

Software de acompanhamento de crescimento, desenvolvimento e direcionamento de treinamento de jovens atletas

Maria Eduarda Penteado*, Hécio Rossi Gonçalves[†], Victoria Camile Campos Bertuchi*, Leticia Farinacio*, Maria Fernanda Gabriel Santos[†], Felipe Arruda Moura[†] e Diogo Roberto Olsen*

*Instituto Federal do Paraná - IFPR, Londrina, Paraná, Brasil

[†]Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina, Paraná, Brasil

mariaedupenteado@gmail.com, helcio@uel.br, victoria.bertuchi@gmail.com, leticiafarinacio2@gmail.com,

mariafg.santos@uel.br, felipemoura@uel.br, diogo.olsen@ifpr.edu.br

Abstract—Although sports science recognizes the importance of biological maturation in planning the training of young athletes, technologies that integrate maturational indicators and motor test results into a single decision-support platform remain scarce. This study presents the development of a software application designed for the combined analysis of anthropometric data, maturation estimates, and motor performance of young athletes. The application was implemented in Python, using the Plotly and Dash libraries for graph construction. Additionally, data from 35 futsal athletes were used for functional testing and initial validation. The platform allows integrated visualization of variables such as age at peak height velocity, predicted adult height, growth percentages, maturation classification, and performance in specific motor capacities. The results demonstrate the tool's effectiveness in organizing and analyzing data, providing a comprehensive and detailed view of the athletes' maturational stages and supporting personalized training strategies.

Keywords—Data analysis; Sports technology; Dashboard; Sports training; Assistive technology for training.

Resumo—Embora a ciência do esporte reconheça a importância da maturação biológica no planejamento do treinamento de jovens atletas, ainda são escassas as tecnologias que integrem indicadores maturacionais e resultados de testes motores em uma única plataforma de apoio à tomada de decisão na organização do treinamento a longo prazo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software voltado à análise conjunta de dados de crescimento somático, estimativas de maturação e desempenho motor de jovens atletas. A aplicação foi implementada em *Python*, utilizando as bibliotecas *Plotly* e *Dash* para construção dos gráficos, além disso, dados de 35 atletas de futsal foram utilizados para teste e validação inicial. A plataforma permite a visualização integrada de variáveis como pico de velocidade de estatura, estatura adulta predita, percentuais de crescimento, classificação maturacional, acompanhamento de crescimento e de desempenho de capacidades motoras. Os resultados demonstram a eficácia da ferramenta na organização e análise dos dados, proporcionando uma visualização ampla e detalhada dos atletas e apoiando estratégias de treinamento personalizadas de forma imediata e longitudinal.

Palavras-chave—Análise de dados; Tecnologia aplicada ao es-

porte; *Dashboard*; Treinamento Esportivo; Tecnologia Assistiva para treinamento.

I. INTRODUÇÃO

Este projeto nasceu de uma colaboração entre o campus Londrina do Instituto Federal do Paraná (IFPR) e a Universidade Estadual de Londrina (UEL), unindo esforços de pesquisadores das áreas da educação física, ciência do esporte e computação. O objetivo dessa parceria centrou-se no desenvolvimento de soluções computacionais que qualifiquem e agilizem o processamento e a análise de dados de jovens atletas, com foco em sua formação esportiva e no respeito às individualidades do processo maturacional.

Essa iniciativa busca responder à uma lacuna existente no campo de ferramentas computacionais voltadas ao esporte e a formação de jovens atletas, especialmente no que diz respeito à integração abrangente de dados de acompanhamento de crescimento somático, desenvolvimento motor e estimativas de maturação biológica [1]. A estruturação do treinamento esportivo para jovens atletas tem sido historicamente dominada pelo paradigma de idade cronológica, um modelo amplamente criticado na literatura por suas limitações em reconhecer variações individuais [2]. Indivíduos com a mesma idade podem apresentar ritmos distintos de maturação biológica, processo que engloba o desenvolvimento do organismo rumo à sua forma adulta, influenciando diretamente a capacidade de respostas e adaptações completamente diferentes. Fato este que muitas vezes pode ocasionar por parte do atleta o abandono do esporte por cobranças excessivas ou mesmo por lesões em função de treinamentos inadequados. De forma que, para otimizar o desenvolvimento e respeitar a individualidade de cada atleta, a ciência do esporte moderna aponta

o acompanhamento da maturação como uma prática indispensável [3].

Portanto, na associação entre os principais indicadores maturacionais utilizados, destaca-se o Pico de Velocidade de Estatura (PVE) e a Estatura Adulta Predita (EAP). O PVE representa o momento de crescimento mais acelerado durante a adolescência, a partir dele, é possível classificar os jovens em três categorias: precoces, quando o pico ocorre antes da média populacional; no tempo, quando ocorre na média; e tardios, quando ocorre posteriormente. A EAP, por sua vez, estima a estatura final possível do atleta, permitindo calcular o percentual de crescimento já alcançado, oferecendo uma medida objetiva do estágio maturacional de cada atleta [4].

Essa classificação é fundamental para o mapeamento do que é chamado de janelas de oportunidades, um conceito que estipula a existência de ótimos períodos para o desenvolvimento de capacidades motoras específicas como flexibilidade, resistência muscular, força e agilidade. [5]. Essas informações podem ainda, ser interpretadas com apoio das curvas de crescimento, gráficos padronizados com percentis (P3, P25, P50, P75, P97) que comparam a estatura de um jovem com valores esperados para sua idade segundo referências populacionais. Neste trabalho, as curvas de distância de crescimento foram desenhadas de acordo com os dados fornecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS)¹. Esses percentis facilitam a detecção de padrões ou desvios de crescimento.

A integração entre indicadores maturacionais e dados de desempenho motor configura uma abordagem promissora para a individualização do processo de treinamento e para o monitoramento do crescimento e desenvolvimento motor em jovens atletas. Contudo, observa-se uma carência de ferramentas computacionais que permitam a consolidação, análise e visualização simultânea dessas informações.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é apresentar um software capaz de permitir a análise e visualização integrada de dados de crescimento somático, indicadores maturacionais e de desenvolvimento motor, associando tais variáveis com as fases adequadas de treinamentos específicos para jovens atletas. Ao longo deste trabalho, serão apresentadas as partes de sua estrutura e funcionalidades da ferramenta, através do detalhamento de módulos voltados ao acompanhamento do crescimento, maturação biológica e desempenho motor, bem como os recursos gráficos e comparativos oferecidos pela aplicação. Por fim, discutem-se os potenciais benefícios da ferramenta no contexto esportivo, especialmente no que diz respeito à prescrição de treinos individualizados e intervenções

mais assertivas com base em dados biológicos, bem como as possibilidades de expansões futuras do software.

II. MÉTODO

O estudo tem caráter aplicado e exploratório, com foco no desenvolvimento de um sistema de exibição de dados de acompanhamento de crescimento somático, desenvolvimento motor e estimativas de maturação biológica de atletas de forma abrangente, com ênfase na visualização e comparação de dados tanto de forma individual, quanto por equipes ou agrupamentos requeridos. O software foi desenvolvido em *Python*(v3.1x), utilizando componentes da biblioteca *Plotly* com extensão *Dash*(v2.1x) para construção das interfaces gráficas. A persistência de dados foi realizada por meio de banco de dados *MongoDB* (v8.0).

Para fins de testagem da ferramenta, as informações de 35 atletas da base de dados da UEL foram inseridas no sistema. Os dados dos jovens consistem em informações maturacionais e antropométricas assim como resultados de testes motores definidos pelo Projeto Esporte Brasil (PROESP-BR)². Paralelamente, entrevistas com professores e treinadores da UEL forneceram subsídios práticos para o desenvolvimento de funcionalidades e gráficos alinhados às reais demandas de aplicação.

A. Tecnologias utilizadas

O sistema foi implementado utilizando *Python*(v3.1x) em conjunto com a biblioteca *Plotly*. Utilizada em aplicações relacionadas à análise de dados, o *Plotly* é uma biblioteca *open source* que oferece mais de 40 tipos de gráficos. Para atender aos requisitos do projeto, a biblioteca foi utilizada em conjunto com a sua extensão *Dash*, eliminando a necessidade de utilização de *Javascript* no desenvolvimento de aplicações analíticas. A utilização dessa ferramenta, especialmente em conjunto com a extensão *Dash*, favoreceu a construção do *dashboard*, viabilizando a implementação de elementos gráficos sem a necessidade de inclusão de tecnologias tradicionais de *front-end*, como HTML para estruturação da página, CSS para estilização visual e *JavaScript* para interatividade. Através da vasta gama de diagramas visuais e opções de personalização oferecidas pela biblioteca, foi possível incorporar diferentes tipos de visualizações, a grande variabilidade de gráficos viabiliza ao usuário a percepção da informação mais importante a ser analisada.

¹A Organização Mundial da Saúde (OMS) é uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), responsável por estabelecer padrões internacionais de saúde, incluindo curvas de crescimento baseadas em dados populacionais globais.

²O Projeto Esporte Brasil (PROESP-BR) é uma iniciativa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que visa monitorar o crescimento, o desenvolvimento motor e a aptidão física de crianças e adolescentes brasileiros, por meio da aplicação padronizada de testes e medidas em ambiente escolar ou esportivo.

Para o armazenamento das informações da interface, foi utilizado o *MongoDB* (v8.0), um banco de dados *NoSQL* conhecido por sua escalabilidade e flexibilidade. Diferente dos bancos relacionais, o *MongoDB* permite estruturas de dados dinâmicas, facilitando alterações sem migrações complexas. Sua escalabilidade horizontal, que distribui a carga entre vários servidores, foi outro fator decisivo, pois melhora o desempenho do desenvolvimento da aplicação.

B. Dados gerais da equipe

Essa seção da interface é dedicada à apresentação geral dos dados da equipe, que envolve as informações de crescimento somático, estimativas de maturação biológica e panorama dos resultados dos testes motores dos atletas, permitindo a visualização geral do perfil dos dados inseridos. Essa visualização facilita a compreensão das características coletivas do grupo, servindo como ponto de partida para análises comparativas entre dados da equipe e individuais. A tela contém uma tabela que exibe os valores médios da amostra, incluindo: idade cronológica, idade do PVE [4], estatura atual EAP [6]. Além disso, a estimativa da maturação biológica é exibida através da classificação média da amostra em uma das três categorias: “precoce”, “no tempo” ou “tardio”. A visualização ainda inclui o percentil de crescimento máximo e mínimo encontrados na amostra, bem como um ícone de barra de progresso que ilustra a porcentagem média de crescimento estatural estimado atingido pelo grupo (visualização representada posteriormente na Figura 2). A visão geral dos dados de crescimento, estimativas maturacionais e dos testes motores, permite aos treinadores análises individuais e comparações para o planejamento estratégico de treinamento que levem em conta esses dados. Vale ressaltar que o software também aponta para as janelas de oportunidade de treinamento adequadas de acordo com as análises citadas, prática discutida nas Subseções II-E e II-F

C. Gráfico de exibição dos atletas sobre percentis de crescimento

A visualização apresentada insere os atletas em um gráfico de crescimento estabelecido através dos valores de referência de estatura por idade, estabelecidos pela OMS. Os padrões de crescimento são representados por curvas de percentis (P3, P25, P50, P75, P97), que indicam a estatura esperada em diferentes faixas etárias (posteriormente ilustrados na Figura 3). Os atletas são retratados através de pontos, suas coordenadas representam idade e altura atual. Ao lado direito do gráfico, a legenda identifica cada um dos componentes presentes na visualização, padrão de organização repetido em todas as outras representações visuais da aplicação. A funcionalidade de

*hover*³, recurso que exibe informações adicionais ao posicionar o cursor sobre um elemento gráfico, acrescenta informações detalhadas sobre cada um dos atletas, indicando nome, idade atual (representada de forma centesimal, considerando a data de nascimento do atleta e o dia da avaliação), idade prevista para o PVE e o tempo restante até o alcance desse marco ou, em caso contrário, quanto tempo já se passou desde que o atleta atingiu o PVE.

D. Tabela de visualização de dados básicos dos atletas

Um dos principais objetivos do software é proporcionar uma análise abrangente dos atributos antropométricos, estimativas de maturação biológica e dos dados motores dos atletas. Para atingir esse propósito, as informações são apresentadas de maneira complementar, por meio de gráficos demonstrativos e de dados textuais organizados em tabelas. Essa combinação de formatos contribui para uma leitura completa das informações da amostra. Nesse contexto, a tabela de dados com todos os atletas da equipe desempenha um papel essencial na aplicação, pois viabiliza a análise comparativa entre indivíduos com base em informações personalizadas. A visualização dispõe de sete colunas exibindo nome do atleta, estatura atual, EAP, porcentagem de crescimento atingida, idade estimada do PVE, idade atual e classificação da estimativa de maturação do atleta (informações demonstradas na Figura 4). Cada linha da tabela contém um botão vinculado a um atleta específico, que direciona o usuário para uma página modal, cuja estrutura e funcionalidades são discutidos posteriormente na Subseção II-I.

E. Exibição da fase sensível de treinamento por PVE

Este gráfico demonstra a janela de oportunidade mais adequada para cada atleta, considerando para isso as informações do PVE. A visualização busca auxiliar no desenvolvimento de planos de treinamento mais adequados de acordo com a estimativa de maturação do atleta. Por exemplo, atletas que ainda não atingiram o PVE geralmente não devem ser expostos a treinos intensivos ou de grande volume de força, sendo mais indicado o foco no desenvolvimento das capacidades coordenativas. Já atletas que já passaram pelo PVE podem iniciar protocolos de força com maiores volumes e mais intensos, desde que sejam devidamente dosados e constantemente monitorados [7], [8].

No gráfico, os atletas são representados por barras horizontais com eixo x igual a zero (demonstração na Figura 5). As barras exemplificam o tempo, em anos, que cada atleta se encontra antes ou após o PVE. Ao fundo, são sobrepostas retângulos representando as janelas de oportunidades estimadas para cada uma das capacidades motoras abordadas no software:

³Funcionalidade interativa comum em interfaces gráficas que exibe informações adicionais ao posicionar o cursor do mouse sobre determinado elemento visual.

flexibilidade, velocidade, agilidade e resistência muscular. As faixas são previsões baseadas em análises da literatura [9], que associam fases do desenvolvimento biológico à treinos especificamente direcionados à desenvolvimento de cada uma dessas capacidades mencionadas. O gráfico oferece múltiplas formas de visualização, tal como a exibição de todas as estimativas de janelas de oportunidade simultaneamente, a amostra individual de cada uma delas e a possibilidade de ocultar todas, mantendo somente a posição dos atletas perante o momento de PVE.

F. Exibição da fase sensível de treinamento por EAP

O gráfico tem função similar ao mencionado na Subseção anterior, a preocupação mantém-se em mostrar possíveis janelas de treinamento otimizadas para determinadas capacidades motoras. No entanto, nessa visualização as fases otimizadas de treinamento são definidas a partir da porcentagem de estatura adulta predita alcançada (visualização das informações na Figura 6). Cada um dos atletas é representado por uma barra que indica o seu progresso de EAP atingido e as janelas são sobrepostas ao fundo em formato retangular, representando momentos oportunos de treinamento para cada uma das capacidades motoras abordadas. Suas funcionalidades repetem o padrão de funcionamento do gráfico de exibição de fase sensíveis de treinamento por PVE (Subseção II-E).

G. Comparação do aproveitamento individual dos atletas

Uma das preocupações centrais do sistema foi possibilitar uma análise do aproveitamento dos atletas em testes motores [10] relacionados às capacidades específicas. Com base nessa necessidade, um gráfico de barras acoplado à um menu de seleção foi incorporado à ferramenta (ilustrado na Figura 7). Cada atleta é representado por uma barra, que representa o seu percentual de aproveitamento no teste relacionado à capacidade motora analisada. Através da funcionalidade de *hover*, é possível também acessar a pontuação numérica do atleta no teste realizado. O menu de seleção acoplado permite a variação entre as capacidades motoras abordadas no sistema, possibilitando a comparação de desempenhos individuais em diferentes contextos. Além disso, o sistema foi projetado para lidar com a incompletude dos dados, sinalizando a ausência de informações de forma visualmente clara. Atletas que não possuem referências avaliativas inseridas na base de dados são sinalizados através da representação individual com opacidade reduzida. Tal abordagem contribui principalmente para controle de qualidade de coleta e organização de informações da equipe.

H. Classificação de desempenho geral da equipe

Além da visualização do aproveitamento individual dos atletas, representada no gráfico anterior, esse trabalho oferece também uma análise coletiva do desempenho da equipe. Essa

visualização tem como objetivo fornecer uma visão panorâmica do nível físico geral da amostra avaliada. As informações são exibidas através de um gráfico de velocímetro, com escala composta por cinco tonalidades: vermelho, amarelo, laranja, verde claro e verde escuro, exemplificado posteriormente na Figura 8. As cores descritas representam níveis crescentes de desempenho, indicando, respectivamente "Fraco", "Razoável", "Bom", "Muito bom" e "Excelência". O aproveitamento geral da equipe é baseado em métricas do PROESP-BR [10], levando em consideração as faixas etárias e sexos dos atletas para determinar os valores de referência esperados em cada teste motor. A partir desse cálculo, é obtido o percentual médio de aproveitamento da amostra analisada, que define a posição do ponteiro do velocímetro e estabelece o grau de desempenho geral.

O recurso gráfico da indicação da porcentagem de aproveitamento através do marcador é acompanhado pela exibição de dados complementares na tela. A porcentagem de aproveitamento atingida, a pontuação média numérica da equipe no teste relacionado ao teste motor analisado e a classificação textual do desempenho de acordo com a escala adotada são exibidos na tela juntamente com o velocímetro.

I. Seção individual do atleta

A fim de possibilitar a análise detalhada e o acompanhamento individualizado de cada atleta, foi implementada uma tela modal no sistema. Essa visualização é acessada sempre que um atleta é selecionado por meio de um botão localizado na tabela de visualização de dados básicos (Subseção II-D), funcionando como um relatório individual. O propósito da tela modal é centralizar e exibir, de maneira integrada, os dados pertinentes do atleta selecionado, permitindo uma análise aprofundada de seu desempenho.

Para isso, o modal apresenta um conjunto de componentes, ilustrados nas Figuras 9 e 10: (i) Informações básicas do atleta: replicam os dados já apresentados na tabela geral, como na Subseção II-B, mas agora com foco em uma perspectiva individual e personalizada, em vez de comparativa. São exibidos dados como estatura atual, EAP, idade atual, idade estimada para o alcance do PVE, classificação de estimativa maturacional, porcentagem de estatura atingida e percentil de crescimento; (ii) Gráfico de curvas de distância de crescimento: sinaliza a idade e estatura atual do atleta em comparação às curvas de percentis de crescimento estabelecidas pela OMS (Subseção II-C); (iii) Gráficos das fases sensíveis de treinamento: possibilidade de estimar os momentos promissores de treinamento de capacidades motoras específicas através da idade relativa ao PVE (Subseção II-E), e porcentagem de EAP atingida (Subseção II-F); (iv) Exibição de desempenho motor individual através de gráficos de velocímetro

indicando o desempenho do atleta nas capacidades avaliadas, como flexibilidade, resistência muscular, velocidade e agilidade (Subseção II-H).

Em suma, a implementação da tela modal foi idealizada para gerar um relatório completo e individualizado do atleta, aproveitando os gráficos do sistema já utilizados de forma geral e utilizando-os novamente com foco exclusivo no atleta selecionado. Essa abordagem promove uma análise mais aprofundada, envolvendo ao mesmo tempo dados antropométricos, estimativas maturacionais e do componente motor de forma individualizada.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da aplicação do software demonstram que a ferramenta permite a visualização de dados que por sua vez auxiliam o técnico na tomada de decisões estratégicas de treinamento, a partir da análise integrada de dados antropométricos, estimativas maturacionais e do componente motor. Durante as testagens por meio de inserção de dados reais de atletas, o sistema foi capaz de gerar estimativas de indicadores maturacionais e motores de maneira simultânea, contribuindo para a construção de um estudo amplo das variáveis de treinamento. Essa integração ainda é pouco explorada em soluções comerciais na área, nas quais os dados maturacionais normalmente não são acompanhados dos dados de desempenho motor de forma conjunta, mesmo que a literatura aponte a importância e a necessidade desta visão unificada [5]. Dessa forma, o sistema desenvolvido não apenas cumpre os objetivos propostos, de exibir os dados de forma comparativa, possibilitando visão detalhada da amostra de forma geral e individual, como também preenche uma lacuna prática no cenário atual das ferramentas digitais aplicadas ao processo de formação esportiva, com especial atenção aos jovens atletas.

O acompanhamento do desenvolvimento maturacional pode impactar diretamente na personalização e eficácia no planejamento de treinamento. Ao reunir em um único ambiente informações como idade, estatura, PVE e desempenho motor, o sistema permite que treinadores e profissionais da área tomem decisões mais embasadas, respeitando as particularidades do processo de crescimento e desenvolvimento integral dos atletas. Além disso, ao integrar essas variáveis em representações visuais claras, fornecendo uma análise ampla do contexto de treinamento de cada um dos atletas, o software trilha um caminho pouco explorado no contexto de treinamento e de formação de jovens atletas associado à tecnologia.

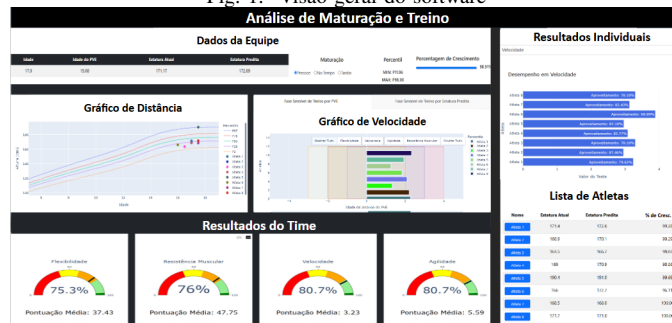
A. Visão Geral do software

A Figura 1 apresenta a interface geral do aplicativo desenvolvido, voltado ao acompanhamento do desenvolvimento

motor e maturacional de jovens atletas. A aplicação reúne em uma única plataforma diferentes módulos, permitindo o acesso rápido à indicadores individuais e coletivos, gráficos comparativos, e visualizações dinâmicas de desempenho. Ao integrar indicadores de crescimento, dados maturacionais e resultados de testes motores em uma única interface, o aplicativo proporciona uma visão abrangente e contextualizada do perfil de cada atleta, assim como do perfil geral da amostra, contribuindo para a identificação de padrões de desenvolvimento e para o planejamento de intervenções mais eficazes.

A possibilidade de analisar as informações diversas de forma conjunta e simultânea, foi projetada a fim de facilitar a análise técnica por parte de treinadores e profissionais da área, proporcionando uma ferramenta prática e objetiva para suporte à tomada de decisões quanto à prescrição de treinos e intervenções precoces. Os módulos do aplicativo serão explorados individualmente nas Subseções seguintes, destacando suas funcionalidades e aplicações.

Fig. 1. Visão geral do software



Fonte: Autoria Própria, 2025

B. Dados Gerais da equipe

A análise dos dados da seção de informações gerais da equipe permitiu observar que a média de idade cronológica da amostra foi 17 anos, com idade média estimada para o PVE de 15,08 anos. A estatura atual média foi de 171,17 centímetros, enquanto a EAP apresentou média de 172,89 centímetros. A classificação média de indicador de maturação dos atletas indicou que a amostra está “No Tempo” com base na idade de PVE. A porcentagem de EAP alcançada foi de 98,91% indicando que a amostra se encontra em estágios maturacionais mais avançados. O percentil de crescimento mínimo encontrado na amostra foi “P11.96” e o máximo foi “P98”. A consolidação e possibilidade de análise desses dados evidencia que o software é capaz de realizar uma classificação geral eficaz da equipe, viabilizando a construção de um perfil maturacional coletivo com base em indicadores citados na literatura. O uso de elementos visuais, como barras de progresso (ver Figura 2), reforça o

compromisso da ferramenta em integrar dados quantitativos e qualitativos e representações gráficas

Fig. 2. Média das informações básicas da equipe



Fonte: Autoria Própria, 2025

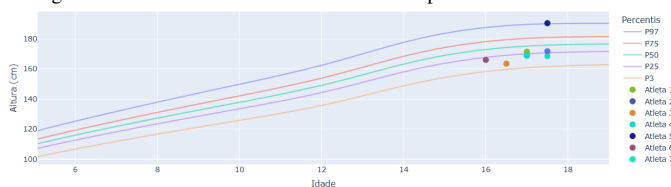
C. Gráfico de Exibição da posição dos atletas sobre curvas de percentis de crescimento

O gráfico demonstrou ser uma ferramenta eficaz na identificação visual de padrões e desvios no desenvolvimento estatural dos indivíduos da amostra (ver Figura 3). A disposição dos atletas em relação às curvas de percentis forneceu análise e categorização dos indivíduos de acordo com as faixas de normalidade esperadas para a idade.

Entre os indivíduos analisados, um deles encontra-se exatamente sobre o percentil 97 (P97), o que indica uma estatura acima da média para a sua idade. Observou-se também que a maioria dos atletas apresentam estatura próxima ao percentil 25 (P25). Embora esse valor esteja abaixo da média populacional, ainda é considerado dentro dos limites de normalidade. Por fim, um único atleta foi identificado próximo ao percentil 3 (P3), o que talvez possa indicar uma tendência à um crescimento estatural mais lento em comparação aos demais indivíduos avaliados.

A utilização desse tipo de gráfico permite de forma clara e objetiva comparar os dados dos atletas com os padrões de referência estabelecidos, facilitando a identificação de possíveis desvios de crescimento, com valores de estatura acima ou abaixo da normalidade esperada para a faixa etária. Adicionalmente, permite o monitoramento contínuo do crescimento físico ao longo do tempo, a identificação de necessidades de avaliações complementares e a verificação do alinhamento ao fluxo esperado de desenvolvimento. Dessa forma, o gráfico de curvas de distância de crescimento mostra-se como um recurso relevante para o acompanhamento dos jovens atletas.

Fig. 3. Atletas sobre curvas de distância de percentis de crescimento.



Fonte: Autoria Própria, 2025

D. Tabela de visualização de dados básicos dos atletas

A análise dos dados apresentados na tabela de informações, permitiu observar as informações individuais dos atletas. Em relação à estatura atual, o intervalo apresentado está entre 163,5cm e 190,4cm, enquanto no campo de EAP os valores variam entre 191cm e 166,7cm (ver Figura 4). A porcentagem de crescimento alcançada da amostra mostrou-se homogênea, variando entre 96,11% e 100%, indicando que os indivíduos analisados durante a testagem estão em um estágio maturacional avançado. A idade do PVE também apresentou pouca dispersão, mantendo-se na faixa dos 14,72 até 15,65 anos. A maioria dos atletas têm idade superior ou igual à 17 anos, com somente dois casos de atletas mais novos, a classificação da maturação de todos os indivíduos foi considerada “precoces”.

A apresentação desses dados de maneira individual demonstra que o software possui capacidade de apresentar e classificar as informações de maneira organizada, o uso de uma tabela para a sua representação reforça o compromisso de apresentar os dados de maneira estruturada e eficiente para análises e comparativos.

Fig. 4. Tabela de informações básicas dos atletas.

Nome	Estatura Atual	Estatura Predita	Porcentagem de Crescimento	Idade PVE	Idade Atual	Classificação de Maturação
Atleta 1	171,4	172,6	99,28 %	14,72	17	Precoces
Atleta 2	168,9	170,1	99,29 %	14,78	17	Precoces
Atleta 3	163,5	166,7	98,07 %	15,16	16,5	Precoces
Atleta 4	169	170,9	98,86 %	14,89	17	Precoces
Atleta 5	190,4	191,0	99,69 %	15,65	17,5	Precoces
Atleta 6	166	172,7	96,11 %	14,72	16	Precoces
Atleta 7	168,5	168,0	100,00 %	15,55	17,5	Precoces
Atleta 8	171,7	171,0	100,00 %	15,16	17,5	Precoces

Fonte: Autoria Própria, 2025

E. Associação de janelas de oportunidade de treinamento com PVE e EAP

Na visualização do software, os gráficos que relacionam os conceitos de PVE e EAP aos momentos oportunos de treinamento de determinadas capacidades motoras foram organizados de forma sobreposta. A Figura 5 apresenta a idade relativa dos atletas perante o PVE, enquanto a Figura 6 mostra a relação entre essa idade relativa e as estimativas de janelas de oportunidade para o desenvolvimento de capacidades motoras específicas. As ferramentas demonstraram-se possíveis aliadas consistentes na possibilidade de uma orientação assertiva de treinos, uma vez que ambas apresentaram estimativas visuais claras sobre os períodos sensíveis ao desenvolvimento de capacidades motoras específicas. A organização dos componentes foi idealizada de forma que permita a visualização do mesmo conceito a partir de duas métricas distintas, ampliando a possibilidade de interpretação e aplicação prática.

A abordagem dual mostrou-se especialmente relevante em situações nas quais um dos indicadores maturacionais (EAP ou PVE) não estava disponível, promovendo outra perspectiva comparativa com base em outra referência. Na Figura 7, é apresentada a porcentagem de EAP já alcançada por cada atleta. Já a Figura 8 relaciona essa porcentagem com as estimativas de janelas de oportunidade para o treinamento de diferentes capacidades físicas. Essas visualizações permitem observar em qual estágio de desenvolvimento estatural cada atleta se encontra e como isso se alinha com os momentos sensíveis para intervenções específicas.

Em suma, os gráficos permitem observação da posição dos atletas de acordo com dois conceitos de indicadores maturacionais importantes, relacionando-os à estimativas de janela de oportunidade de treinamento de velocidade, flexibilidade, resistência muscular e agilidade. A possibilidade de alternar entre as visualizações, tanto entre as métricas quanto entre as estimativas de treinamento de capacidades motoras, possibilitou uma análise abrangente dos conceitos, posicionando-se como um recurso promissor para suporte à prescrição de treinos alinhados ao desenvolvimento integral de jovens atletas.

Fig. 5. Idade relativa dos atletas perante o PVE.



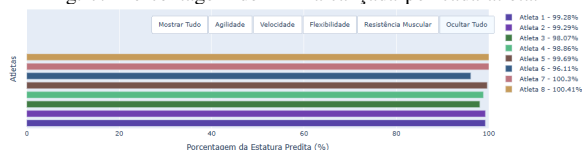
Fonte: Autoria Própria, 2025

Fig. 6. Idade relativa ao PVE sobre estimativa de janelas de oportunidade.



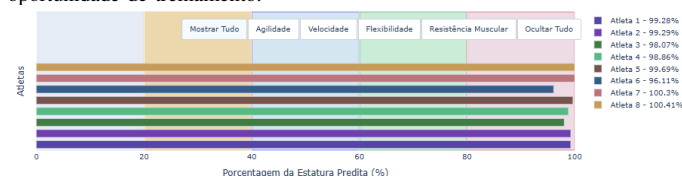
Fonte: Autoria Própria, 2025

Fig. 7. Porcentagem de EAP alcançada por cada atleta.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Fig. 8. Porcentagem de EAP alcançada sobre estimativas de janelas de oportunidade de treinamento.



Fonte: Autoria Própria, 2025

F. Comparação do aproveitamento individual dos atletas

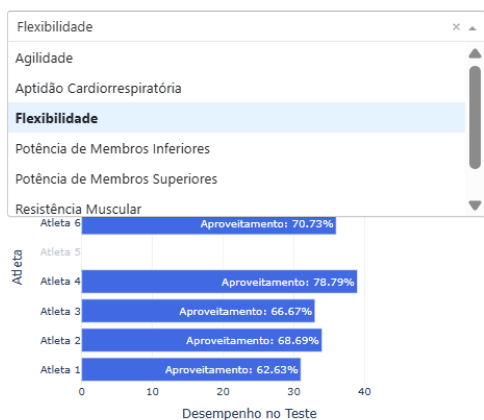
A visualização do aproveitamento individual dos atletas em testes físicos demonstrou-se altamente funcional para monitoramento da equipe de forma comparativa. A representação do desempenho dos indivíduos em formato de barras permitiu identificação entre variações de desempenho dentre os atletas, facilitando tanto a detecção de atletas destaques como dificuldades no desenvolvimento físico (ver Figura 9). A possibilidade de alternar entre diferentes capacidades motoras (ver Figura 10) no menu de seleção mostrou-se um recurso prático e eficaz para comparações intra e interindividuais em múltiplas atividades, contribuindo para uma avaliação mais completa do perfil físico de cada atleta. Além disso, a robustez no tratamento de dados ausentes revelou-se benéfica para controle no tratamento de dados ao representar com opacidade reduzida os atletas que não possuem registros completos na base.

Fig. 9. Desempenho dos atletas nos testes de velocidade.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Fig. 10. Menu de seleção e alteração de capacidades motoras.

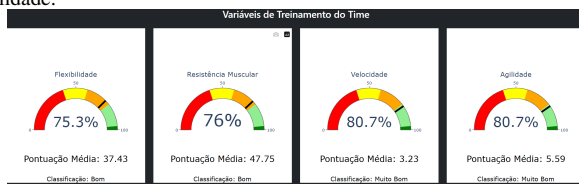


Fonte: Autoria Própria, 2025

G. Classificação do desempenho geral da equipe

O gráfico revelou-se uma estratégia favorável de sintetização do desenvolvimento motor coletivo. A análise mostrou-se padronizada ao utilizar a mesma faixa de seleção de aproveitamento para todas as capacidades, mantendo-se fiel às métricas do PROESP-BR e considerando a faixa etária dos atletas analisados. A utilização do velocímetro (ver Figura 11) como indicador de desempenho e disposição das médias de cada atributo organizadas lado a lado contribuem para uma visão geral do perfil de atletas, como é o da amostra.

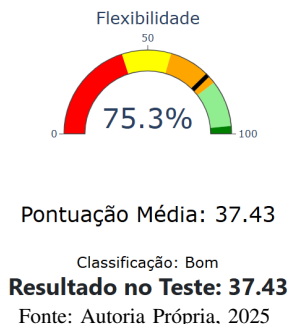
Fig. 11. Análise de desempenho: flexibilidade, resistência muscular, velocidade e agilidade.



Fonte: Autoria Própria, 2025

A exibição simultânea de dados complementares como a porcentagem de aproveitamento e a pontuação média numérica da equipe nos testes enriqueceu a análise coletiva sem comprometer a clareza visual (ver Figura 12). A ferramenta mostrou-se promissora como instrumento de monitoramento de desempenho ao longo do tempo, permitindo a análise de variações no aproveitamento motor da equipe e percepção de discrepâncias entre as capacidades avaliadas.

Fig. 12. Velocímetro de desempenho de velocidade e seus atributos.



H. Seção individual do atleta

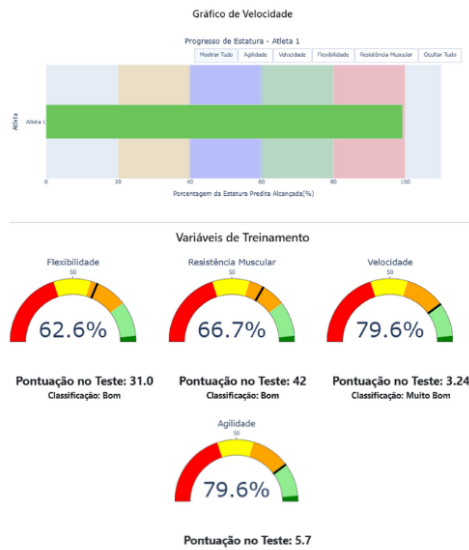
A tela Modal apresentou uma centralização eficiente das informações, eliminando a necessidade de alternância entre diferentes telas para a consulta dos dados. A visualização individualizada permitiu uma análise mais específica e aprofundada dos dados dos indicadores de cada atleta, incluindo a visualização de dados gerais do atleta (ver Figura 13). A interface possibilita a análise do aproveitamento em testes relacionados à diferentes capacidades motoras, monitoramento evolutivo ao longo do tempo e a comparação com os demais integrantes da equipe (ver Figura 14). Essa abordagem favorece a identificação de particularidades no desenvolvimento de cada indivíduo, permitindo o reconhecimento de dificuldades específicas e a realização de intervenções precoces diante das adversidades identificadas. A partir dessa análise individual, torna-se viável a construção de treinos adaptados, com base no relatório completo do perfil de cada atleta.

Fig. 13. Primeira parte da visualização do modal do atleta.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Fig. 14. Segunda parte da visualização do modal do atleta.



Fonte: Autoria Própria, 2025

IV. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Conclui-se, portanto, que o trabalho cumpriu os requisitos ao unir conceitos ligados aos processos de crescimento somático e desenvolvimento motor, ainda no contexto da formação de jovens atletas de forma positiva. Ao relacionar os momentos oportunos de treinamento de capacidades motoras com o estágio de desenvolvimento de cada um dos indivíduos, o software fornece uma visualização ampla e detalhada do perfil dos atletas da amostra. Por não estar vinculada a uma modalidade esportiva específica, o sistema pode ser adaptado como suporte na elaboração de programas de treinamento para contextos esportivos diversos.

Em relação à perspectivas futuras, destaca-se a intenção de testar e validar a ferramenta em campo, através da aplicação da ferramenta em conjunto com treinadores de equipes de jovens atletas. A interação com profissionais na área visa identificar eventuais limitações funcionais e o refinamento da interface a partir de demandas reais. Em quesito de desenvolvimento, a principal prioridade é a incorporação de um módulo de aprendizagem de máquina voltado à classificação preditiva de atletas, buscando sugerir possíveis modalidades e posições no esporte com base em atributos de crescimento, desenvolvimento e desempenho motor. Para isso, é prevista a incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina não supervisionado, destacando a utilização de *K-Nearest Neighbors (KNN)* [11], *DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)* [12] e *K-means Clustering* [13]. Os algoritmos

devem ser aplicados sobre os dados maturacionais e de desempenho motor dos atletas, permitindo a segmentação da amostra em perfis atléticos.

REFERÊNCIAS

- [1] M. E. Penteado, D. R. Olsen, M. F. G. Santos, and H. R. Gonçalves, "Desenvolvimento de um dashboard (software) voltado a direcionamento de variáveis de treino associados à maturação," in *Anais do Congresso Brasileiro de Crescimento e Desenvolvimento Humano (COMBRAMENE)*, Brasil, 2025.
- [2] R. M. Malina, C. Bouchard, and O. Bar-Or, "Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13–15 years," *Journal of Sports Sciences*, vol. 23, no. 5, pp. 515–522, May 2005.
- [3] R. S. Lloyd and J. L. Oliver, "The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development," *Strength & Conditioning Journal*, vol. 34, no. 3, pp. 61–72, 2012.
- [4] R. Mirwald, A. Baxter-Jones, D. Bailey, and G. Beunen, "An assessment of maturity from anthropometric measurements," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 34, no. 4, pp. 689–694, 2002.
- [5] I. Balyi and A. Hamilton, "Long-term athlete development trainability in childhood and adolescence," *Olympic Coach*, vol. 16, pp. 4–9, 2004.
- [6] H. Khamis and A. Roche, "Predicting adult stature without using skeletal age: the khamis-roche method," *Pediatrics*, vol. 94, no. 4, pp. 504–507, 1994.
- [7] R. Ramirez-Campillo, A. Sortwell, J. Moran, J. Afonso, F. M. Clemente, R. S. Lloyd, J. L. Oliver, J. Pedley, and U. Granacher, "Plyometric-jump training effects on physical fitness and sport-specific performance according to maturity: A systematic review with meta-analysis," *Sports Medicine - Open*, vol. 9, no. 1, p. 23, 2023.
- [8] N.-O. Retzepis, A. Avloniti, C. Kokkoti, T. Stampoulis, D. Balampanos, A. Gkachtsou, P. Aggelakis, D. Kellaraki, M. Protopapa, D. Pantazis, and et al., "The effect of peak height velocity on strength and power development of young athletes: A scoping review," *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2025.
- [9] P. R. Ford, M. D. S. Croix, R. S. Lloyd, R. Meyers, M. Moosavi, J. L. Oliver, and C. A. Williams, "The long-term athlete development model: Physiological evidence and application," *Journal of Sports Sciences*, vol. 29, no. 4, pp. 389–402, 2011.
- [10] A. R. Gaya, A. Gaya, A. Pedretti, and J. Mello, *Projeto Esporte Brasil: Manual de medidas, testes e avaliações*, 5th ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021, ebook.
- [11] E. Fix and J. L. Hodges, "Discriminatory analysis: Nonparametric discrimination: Consistency properties," USAF School of Aviation Medicine, Tech. Rep. Technical Report 4, 1951.
- [12] M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise," in *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, 1996, pp. 226–231.
- [13] J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," in *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, vol. 1. University of California Press, 1967, pp. 281–297.