiológica ao treinamento, bem como na susceptibilidade a lesões em jovens futebolistas. A análise integrada de indicadores como carga de treinamento, recuperação, percepção subjetiva de esforço e variáveis antropométricas permite compreender, de maneira mais robusta, os múltiplos fatores que influenciam o risco de lesões, especialmente em fases críticas como o período circa-PVC. Diante desse cenário, torna-se imperativo adotar estratégias que respeitem as diferenças individuais de maturação e suas implicações biomecânicas, fisiológicas e psicológicas. Nesse contexto, emerge o *bio-banding* (bio-agrupamento) como uma abordagem promissora e inovadora, visando agrupar os atletas de acordo com sua maturidade biológica, ao invés da idade cronológica. Essa metodologia busca equalizar as demandas competitivas e de treinamento entre os jogadores, promovendo maior equidade no desenvolvimento atlético e reduzindo os riscos associados ao desequilíbrio maturacional. O tópico a seguir explora essa estratégia, discutindo sua aplicabilidade prática, fundamentos científicos e potenciais impactos no contexto do futebol de base.

3.5 *Bio-banding* nas categorias de base do futebol

Bio-banding é um conceito que objetiva dividir os atletas em grupos de acordo com sua idade biológica, igualando fatores que somente a divisão advinda da idade cronológica não é capaz de realizar, tornando possível estímulos mais precisos de acordo com o estágio maturacional, uma maior individualização para os atletas e um processo de detecção de talentos mais efetivo e justo. Durante os tópicos anteriores, alguns estudos expostos demonstraram divisões utilizando este conceito e obtendo resultados favoráveis de acordo com o estágio maturacional, visto a particularidade que cada etapa possui no desenvolvimento dos diferentes sistemas do nosso organismo, detalhes que devemos considerar na prescrição e controle de carga de acordo com o estágio maturacional, e consequentemente, o reflexo que as diferentes abordagens podem ter nos fatores de risco da incidência de uma lesão.

O estudo de Macedo e colaboradores (2025) objetivou investigar as diferenças entre parâmetros de carga e técnicos em jogos reduzidos com equipes Sub-11 divididas com base na idade biológica e cronológica, encontrando aumento significativo da carga externa quantificada pela *Player Load* em futebolistas pré-PVC, 415,5 UAs em jogos com divisão biológica e 388,8 UAs em jogos com divisão cronológica, representando um aumento de 11,5% entre as duas condições, sendo o contrário verdadeiro para jogadores circa-PVC, resultando em 354,4 UAs em divisão de equipes com base na idade biológica e 366 UAs em equipes com idade cronológica. Para indicadores de carga interna como PSE e TRIMP, não foram encontradas diferenças significativas entre as duas divisões de equipes, havendo somente o relato de 1,2 UA a menos em média para jogadores circa-PVC quando comparados a jogadores pré-PVC. A principal conclusão de que o estudo nos traz é que o *bio-banding* foi eficaz em aumentar a carga externa para jogadores pré-PVC, porém não o suficiente para modificar de forma significativa a PSE e TRIMP, sendo um detalhe importante para considerar quando for aplicada em treinamentos de futebol com jovens atletas.

Os achados apresentados no presente tópico corroboram a aplicabilidade prática e a relevância do *bio-banding* como estratégia metodológica para equalizar demandas físicas e técnicas de jovens futebolistas, respeitando suas distintas trajetórias

maturacionais. A partir da reorganização dos atletas com base na idade biológica, torna-se possível potencializar o estímulo de carga externa, sobretudo em indivíduos em fase pré-PVC, sem promover aumento significativo na percepção subjetiva de esforço e na carga interna. Essa constatação reforça o potencial dessa abordagem em promover um ambiente de treinamento mais equitativo, seguro e individualizado, favorecendo tanto o desempenho esportivo quanto a redução de riscos lesivos. Assim, o *bio-banding* configura-se como uma ferramenta valiosa no processo de planejamento e periodização do treinamento em categorias de base, contribuindo para um desenvolvimento esportivo mais justo, eficiente e adaptado às reais necessidades biológicas dos jovens atletas.

4. Considerações Finais

Ao finalizar a presente revisão, torna-se essencial destacar não apenas os aspectos conceituais e teóricos discutidos, mas principalmente as aplicações concretas que esses conhecimentos podem gerar no cotidiano do futebol de base. As implicações práticas derivadas da análise permitem estabelecer estratégias mais seguras e eficazes de treinamento, considerando as particularidades da maturação biológica e a necessidade de monitoramento integrado das cargas, o que favorece tanto o desenvolvimento do desempenho quanto a redução da incidência de lesões.

4.1 Implicações práticas

Com base na análise dos dados apresentados ao longo dos tópicos da revisão, é possível elencar diversas implicações práticas com potencial de aplicação no contexto do futebol de base. Primeiramente, destaca-se a importância da avaliação sistemática da maturação biológica como parâmetro central para a individualização do treinamento, principalmente nos períodos críticos do desenvolvimento, como o circa-PVC. A aplicação de equações preditivas e medidas auxiliares, embora com limitações, deve ser incorporada como rotina diagnóstica e de monitoramento.

Além disso, as evidências apontam que a prescrição da carga de treinamento deve ser adaptada ao estágio maturacional, não apenas com foco em desempenho, mas com vistas à mitigação do risco de lesões, sobretudo musculares, ligamentares e por sobrecarga. A utilização de marcadores subjetivos como a percepção de esforço, recuperação percebida e tensão de treino, em conjunto com indicadores objetivos de carga interna e externa, possibilita uma gestão mais precisa das demandas fisiológicas e psicofisiológicas impostas aos atletas.

Outro ponto relevante refere-se à necessidade de estratégias nutricionais alinhadas com a maturação e a carga de treino, sobretudo na ingestão de carboidratos e proteínas nos períodos pré e pós-atividade, de modo a garantir suporte energético adequado ao crescimento e à recuperação muscular. A inclusão de exercícios resistidos com ou sem carga externa, especialmente em protocolos individualizados, surge como ferramenta eficaz para reduzir a incidência de lesões e otimizar o desenvolvimento físico em diferentes faixas maturacionais.

Por fim, a implementação de estratégias como o *bio-banding* apresenta-se como alternativa promissora para o ajuste das demandas competitivas e de treinamento entre jovens atletas. Essa abordagem não apenas favorece o desenvolvimento esportivo equitativo, como também oferece um ambiente mais seguro e responsivo às especificidades biológicas dos jogadores. Em síntese, as práticas esportivas em categorias de base devem ser sustentadas por um modelo integrado e maturacionalmente sensível de avaliação, prescrição, monitoramento e intervenção.

4.2 Limitações

Apesar da robustez dos achados apresentados e da abrangência metodológica utilizada na presente revisão integrativa,

algumas limitações devem ser reconhecidas. Primeiramente, a heterogeneidade dos métodos de estimativa da maturação biológica entre os estudos analisados, com predominância de equações preditivas como as de Mirwald *et al.* (2002) e Khamis e Roche (1994), pode comprometer a precisão na categorização maturacional dos participantes, especialmente considerando as variações interindividuais e a influência de fatores genéticos e socioculturais não controlados. A ausência de padronização na quantificação da carga externa e interna, bem como o uso de diferentes métricas subjetivas, também representa um entrave para a comparabilidade dos resultados. Outro aspecto relevante refere-se à escassez de estudos longitudinais com amostras representativas e controle rigoroso de variáveis dependentes e independentes, o que reduz a generalização dos achados para diferentes contextos de categorias de base. Além disso, a estratégia de busca adotada apresentou limitações quanto ao número de palavras-chave utilizadas, sem a inclusão de termos sinônimos ou variações terminológicas, o que pode ter restringido a identificação de artigos potencialmente relevantes. Por fim, embora o *bio-banding* se apresente como uma estratégia promissora, ainda carece de evidências mais consistentes quanto aos seus efeitos a longo prazo sobre o desempenho esportivo, redução do risco de lesões e equidade no processo de desenvolvimento atlético. Essas limitações evidenciam a necessidade de mais estudos com desenhos metodológicos robustos, amostras amplas e abordagens integrativas que considerem simultaneamente os fatores fisiológicos, biomecânicos, nutricionais e psicossociais dos jovens futebolistas.

Referências

- Albaladejo-Saura, M. et al. (2022). Influence of biological maturation status on selected anthropometric and physical fitness variables in adolescent male volleyball players. *PeerJ*. 10, e13216. DOI: 10.7717/peerj.13216. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35402095/>.
- Ammann, L. et al. (2023). Seasonal analysis of match load in professional soccer players: An observational cohort study of a Swiss U18, U21 and first team. *Frontiers in Physiology*. 13, 1023378. DOI: 10.3389/fphys.2022.1023378. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36685210/>.
- Balyi, I. & Hamilton, A. (2004). Long-Term Athlete Development: Trainability in Childhood and Adolescence. Windows of Opportunity. Optimal Trainability. Victoria, Canadá: National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd.
- Bompa, T. O. & Haff, G. G. (2009). Periodization: Theory and methodology of training. (5ed). Champaign, EUA: Human Kinetics.
- Brenner, J. S., Watson, A., Council on Sports Medicine and Fitness. (2024). Overuse injuries, overtraining, and burnout in young athletes. *Pediatrics*. 153(2), e2023065129. DOI: 10.1542/peds.2023-065129. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38247370/>.
- Brink, M. S., Kersten, A. W. & Frencken, W. G. P. (2017). Understanding the mismatch between coaches' and players' perceptions of exertion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12(4), 562–8. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0215. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27618715/>.
- Cadegiani, F. A. & Kater, C. E. (2017). Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 9(14). DOI: 10.1186/s13102-017-0079-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28785411/>.
- Chumela, W. C., Roche, A. F. & Thiessen, D. (1989). The FELS method of assessing the skeletal maturity of the hand-wrist. *American Journal of Human Biology*. 1(2), 175-83. DOI: 10.1002/ajhb.1310010206. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28514006/>.
- Chung, Y., Hsiao, Y. T. & Huang, W. C. (2021). Physiological and psychological effects of treadmill overtraining implementation. *Biology*. 10(6), 515. DOI: 10.3390/biology10060515. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34200732/>.
- Cirer-Sastre, R. et al. (2019). Effect of training load on post-exercise cardiac troponin T elevations in young soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(23), 4853. DOI: 10.3390/ijerph16234853. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31810338/>.
- Crossetti, M. G. O. (2012). Revisão integrativa de pesquisa na enfermagem: o rigor científico que lhe é exigido. *Revista Gaúcha de Enfermagem*. 33(2), 8–9.
- Cumyn, S. et al. (2025). The influence of relative age and biological maturation on player selection in the Scottish Football Association's Club Academy Scotland. *Journal of Sports Sciences*. 43(18), 1980-91. DOI: 10.1080/02640414.2025.2527436. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40611496/>.
- Di Giminiani, R. & Visca, C. (2017). Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons. *PloS One*. 12(2), e0171734. DOI: 10.1371/journal.pone.0171734. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28192512/>.
- Falces-Prieto, M. et al. (2021). The differentiate effects of resistance training with or without external load on young soccer players' performance and body composition. *Frontiers in Physiology*. 12, 771684. DOI: 10.3389/fphys.2021.771684. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34803744/>.
- Fernquest, S. et al. (2023). Coronal-plane leg alignment in adolescence and the effects of activity: A full leg length MRI study. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*. 41(5), 973-83. DOI: 10.1002/jor.25442. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36196622/>.

- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*. 50(5). DOI: 10.1136/bjsports-2015-095788. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26758673/>.
- García-Ceberino, J. M. et al. (2024). Variations in external and internal intensities and impact of maturational age on soccer training tasks. *Sensors (Basel)*, Basel, Suíça. 24(17), 5656. DOI: 10.3390/s24175656. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39275565/>.
- Greulich, W. W. & Pyle, S. I. (1959). *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. (2ed). Stanford: Stanford University Press.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 14(2), 270-3. DOI: 10.1123/ijsspp.2018-0935. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30614348/>.
- Jayanthi, N. A. et al. (2015). Sports-specialized intensive training and the risk of injury in young athletes: A clinical case-control study. *The American Journal of Sports Medicine*. 43(4), 794-801. DOI: 10.1177/0363546514567298. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25646361/>.
- Johnson, D. et al. (2023). Can we reduce injury risk during the adolescent growth spurt? An iterative sequence of prevention in male academy footballers. *Annals of Human Biology*. 50(1), 452-60. DOI: 10.1080/03014460.2023.2261854. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37823577/>.
- Khamis, H. J. & Roche, A. F. (1994). Predicting adult stature without using skeletal age: The Khamis-Roche method. *Pediatrics*. 94, 504-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7936860/>.
- Lloyd, R. S. & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: a new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*. 34(3), 61-72, jun. DOI: 10.1519/SSC.0b013e31825760ea. https://www.researchgate.net/publication/271953822_The_Youth_Physical_Development_Model.
- Lloyd, R. S. et al. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 28(5), 1454-64. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000391. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24476778/>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- Lloyd, R. S. et al. (2016). Official position stand of the national strength and conditioning association national strength and conditioning association position statement on long-term athletic development. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 30(6), 1491-509. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001387. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26933920/>.
- Macedo, J. F. S. et al. (2025). Effects of biobanding on training loads and technical performance of young football players. *PloS One*. 20(2), e0317432. DOI: 10.1371/journal.pone.0317432. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39946320/>.
- Malina, R. M., Bouchard, C. & Bar-or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. (2ed). Champaign, EUA: Human Kinetics.
- Mandorino, M. et al. (2021). Predictive analytic techniques to identify hidden relationships between training load, fatigue and muscle strains in young soccer players. *Sports (Basel)*, Basel, Suíça. 10(1), 3. DOI: 10.3390/sports10010003. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35050968/>.
- Mandorino, M. et al. (2022). The influence of maturity on recovery and perceived exertion, and its relationship with illnesses and non-contact injuries in young soccer players. *Biology of Sport*. 39(4), 839-48. DOI: 10.5114/biolsport.2022.109953. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36247948/>.
- McCunn, R. et al. (2017). Influence of Physical Maturity Status on Sprinting Speed among Youth Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 31(7), 1795-801. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001654. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27669191/>.
- Mendes, K. D. S., Silveira, R. C. C. P. & Galvão, C. M. (2008). Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto – Enfermagem*. 17(4), 758-64. DOI: 10.1590/S0104-07072008000400018. <https://www.scielo.br/j/tce/a/XzFkq6tjWs4wHNqNjKJLkXQ/?lang=pt>.
- Mirwald, R. L. et al. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34(4), 689-94. DOI: 10.1097/00005768-200204000-00020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11932580/>.
- Monasterio, X. et al. (2023). The burden of injuries according to maturity status and timing: A two-decade study with 110 growth curves in an elite football academy. *European Journal of Sport Science*. 23(2), 267–77. DOI: 10.1080/17461391.2021.2006316. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34767492/>.
- Moraes, L. S. et al. (2024). Upper and lower limb bone mass accrual in adolescent footballers across a short period of training and competition. *Jornal de Pediatria*. 100(3), 289-95. DOI: 10.1016/j.jped.2023.07.010. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38103576/>.
- Nemet, D. et al. (2002). Effect of intense exercise on inflammatory cytokines and growth mediators in adolescent boys. *Pediatrics*. 110(4), 681-9. DOI: 10.1542/peds.110.4.681. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12359780/>.
- Nobari, H. et al. (2024). Which training load indicators are greater correlated with maturation and wellness variables in elite U14 soccer players? *BMC Pediatrics*. 24(1), 289. DOI: 10.1186/s12887-024-04744-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38689258/>.
- Nobari, H. et al. (2023a). Association between 2D:4D ratios and sprinting, change of direction ability, aerobic fitness, and cumulative workloads in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 15(1), 45. DOI: 10.1186/s13102-023-00654-y. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36978178/>.
- Nobari, H. et al. (2023b). Relationships between training load, peak height velocity, muscle soreness and fatigue status in elite-level young soccer players: a competition season study. *BMC Pediatrics*. 23(1), 55. DOI: 10.1186/s12887-023-03869-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36732715/>.
- Nobari, H. et al. (2022a). Associations among maturity, accumulated workload, physiological, and body composition factors in youth soccer players: A comparison between playing positions. *Biology (Basel)*, Basel, Suíça. 11(11), 1605. DOI: 10.3390/biology11111605. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36358306/>.

- Nobari, H. et al. (2022b). Variations in accumulated-training load parameters and locomotor demand with consideration of puberty in elite young soccer players. *Biology (Basel)*, Basel, Suíça. 11(11), 1594. DOI: 10.3390/biology11111594. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36358295/>.
- Nobari, H. et al. (2021a). Analysis of fitness status variations of under-16 soccer players over a season and their relationships with maturational status and training load. *Frontiers in Physiology*. 11, 597697. DOI: 10.3389/fphys.2020.597697. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33613301/>.
- Nobari, H. et al. (2021b). Somatotype, accumulated workload, and fitness parameters in elite youth players: Associations with playing position. *Children (Basel)*, Basel, Suíça. 8(5), 375. DOI: 10.3390/children8050375. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34068574/>.
- Patel, H. et al. (2024). The impact of inadequate sleep on overtraining syndrome in 18-22-year-old male and female college athletes: a literature review. *Cureus*. 16(3), e56186. DOI: 10.7759/cureus.56186. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38618318/>.
- Parr, J. et al. (2020). Predicting the timing of the peak of the pubertal growth spurt in elite male youth soccer players: evaluation of methods. *Annals of Human Biology*. 47(4), 400-8. DOI: 10.1080/03014460.2020.1782989. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32543933/>.
- Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. Editora da UFSM.
- Perroni, F. et al. (2019). Effect of pre-season training phase on anthropometric, hormonal and fitness parameters in young soccer players. *PloS One*. 14 (11), e0225471. DOI: 10.1371/journal.pone.0225471. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31765396/>.
- Philippaerts, R. M. et al. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 24(3), 221-30. DOI: 10.1080/02640410500189371. DOI: 10.1080/02640410500189371.
- Read, P. J. et al. (2018). Landing kinematics in elite male youth soccer players of different chronologic ages and stages of maturation. *Journal of Athletic Training*. 53(4), 372-8. DOI: 10.4085/1062-6050-493-16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29693423/>.
- Reeves, M. J. & Roberts, S. J. (2020). A bioecological perspective on talent identification in junior-elite soccer: a Pan-European perspective. *Journal of Sports Sciences*. 38(11-12), 1259-68. DOI: 10.1080/02640414.2019.1702282. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31818207/>.
- Relvas, H. et al. (2010). Organizational structures and working practices in elite European professional football clubs: Understanding the relationship between youth and professional domains. *European Sport Management Quarterly*. 10(2), 165-87. DOI: 10.1080/16184740903559891. https://www.researchgate.net/publication/233430764_Organizational_Structures_and_Working_Practices_in_Elite_European_Professional_Football_Clubs_Understanding_the_Relationship_between_Youth_and_Professional_Domains.
- Rodríguez-Rosell, D. et al. (2017). Effect of high-speed strength training on physical performance in young soccer players of different ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 31(9), 2498-508. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001706. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27806013/>.
- Salter, J. et al. (2024). Maturity status influences perceived training load and neuromuscular performance during an academy soccer season. *Research in Sports Medicine*. 32(2), 235-47. DOI: 10.1080/15438627.2022.2102916. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35860914/>.
- Salter, J. et al. (2023). Does biologically categorised training alter the perceived exertion and neuromuscular movement profile of academy soccer players compared to traditional age-group categorisation? *European Journal of Sport Science*. 23(8), 1490-9. DOI: 10.1080/17461391.2022.2117090. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35999705/>.
- Salter, J., De Ste Croix, M. B. A. & Hughes, J. D. (2021). The moderating impact of maturation on acute neuromuscular and psycho-physiological responses to simulated soccer activity in academy soccer players. *European Journal of Sport Science*. 21(12), 1637-47. DOI: 10.1080/17461391.2020.1851775. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33315522/>.
- Sarmento, H. et al. (2018). Talent identification and development in male football: A systematic review. *Sports Medicine, Auckland, Nova Zelândia*. 48(4), 907-31. DOI: 10.1007/s40279-017-0851-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29299878/>.
- Sekine, Y. (2024). Maturity-associated longitudinal variations in exercise-induced acute hormonal responses in adolescent male athletes. *Pediatric Exercise Science*. p.1-6. DOI: 10.1123/pes.2024-0052. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39481362/>.
- Shitsuka, R. et al. (2014). Matemática fundamental para tecnologia. (2 Ed.) Editora Érica.
- Sieghartsleitner, R. et al. (2019). Science or Coaches' Eye? - Both! Beneficial Collaboration of Multidimensional Measurements and Coach Assessments for Efficient Talent Selection in Elite Youth Football. *Journal of Sports Science & Medicine*. 18(1), 32-43. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30787649/>.
- Silva, R. M. et al. (2022). Does maturity estimation, 2D:4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players? *BMC Pediatrics*. 22(1), 726. DOI: 10.1186/s12887-022-03801-5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36539728/>.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 104, p. 333-9. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- Stables, R. G. et al. (2024a). Acute fuelling and recovery practices of academy soccer players: implications for growth, maturation, and physical performance. *Science & Medicine in Football*. 8(1), 37-51. DOI: 10.1080/24733938.2022.2146178. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36351858/>.
- Stables, R. G. et al. (2024b). Training with reduced carbohydrate availability affects markers of bone resorption and formation in male academy soccer players from the English Premier League. *European Journal of Applied Physiology*. 124(12), 3767-80. DOI: 10.1007/s00421-024-05574-4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39154306/>.
- Stølen, T. et al. (2005). Physiology of Soccer An Update. *Sports Medicine, Auckland, Nova Zelândia*. 35(6), 501-536. DOI: 10.2165/00007256-200535060-00004. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15974635/>.

- Sullivan, J. et al. (2024). Consensus on maturity-related injury risks and prevention in youth soccer: A Delphi study. *PLoS One*. 19(11), e0312568. DOI: 10.1371/journal.pone.0312568. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39531432/>.
- Tanner, J. M. et al. (2001). Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method). (3ed). Londres: Saunders Editors.
- Teunissen, J. W. A. et al. (2020). Accuracy of maturity prediction equations in individual elite male football players. *Annals of Human Biology*. 47(4), 409-16. DOI: 10.1080/03014460.2020.1783360. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32996814/>.
- Towson, C. et al. (2021). Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not fit all. *Journal of Sport and Health Science*. 10(4), 403-12. DOI: 10.1016/j.jshs.2020.09.003. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32961300/>.
- Vaeyens, R. et al. (2008). Talent Identification and Development Programmes in Sport Current Models and Future Directions. *Sports Medicine*, Auckland, Nova Zelândia. 38(9), 703-14. DOI: 10.2165/00007256-200838090-00001. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18712939/>.
- Van der Sluis, A. et al. (2015). Importance of peak height velocity timing in terms of injuries in talented soccer players. *International Journal of Sports Medicine*. 36(4), 327-32. DOI: 10.1055/s-0034-1385879. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25607518/>.
- Vega, S. A. et al. (2024). Maturation Age: Impact on Body Composition and Muscle Strength in Adolescent Athletes. *International Journal of Kinanthropometry*. 4(3), 84-91. DOI: 10.34256/ijk2439. https://www.researchgate.net/publication/388103126_Maturation_Age_Impact_on_Body_Composition_and_Muscle_Strength_in_Adolescent_Athletes.
- Wattie, N., Schorer, J. & Baker, J. (2015). The relative age effect in sport: a developmental systems model. *Sports Medicine*, Auckland, Nova Zelândia. 45(1), 83-94. DOI: 10.1007/s40279-014-0248-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25169442/>.
- Williams, A. M. & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*. 18(9), 657-667. DOI: 10.1080/02640410050120041. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11043892/>