

U. PORTO



**FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO**

Relação postura-movimento no lançamento livre. Um estudo comparativo entre jovens basquetebolistas de elite e não-elite.

Miguel Gomes Ferreira

Porto, 2024

U. PORTO



**FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO**

Relação postura-movimento no lançamento livre. Um estudo comparativo entre jovens basquetebolistas de elite e não-elite.

Dissertação apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto com vista à obtenção do grau de Mestre em Treino Desportivo no ramo Treino de Alto Rendimento (Decreto-Lei nº 27/2021, de 13 de abril, que procede à sexta alteração ao Decreto-Lei nº 74/2006, de 24 de março), sob orientação do Professor Doutor Eduardo Guimarães e coorientação do Professor Doutor Matheus Pacheco.

Miguel Gomes Ferreira

Porto, 2024

FICHA DE CATALOGAÇÃO

Ferreira, M. (2024). *Relação postura-movimento no lançamento livre. Um estudo comparativo entre jovens basquetebolistas de elite e não-elite*. Porto: M. Ferreira. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Treino Desportivo no ramo Treino de Alto Rendimento, apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-chave: CONTROLO POSTURAL, LANÇAMENTO, JOVENS ATLETAS, BASQUETEBOL.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de um longo processo de formação, que tive o privilégio de cumprir. Tal foi possível graças a inigualável direção, bondade, amizade e amor que tantos e tantos me proporcionaram. Segue então uma tentativa de enaltecer alguns desses tantos, que sempre me acompanharam e que tornaram possível e maravilhosa esta longa caminhada que aqui culmina.

Ao Professor Doutor Eduardo Guimarães, orientador desta dissertação, grande impulsionador deste trabalho e maior guia do meu processo acadêmico, agradecer todos os ensinamentos, conselhos, paciência, dedicação e, mais que tudo, pelo sorriso e disponibilidade com que sempre me recebeu para todo e qualquer problema ou assunto que lhe apresentasse. Agradeço ainda por me ter dado confiança na minha busca do sonho de ser treinador de rendimento de basquetebol. Muitos dos conhecimentos que aplico diariamente na minha atividade, foram proporcionados pelo professor, pelo que tenho uma dívida impagável para consigo para a minha vida e sei que, no professor, para sempre, encontrarei um amigo e um sábio conselheiro.

Ao Professor Doutor Matheus Pacheco, coorientador desta dissertação, agradeço todos os ensinamentos e disponibilidade, toda a mestria em fazer-me procurar conhecimento sem nunca me dar as respostas, todos os risos nas reuniões e a amabilidade e paciência com que sempre lidou comigo. O professor fez com que o processo científico não fosse aborrecido com o seu entusiasmo contagiante. Por tudo isso, o meu mais sincero agradecimento.

Ao Engenheiro Pedro Fonseca, agradeço os ensinamentos, paciência e disponibilidade que sempre demonstrou em todos os momentos. Sem os seus valiosos conhecimentos, este trabalho não era, certamente, possível.

Ao Professor Américo Santos, agradeço as palavras sempre amigas e a sua contagiante paixão pelo basquetebol, que me inspirou durante muito do meu percurso.

Ao Professor Doutor Rui Garganta, agradeço pela paixão que transmitiu em todas as aulas e em todos os momentos, e pela amizade que demonstrou ao longo de todo o meu processo de formação. O professor teve uma importância fundamental no moldar do meu pensamento e na criação do meu espírito crítico. Foi verdadeiramente um privilégio assistir a tantas palestras de enorme qualidade e que sempre guardarei.

Ao meu colega nesta caminhada Pedro Leitão, agradeço por todos os momentos de amizade ao longo destes 5 anos. Desde os momentos incertos de pandemia em que, à distância, conversávamos durante horas, aos jogos de bilhar e de basquete na sua terra natal que tanto me divertiram, às discussões intermináveis sobre esta nossa paixão de treinar, são todos momentos que guardarei comigo e que estimo muito. Espero que esta nossa amizade e parceria se mantenha inalterada durante muitos anos e que este seja um primeiro de muitos trabalhos a realizarmos juntos.

Às pessoas que me permitiram um caminho no basquetebol, Ana Cristina Leite e Marta Graça, agradeço todo o apoio, conselhos, carinho e especialmente a confiança que me deram, para hoje me intitular com orgulho de treinador. Foram as pessoas que me permitiram errar e prosperar, sem julgamento ou aborrecimento, mas sempre com boas palavras e força para eu continuar. Estarei eternamente agradecido.

Ao meu clube de coração, Grupo Desportivo Bolacesto, agradeço porque nele cresci, aprendi, formei-me como cidadão. Nunca conseguirei repagar a dívida contraída pelas experiências, pelos amigos e companheiros, pelos ensinamentos, e por todas as oportunidades que nesta maravilhosa entidade tive. Sempre Bolacesto.

A todos os meus amigos de trabalho, Ana, Ângela, João e Júnior, sou grato por terem tornado a experiência de ser estudante-trabalhador leve. O trabalho sempre foi uma atividade estimulante e nunca uma obrigação e em grande parte a vós o devo.

Aos meus amigos mais próximos, Ricardo, Guga, Diogo, Mendes, Rocha e Matilde agradeço. Vocês foram os meus apoios em todos os momentos durante este longo processo. Agradeço os momentos de diversão, de desabafo, de apoio e de partilha que tivemos e que não esquecerei.

À minha família, em especial aos meus Padrinhos, Ascensão e Alexandre, e a minha prima Ana, agradeço todo o amor, apoio e preocupação que demonstraram comigo. Os momentos convosco são alguns dos mais felizes que guardo na minha memória, como tal, enaltecer-vos-ei sempre, na esperança de que um dia vos possa proporcionar metade de tudo aquilo que vocês me proporcionaram. Gosto muito de vocês.

Ao meu irmão, Henrik Ferrara, agradeço por ter sido o companheiro da minha vida. Foste o meu grande exemplo em todos os momentos. Por muitas cabeçadas e chatices que possamos ter, vais sempre ser o meu farol. As conversas, os conselhos e as brincadeiras inesquecíveis serão sempre memórias que prezarei. Gosto de ti mano, conta comigo para a vida toda.

Por último, agradeço aos meus pais, Alda e Paulo Ferreira. Poucos casamentos no mundo me dão tanta esperança no amor como o vosso. Em vocês sempre tive os meus pilares de valores, de comportamentos e de carinho. Por muito difíceis que fossem as vossas vidas, eu e o mano fomos sempre as prioridades e sempre a vossa maior preocupação. Muito obrigado por todos os sonhos que me permitiram cumprir. Muito obrigado por todas as horas em que, sacrificaram as vossas próprias paixões para que eu e o mano seguíssemos as nossas. Muito obrigado por todos os momentos em que vos vi a nos apoiarem. Muito obrigado pelos momentos em que não vimos, mas tudo parecia tratado e resolvido para nós. Tudo o que eu e o mano somos a vós os devemos. Só espero orgulhar-vos sempre. Este trabalho, e todos os outros que se seguirão, são para vocês e para o mano. Obrigado.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	V
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIX
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	1
INTRODUÇÃO GERAL	3
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8
CAPÍTULO II – METODOLOGIA GERAL	11
METODOLOGIA GERAL.....	13
Amostra	13
Antropometria	13
Experiência de treino.....	14
Procedimentos	14
Análise de dados	15
Análise estatística.....	16
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO III – ESTUDO EMPÍRICO	19
ARTIGO – THE SYNERGETIC BODY MOVEMENTS FOR A SUCCESSFUL FREE THROW IN YOUNG BASKETBALL PLAYERS	21
ABSTRACT.....	23
INTRODUCTION.....	25
METHODS.....	27
Participants.....	27
Task, equipment, and procedures	27
Data analysis	29
Statistical analysis	29
RESULTS	30
DISCUSSION	31
CONCLUSIONS	34
REFERENCES	35

CAPÍTULO IV – SÍNTESE FINAL.....	39
DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	41
IMPLICAÇÕES PRÁTICAS.....	44
LIMITAÇÕES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Estrutura da dissertação	7
---	---

CAPÍTULO III

Table 1. Descriptive statistics for age, training experience, basic anthropometrics, and free throw shooting performance of young EL and NEL basketball players [Mann–Whitney U test (Z) and effect size (r)]......	30
Table 2. Descriptive statistics for free throw release and posture variables and variation variables of young EL and NEL basketball players [Mann–Whitney U test (Z) and effect size (r)].	31

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Exemplo de um lançamento livre executado por um jogador de elite capturado pelo sistema *Qualisys*. 14

CAPÍTULO III

Figure 1. LABIOMEPE's full marker setup with the names of every marker and dots in their respective placement anatomical spots. 28

RESUMO

O objetivo principal desta dissertação foi investigar a coordenação entre aspetos posturais e do movimento no lançamento livre de jovens basquetebolistas. A amostra foi compreendida por 31 basquetebolistas sub14 do sexo masculino, que foram divididos em dois grupos de acordo com o seu nível competitivo: elite (EL) e não-elite (NEL). Para além das medições antropométricas e da informação obtida sobre o treino, todos os jogadores, equipados com marcadores infravermelhos, realizaram 10 lançamentos livres em laboratório. A tarefa foi capturada através de 12 câmaras de análise de movimento por forma a recolherem-se variáveis do centro de massa (CDM) e do centro de pressão (CDP). O teste *U* de *Mann-Whitney* foi utilizado para comparar os grupos. Os resultados do estudo empírico mostraram que os basquetebolistas de EL eram, em média, mais velhos ($p < 0.05$), mais altos ($p < 0.001$) e mais pesados ($p < 0.001$), tinham mais anos acumulados de treino formal ($p < 0.05$) e obtiveram uma percentagem de lançamento livre superior ($p < 0.001$) aos seus pares de NEL. Além disso, os jogadores de EL alcançaram valores significativamente inferiores na altura do pico CDM (EL=1.15±0.05 m; NEL=1.29±0.12 m), na área CDP (EL=0.02±0.02 cm²; NEL=0.06±0.04 cm²) e na variação da área CDP (EL=0.01±0.01 cm²; NEL=0.02±0.01 cm²). Por sua vez, os jogadores de NEL demoraram significativamente menos tempo a atingir a altura do pico CDM (EL=0.50±0.16 s; NEL=0.40±0.08 s). Em conclusão, os jovens basquetebolistas de EL e NEL são similares na maioria das variáveis de coordenação postura-movimento em estudo. Importa, contudo, destacar que os jogadores de nível competitivo mais baixo tendem a apresentar maior desvio postural e maior variação do seu CDP aquando da execução do lançamento livre.

PALAVRAS-CHAVE: CONTROLO POSTURAL, LANÇAMENTO LIVRE, JOVENS ATLETAS, BASQUETEBOL.

ABSTRACT

The main purpose of this dissertation was to investigate the coordination between postural and movement aspects in the free throw of young basketball players. The sample consisted of 31 male U14 basketball players, who were divided into two groups according to their competitive level: elite (EL) and non-elite (NEL). In addition to anthropometric measurements and training information obtained, all players, equipped with infrared markers, performed 10 free throws in the laboratory. The task was captured through 12 motion analysis cameras in order to collect center of mass (COM) and center of pressure (COP) variables. The Mann-Whitney U test was used to compare groups. The results of the empirical study showed that EL basketball players were, on average, older ($p < 0.05$), taller ($p < 0.001$) and heavier ($p < 0.001$), had more accumulated years of formal training ($p < 0.05$) and had a higher free throw percentage ($p < 0.001$) than their NEL peers. Furthermore, EL players achieved significantly lower values in peak COM height (EL=1.15±0.05 m; NEL=1.29±0.12 m), area COP (EL=0.02±0.02 cm²; NEL=0.06±0.04 cm²), and area COP variation (EL=0.01±0.01 cm²; NEL=0.02±0.01 cm²). In turn, NEL players took significantly less time to reach the peak COM moment (EL=0.50±0.16 s; NEL=0.40±0.08 s). In conclusion, young EL and NEL basketball players are similar in most of the postural-movement coordination variables under study. It is important, however, to highlight that players from lower competitive level tend to present greater postural deviation and greater variation in their COP when performing free throws.

KEYWORDS: POSTURAL CONTROL, FREE THROW, YOUNG ATHLETES, BASKETBALL.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

3D	Três dimensões
ABP	Associação de Basquetebol do Porto
CDM	Centro de massa
CDP	Centro de pressão
CEFADE	Comissão de Ética da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto
CIFI²D	Centro de Investigação, Formação, Intervenção e Inovação em
cm	Centímetro ou <i>centimeter</i>
COM	<i>Center of mass</i>
COP	<i>Center of pressure</i>
DP	Desvio-padrão
e.g.	Por exemplo ou <i>for example</i>
EL	<i>Elite</i>
ESPN	<i>Entertainment and Sports Programming Network</i>
FADEUP	Faculdade de Desporto da Universidade do Porto
FIBA	<i>Internacional Basketball Federation</i>
FPB	Federação Portuguesa de Basquetebol
FT	<i>Free throw</i>
h	Hora ou <i>hour</i>
hz	Hertz
i.e.	Isto é ou <i>that is</i>
IBM	<i>International Business Machines Corporation</i>
Inc.	<i>Incorporated business</i>
kg	Quilograma ou <i>kilogram</i>
LABIOME^P	Laboratório de Biomecânica do Porto
LL	Lançamento livre
m	Metro ou <i>meter</i>
min⁻¹	por minuto ou <i>per minute</i>
ms	milissegundo ou <i>millisecond</i>

n	número ou <i>number</i>
NBA	<i>National Basketball Association</i>
p	Valor de <i>p</i> ou <i>p value</i>
PS	<i>Postural sway</i>
r	<i>Glass rank-biserial correlation coefficient</i>
s	Segundo ou <i>second</i>
SD	<i>Standard deviation</i>
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
™	<i>Trademark</i>
U16	<i>Under-16</i>
UK	<i>United Kingdom</i>
USA	<i>United States of America</i>
vs	<i>Versus</i>
WABC	<i>World Association of Basketball Coaches</i>
x	vezes ou times ou <i>versus</i>
Z	<i>Wilcoxon signed-rank test</i>
°	graus ou <i>degrees</i>
-	negativo ou <i>negative</i>
%	percentagem ou <i>percentage</i>
*	asterisco ou <i>asterisk</i>
+	mais ou <i>plus</i>
<	menor que ou <i>smaller than</i>
=	igual a ou <i>equal to</i>
±	mais ou menos ou <i>plus or minus</i>

CAPÍTULO I

Introdução Geral, Objetivos e

Estrutura da Dissertação

INTRODUÇÃO GERAL

O basquetebol é um dos desportos mais populares do mundo. De facto, a *Internacional Basketball Federation* (FIBA) estima que, em todo o mundo, haja mais de 450 milhões de agentes desportivos (jogadores, treinadores, dirigentes) fortemente envolvidos com a modalidade (FIBA, n.d.). Aliado à sua popularidade, o basquetebol é frequentemente caracterizado por ser um desporto técnica e taticamente complexo (Petway et al., 2020). Dos múltiplos fatores que contribuem para o sucesso individual e coletivo, a postura corporal e as sinergias musculares têm ganho destaque pela forma como parecem afetar o desempenho de habilidades como, por exemplo, o lançamento (Okazaki et al., 2015).

Independentemente do escalão competitivo onde desempenham as suas funções, os treinadores de basquetebol procuram que o ataque das suas equipas seja o mais eficaz possível. Aparentemente, os seus esforços têm surtido efeito e a prova disso mesmo é o aumento da média de pontos marcados pelas equipas na *National Basketball Association* (NBA) – 115.6 pontos por jogo, valor mais elevado dos últimos 55 anos (Gurr, 2024). Em Portugal, o cenário é semelhante e os jogos entre as equipas nacionais passaram a ter resultados combinados de aproximadamente 200 pontos, em contraste com os 120 pontos observados no passado (FPB, n.d.).

De acordo com Guimarães et al. (2021), o sucesso competitivo dos jovens basquetebolistas é determinado, sobretudo, por elevados níveis de habilidade técnica. De facto, o lançamento é uma técnica fundamental do basquetebol e o lançamento livre, em particular, é o tipo de lançamento mais eficaz do jogo. Na época 2023/2024 da NBA, a percentagem de lançamento a partir da linha de lance livre variou entre 59.2% e 92.7%, o que corresponde a 0.59-0.93 pontos por posse de bola (ESPN, n.d.). Se porventura a penalidade da falta corresponder a 2 lançamentos livres, esta eficácia pode subir para 1.18-1.86 pontos por posse de bola. Este nível de eficácia só pode ser superado pelo lançamento de três pontos, desde que a percentagem seja de 40% ou superior.

Todavia, apenas 41 dos 543 jogadores da NBA terminaram a época desportiva em questão com uma percentagem de triplos equivalente ou superior a 40%.

A importância do lançamento livre no basquetebol moderno é inequívoca. De facto, as equipas vencedoras tendem a assegurar e a concretizar mais lançamentos livres do que os seus adversários (Cabarkapa et al., 2023). Aliás, este é o motivo pelo qual alguns autores afirmam que muitos jogos são ganhos ou perdidos na linha de lance livre (Tran & Silverberg, 2008). Sabendo disso, os jogadores estão “obrigados” a realizar muitas sessões de exercícios e rotinas de lançamento para desenvolverem uma técnica ou postura/forma de lançamento consistente. Importa, contudo, que numa fase inicial os treinadores tentem perceber quais as condições ideais para ensinar este gesto técnico.

Não obstante o conhecimento disponível nas áreas da engenharia/robótica sobre os padrões mecânicos (movimento de projéteis) necessários para colocar um projétil (e.g., bola) num determinado local (e.g., cesto), no que toca ao basquetebol ainda não existe um consenso sobre “o gesto técnico ideal” que os treinadores devem ensinar aos seus jogadores para os tornar o mais eficazes possível. Segundo Verhoeven e Newell (2016), perceber a importância dos diferentes parâmetros de execução do movimento pode ser fundamental para os treinadores definirem habilidades e padrões específicos que ajudem os seus jogadores a adquirir a técnica mais adequada para o sucesso no lançamento livre.

A altura de lançamento da bola tem sido destacada na literatura como sendo um fator determinante para a eficácia no lançamento de basquetebol. No estudo de Tran e Silverberg (2008), os autores procuraram determinar as melhores condições para o lançamento livre. Para tal, usaram centenas de milhares de simulações tridimensionais das trajetórias da bola no lançamento livre para estudar cinco variáveis de lançamento: (i) altura de lançamento da bola; (ii) velocidade de lançamento; (iii) ângulo de lançamento; (iv) ângulo lateral; (v) e *backspin* ou efeito giratório da bola. Em suma, os resultados mostraram que a bola deve ser lançada à maior altura possível, desde que isto não altere a consistência de lançamento do jogador.

Por sua vez, Ko et al. (2014) reportaram que a coordenação entre o centro de massa (COM) e o centro de pressão (CDP) pode ser uma das variáveis da relação postura-movimento mais importantes para o sucesso no lançamento livre. Além disso, revelaram que a sincronia entre o tempo de pico do CDM e o tempo de lançamento da bola aumentou em função do nível de habilidade dos participantes. Ficou assim demonstrado que os melhores executantes, neste caso não-atletas, tendem a lançar a bola mais perto do pico do CDM.

No que diz respeito aos trabalhos disponíveis com atletas, Hudson (1985) comparou a técnica do lançamento livre de 7 jogadoras de bom nível de basquetebol universitário com um grupo de 9 jogadoras de nível baixo de uma equipa de aprendizagem. Ao comparar 12 variáveis relacionadas com o processo do lançamento livre, o autor revelou que as atletas de melhor nível lançavam em pontos mais altos do que as atletas de nível inferior. Por outro lado, através da medição do centro de gravidade e do CDP, verificou que as atletas de baixo nível apresentaram maior instabilidade do que as atletas de alto nível.

Noutros estudos (Azadjou et al., 2023; Kiers, 2013), ficou comprovado que existem grandes diferenças na organização postural entre grupos de controlo, atletas de baixo nível e atletas de alto nível, sendo que estes últimos apresentaram menor desvio postural. Quer isto dizer que maior controlo postural e melhor relação síncrona entre o pico de CDM e momento de lançamento parecem prever o sucesso nesta habilidade técnica. Similarmente, Verhoeven e Newell (2016) também mostraram que a estabilidade postural e a sincronia do movimento postural com o lançamento da bola são fortes preditores do desempenho. Dessa forma, os participantes que tiveram maior dispersão postural, através do maior movimento do CDM, foram menos bem-sucedidos no lançamento livre.

Dito isto, fica a ideia de que os basquetebolistas com maior controlo sobre o seu equilíbrio e desvio corporal, (i.e., com a sua postura a ser controlada pelas sinergias musculares em todos os momentos do jogo) tendem a ser melhores nesta ação técnica de precisão. Nessa linha de pensamento, Lee et al. (2019a), ao testar o desvio postural através da relação CDM-CDP, descobriram que à

medida que a exigência de precisão da tarefa aumenta, o desvio postural marcado pelo CDP diminui. Como tal, esta relação encontrada numa tarefa simples poderá ser um importante indicador para o lançamento livre, já que o controlo postural é um sistema multifatorial facilitador das tarefas (Lee et al., 2019b; Riccio, 1993; Riley et al., 1999).

Não obstante a sua relevância, importa referir que a maioria dos estudos sobre o lançamento livre amostraram jogadores amadores e populações não-atléticas (e.g., Verhoeven & Newell, 2016; Cabarkapa et al., 2023) ou recorreram a simulações computacionais (e.g., Okubo & Hubbard, 2006; Tran & Silverberg, 2008). Fica, portanto, limitada a generalização dos seus principais resultados ao desporto de alto nível, seja ele praticado por jovens ou adultos. Para além disso, vários autores tentam identificar as características “ideais” para uma certa habilidade, o que contraria o atual princípio da abundância, que refere que os indivíduos e atletas tendem a explorar distintas soluções motoras para cumprir um certo gesto técnico ou objetivo (Latash, 2012). Parece improvável que num futuro próximo se consiga identificar uma técnica perfeita para uma tarefa. Tal acontece dada a complexidade de limitações de cada organismo e da dificuldade da mensuração destes fatores assim como da sua correção (Glazier & Davids, 2009; Glazier & Mehdizadeh, 2019).

A relação postura-movimento tem sido enfatizada em vários movimentos desportivos. Contudo, ainda é, frequentemente, incompreendida (Pakosz et al., 2021). Dessa forma, compreender o que diferencia os jogadores com níveis diferenciados de desempenho no que toca à sua postura e movimento no lançamento livre, pode fornecer importantes contributos para a prática diária dos treinadores e jogadores de basquetebol. Assim, a presente dissertação teve como principal objetivo investigar a coordenação entre aspetos posturais e do movimento no lançamento livre de jovens basquetebolistas.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação que se apresenta foi concebida de acordo com o modelo escandinavo, o qual pressupõe a inclusão de artigos originais prontos para publicação em revistas indexadas com revisão por pares e, se possível, com fator de impacto. Assim, a presente dissertação divide-se em quatro capítulos fundamentais (Tabela 1). O Capítulo I apresenta a introdução geral, os principais propósitos da dissertação e a sua estrutura. O Capítulo II é dedicado à metodologia geral e descreve detalhadamente a amostra e os procedimentos utilizados na recolha de dados. O Capítulo III é composto por um estudo empírico, ao passo que o Capítulo IV diz respeito à síntese final, que engloba as conclusões finais, as implicações práticas e as limitações. As referências bibliográficas são apresentadas no final de cada capítulo, de acordo com as normas e orientações para a redação e apresentação de dissertações da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Tabela 1. Estrutura da dissertação.

Capítulo I	Introdução geral, os objetivos e a estrutura da dissertação
Capítulo II	Metodologia geral
Capítulo III	Artigo empírico The synergetic body movements for a successful free throw in young basketball players <i>Miguel Ferreira, Pedro Leitão, Pedro Fonseca, Matheus Pacheco, Eduardo Guimarães</i>
Capítulo IV	Síntese final

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azadjou, H., Błażkiewicz, M., Erwin, A., & Valero-Cuevas, F. J. (2023). Dynamical Analyses Show That Professional Archers Exhibit Tighter, Finer and More Fluid Dynamical Control Than Neophytes. *Entropy*, 25(10), 1414.

Cabarkapa, D., Cabarkapa, D. V., Miller, J. D., Templin, T. T., Frazer, L. L., Nicoletta, D. P., & Fry, A. C. (2023). Biomechanical characteristics of proficient free-throw shooters-markerless motion capture analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1208915.

ESPN. (n.d.). *NBA on ESPN - Scores, stats and highlights*. <https://www.espn.com/nba/>

FIBA. (n.d.). *Presentation*. <https://www.fiba.basketball/presentation>

FPB. (n.d.). *Competições – Estatísticas*. <https://www.fpb.pt/>

Glazier, P. S., & Davids, K. (2009). Constraints on the complete optimization of human motion. *Sports Medicine*, 39(1), 15–28.

Glazier, P. S., & Mehdizadeh, S. (2019). In search of sports biomechanics' holy grail: Can athlete-specific optimum sports techniques be identified?. *Journal of Biomechanics*, 94, 1–4.

Guimaraes, E., Baxter-Jones, A. D. G., Williams, A. M., Tavares, F., Janeira, M. A., & Maia, J. (2021). Modelling the dynamics of change in the technical skills of young basketball players: The INEX study. *PLoS One*, 16(9), e0257767.

Gurr, A. H. (2024, February 2). *NBA points per game highest level since 1969. why?* KSLNewsRadio. <https://kslnnewsradio.com/2076116/nba-points-per-game-highest-level-since-1969-why/>

Hudson, J. L. (1985). Prediction of Basketball Skill Using Biomechanical Variables. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56(2), 115–121.

Kiers, H., van Dieën, J., Dekkers, H., Wittink, H., & Vanhees, L. (2013). A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Medicine*, *43*(11), 1171-1189.

Ko, J. H., Challis, J. H., & Newell, K. M. (2014). Transition of COM–COP relative phase in a dynamic balance task. *Human Movement Science*, *38*, 1-14.

Latash M. L. (2012). The bliss (not the problem) of motor abundance (not redundancy). *Experimental Brain Research*, *217*(1), 1–5.

Lee, I. C., Pacheco, M. M., & Newell, K. M. (2019a). Postural coordination and control to the precision demands of light finger touch. *Experimental Brain Research*, *237*(5), 1339–1346.

Lee, I. C., Pacheco, M. M., & Newell, K. M. (2019b). The precision demands of viewing distance modulate postural coordination and control. *Human movement science*, *66*, 425-439.

Okazaki, V. H., Rodacki, A. L., & Satern, M. N. (2015). A review on the basketball jump shot. *Sports Biomechanics*, *14*(2), 190–205.

Okubo, H., & Hubbard, M. (2006). Dynamics of the basketball shot with application to the free throw. *Journal of Sports Sciences*, *24*(12), 1303–1314.

Pakosz, P., Domaszewski, P., Konieczny, M., & Bączkiewicz, D. (2021). Muscle activation time and free-throw effectiveness in basketball. *Scientific Reports*, *11*(1), 7489.

Petway, A. J., Freitas, T. T., Calleja-González, J., Medina Leal, D., & Alcaraz, P. E. (2020). Training load and match-play demands in basketball based on competition level: A systematic review. *PloS One*, *15*(3), e0229212.

Riccio, G. E. (1993). Information in movement variability about the qualitative dynamics of posture and orientation. In K. M. Newell, & D. M. Corcos (Eds.). *Variability and motor control* (pp. 317–357). Champaign, IL: Human Kinetics.

Riley, M. A., Stoffregen, T. A., Grocki, M. J., & Turvey, M. (1999). Postural stabilization for the control of touching. *Human Movement Science, 18*(6), 795–817.

Tran, C. M., & Silverberg, L. M. (2008). Optimal release conditions for the free throw in men's basketball. *Journal of Sports Sciences, 26*(11), 1147–1155.

Verhoeven, F. M., & Newell, K. M. (2016). Coordination and control of posture and ball release in basketball free-throw shooting. *Human Movement Science, 49*, 216–224.

CAPÍTULO II

Metodologia Geral

METODOLOGIA GERAL

Amostra

A amostra desta dissertação foi composta por 31 jovens basquetebolistas do sexo masculino com 13.33 ± 0.61 anos, pertencentes a 11 clubes da Associação de Basquetebol do Porto (ABP). Os jogadores foram divididos em dois grupos de acordo com a seleção realizada pelos treinadores da ABP aquando da constituição da equipa regional Sub14 que, em 2016, competiu no Campeonato Nacional Interassociações: elite ($n = 11$) e não-elite ($n = 20$). Os jogadores de elite tinham 6.64 ± 1.91 anos de experiência e treinavam 3.09 ± 0.70 h/semana, enquanto os seus pares de não-elite tinham 4.75 ± 1.97 anos de experiência e treinavam 3.75 ± 1.02 h/semana. Foi obtido um consentimento informado por escrito dos pais ou tutores legais, bem como um consentimento individual de cada participante. Além disso, a ABP deu permissão formal para a recolha de dados e o estudo foi aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (CEFADE 13.2017).

Antropometria

A altura (cm) foi medida com os participantes descalços e com a cabeça dos mesmos posicionada no plano de *Frankfurt* utilizando um estadiómetro *Harpender* (Holtain Ltd., Crymych, Reino Unido) com precisão de 0.1 cm. A massa corporal (kg) foi obtida com uma balança de bioimpedância (Tanita®BC-418MA, Tanita Corp., Tóquio, Japão) com precisão de 100 g. Todas as medições foram realizadas por antropometristas experientes seguindo os protocolos do *International Working Group on Kinanthropometry* (Ross & Marfell-Jones, 1995).

Experiência de treino

A experiência de treino, expressa em anos acumulados de prática formal de basquetebol, foi obtida através de um questionário de autopreenchimento e validada a partir do registo histórico de inscrições, disponível no *website* oficial da Federação Portuguesa de Basquetebol (<http://www.fpb.pt>).

Procedimentos

Depois de efetuadas as medições e obtidos os dados sobre o treino, os jovens basquetebolistas foram encaminhados para o Laboratório de Biomecânica do Porto (LABIOMEPE), onde um sistema de análise de movimento de 12 câmaras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden), operando a uma frequência de 200 Hz, estava programado para captar dados tridimensionais cinemáticos do movimento do lançamento livre (Figura 1). Foram colocados marcadores retrorefletores nos participantes para registar o movimento da tarefa. Os 11 jogadores seleccionados foram modelados com uma configuração de marcadores de corpo inteiro, ao passo que os 20 jogadores não-seleccionados utilizaram uma versão reduzida da configuração de marcadores, i.e., sem membros inferiores.

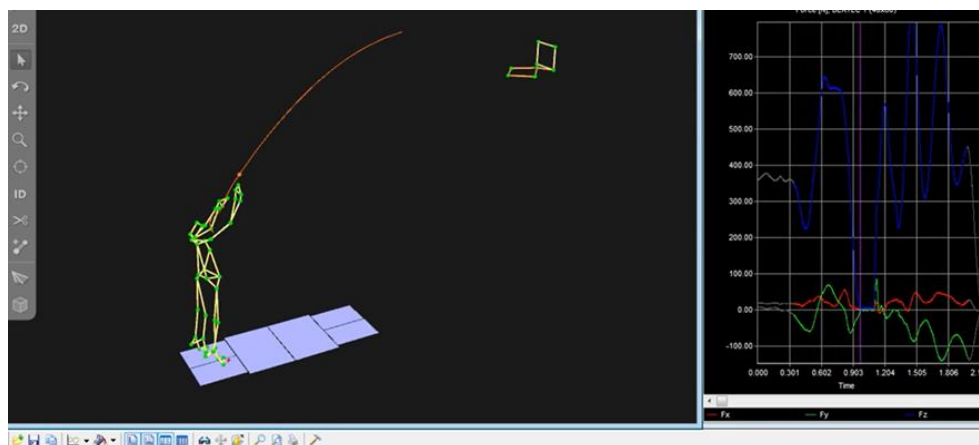


Figura 1. Exemplo de um lançamento livre executado por um jogador de elite capturado pelo sistema *Qualisys*.

A configuração dos marcadores seguiu um modelo de marcha convencional modificado, permitindo a medição do movimento com 6 graus de liberdade. Para tal, os marcadores foram colocados em vários pontos de referência anatómicos. A tabela de basquetebol e o aro foram modelados com quatro marcadores cada. A bola foi completamente coberta por uma fita retrorefletora, tornando-a, deste modo, um único marcador do ponto de vista do sistema de captura de movimento.

Uma vez equipados, os participantes foram instruídos a realizar 10 lançamentos livres. A tarefa foi realizada no laboratório, onde foi colocada uma tabela com dimensões de acordo com as regras oficiais da Federação Internacional de Basquetebol. O tempo entre lançamentos foi cerca de 10 s e correspondeu ao tempo necessário para o investigador passar a bola de volta para o jogador que lançou e para o sistema de rastreio reiniciar. Foram ainda registados lançamentos marcados e falhados, para calcular uma percentagem individual de lançamento livre, que foi utilizada como uma métrica de desempenho de lançamento.

Análise de dados

Após a identificação dos marcadores no *Qualisys Track Manager Software* (Qualisys, Inc., Gothenburg, Suécia), os dados foram exportados para o *Visual 3D Software* (C-motion, Germantown, MD, EUA). Aqui, o lançamento livre foi segmentado em três eventos específicos: (i) *START* - momento em que o centro de massa (CDM) atinge o seu valor mais baixo; (ii) *RELEASE* - momento em que a bola sai da mão do jogador, identificado pelo instante em que a velocidade da bola em relação à velocidade dos marcadores das mãos se altera pelo valor de 0.05 m/s; (iii) *SCORE* - o momento em que bola passa linha do aro ou colide com o aro ou a tabela.

De seguida, normalizou-se o tempo de movimento de todas as articulações e segmentos de 0% a 120% do lançamento. O início do lançamento (*START*) foi o valor para 0% e o lançamento (*RELEASE*) foi o valor para 100%.

Para estimar a oscilação postural, foi ajustada uma elipse contendo pelo menos 85% dos dados CDM e centro de pressão (CDP), respetivamente, e anotada a sua área. A partir da série temporal CDM, calculou-se a altura do pico, o instante da altura do pico e a diferença entre o instante da altura do pico CDM e o lançamento da bola. Para todas estas medidas, calculou-se a média e o desvio-padrão de todas as tentativas. Este processamento foi realizado num *script* customizado do Matlab (Matlab 2024a, MathWorks, Nattick, MA).

Análise estatística

As estatísticas descritivas foram apresentadas sob a forma de médias e desvios padrão (Média \pm DP). A normalidade foi testada e a maioria das variáveis desviou-se significativamente de uma distribuição normal. Assim sendo, os dados foram analisados recorrendo a procedimentos estatísticos não-paramétricos. O teste *U* de *Mann-Whitney* foi utilizado para comparar os grupos. O coeficiente de correlação *r* foi calculado como medida da magnitude do efeito e interpretado seguindo a proposta de Cohen (1992): 0.10 (pequena), 0.30 (média) e 0.50 (grande). Todas as análises de dados foram realizadas no IBM SPSS 29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA) e o nível de significância foi fixado em 5%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cohen, J. (1992). Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1, 98–101.

Ross, W. D., & Marfell-Jones, R. J. (1995). Cineantropometría. *Evaluación fisiológica del deportista*. Barcelona: Paidotribo.

CAPÍTULO III

Estudo Empírico

Artigo

***The synergetic body movements for a successful free throw in young
basketball players***

Miguel Ferreira^a, Pedro Leitão^a, Pedro Fonseca^b, Matheus Pacheco^a,
Eduardo Guimarães^a

^aCIFI²D, Faculty of Sport, University of Porto, Porto, Portugal

^bLABIOMEPE, Faculty of Sport, University of Porto, Porto, Portugal

Artigo em submissão

ABSTRACT

In this study, we investigated how the postulated features of postural control are demonstrated in experienced basketball players (with long term formal training) during their free throw. Then, in line to the ideal of identifying features of the best athletes, we compared these features between two skill levels. Thirty-one young male basketball players from 11 clubs were assigned into two groups: elite (EL) and non-elite (NEL). Results showed that EL players were significantly older, more experienced, taller, heavier, and had better free throw percentage than their NEL peers. Also, they had a significantly lower Peak COM height mean. This was also the case for Area COP, the EL players had significantly less dispersion than NEL players. On the other hand, NEL players were significantly faster getting to their Peak COM. The Area COP variation was also significantly different between the two groups. The EL players were less likely to vary in their COP than their NEL counterparts. The Release-Peak COM difference did not show any significant differences between the two groups. In conclusion, EL and NEL players cannot be distinguished by most of the studied postural-movement coordination aspects. Thus, individuals will demonstrate different movement strategies – and these might not differentiate performance.

Keywords: postural control, free throw, technical skills, youth basketball.

INTRODUCTION

According to the Portuguese Federation of Basketball archives, in the 30's, the first Portuguese national team game was against France. The game result was a 9-32 defeat. In this year, the final game of the national Portuguese league had a score of 83-76, representing an increase of almost 4 times in scoring. Gurr (2024) says that the average number of points scored in an NBA game is the highest it's been in 55 years with a mean scored points per game a team of 115.6. Over time, basketball offenses became increasingly more efficient. One of the factors might be the increasing efficacy in athletes motor skills. The most efficacious (and in some cases decisive) shot type in the game is the free throw. Various high-level players such as Seth Curry or Steve Nash demonstrate 95% or higher successful free throws in a season (ESPN, n.d.). A lot of hours of practice, and deliberate repetitions are necessary to acquire this complex motor skill.

As Verhoeven and Newell (2016) state, understanding the importance of various individual components of movement execution can be fundamental to aid coaches target specific skills and patterns in their quest to get players to acquire the difficult free throw shot. In this line, the synergistic interplay between posture and movement is highly emphasized in ballistic movements such as the free throw. Better neuromuscular control and stability could contribute to more efficient functional specific sports movements. Even though, there is still lack of research investigating the relationship of body stability and control with sport specific performance (Zemková, 2022). It is expected that as individuals become experts, the whole movement system coalesces into a more efficient and efficacious task-driven "machine". How to achieve or promote such a skill-level is still an open question in the literature.

Indeed, early studies on a variety of motor tasks have demonstrated that postural control cannot be regarded as an independent system concerned *only* with balance. Rather, the postural system acts to facilitate task goal achievement (e.g., Lee et al., 2019; Riccio, 1993; Riley et al., 1999). For instance, when participants are required to maintain visual contact with a target in varying distances, measures such as the coordination between center of mass (COM) and center of pressure (COP) demonstrate a strict coupling decreasing head

sway whenever the precision demands increase (the target is placed far away from the participant) (Lee et al., 2019). Studies directed to understand skills performed in sports contexts have also demonstrated a number of features in postural control that seem to facilitate task achievement in experts. Azadjou et al. (2023) demonstrated a diminished dispersion of the COM reconstructed phase space in professional archers while aiming and shooting.

Specific to the basketball free throw, studies have postulated several postural features that would be “optimized” in order to facilitate successful shots. Hudson (1985) have considered a number of potential biomechanical features and found that COM sway as well as height of release were the best candidates to differentiate experts, good and poor throwers (see also Tran & Silverberg, 2008). Verhoeven and Newell (2016) observed that elite throwers released the ball closer to the COM peak compared to good and poor throwers.

It is important to note that, despite a number of studies on the free throw, most studies were performed with recreational players (e.g., Verhoeven & Newell, 2016; Cabarkapa et al., 2023) or through simulations (e.g., Okubo & Hubbard, 2006; Tran & Silverberg, 2008). This highly limits the generalization of results to high-level athletes. Also, the idea of identifying specific features of a given skill goes counter to a large literature claiming that individuals explore the abundant solutions that the motor system offer for a given goal. As Latash finds in his 2012 study, that the degrees of freedom of movement should not try to be decreased but, on the other hand, following the principle of abundance, that says that these are useful and even vital for many aspects of motor behavior and movement. The fact that there are many potential movements that can accomplish the same goal, and that individual explore this would be sufficient for variability within, but also between athletes achieving the same level of performance. Therefore, the goal of the present study is to explore how the postulated features of postural control are demonstrated in experienced basketball players (with long term formal training) during their free throw. Further, in line to the ideal of identifying features of the best athletes, we compared these features between two skill levels. Based on the literature, we hypothesize that elite athletes will show decreased postural sway (COM and COP), higher COM height, and a smaller time difference

between the COM peak height and the ball release when compared to non-elite athletes. Such differences would also be observed in terms of the consistency of these measures (i.e., standard deviation).

METHODS

Participants

The sample comprised 31 male basketball players, aged 13.33 ± 0.61 years, recruited from 11 member clubs of the Porto Basketball Association. The players, who had 5.42 ± 2.13 years of accumulated formal basketball training and trained 3.52 ± 0.96 h·week⁻¹, were assigned into two groups according to the selection made by the coaching staff of the Porto Basketball Association to form an elite under-14 regional team that competed in the 2016 Portuguese Inter-Associations National Championship. This resulted in 11 elite (EL) and 20 non-elite (NEL) players. Written informed consent was obtained from parents or legal guardians as well as individual assent from each participant. The study was approved by the Ethics Committee of the lead institution (CEFADE 13.2017), and the Porto Basketball Association gave formal permission for data collection.

Task, equipment, and procedures

The participants, upon arrival, had their basic anthropometrics measured. The participant's height was calculated without shoes and with the participant's head positioned in the Frankfurt plane using a Harpenden stadiometer (Holtain Ltd., Crymych, UK) with a precision of 0.1 cm. The body mass of the participants was obtained using a bio-impedance scale (Tanita®BC-418MA, Tanita Corp., Tokyo, Japan) with a precision of 100 g. All measurements were taken following the International Working Group on Kinanthropometry protocols (Ross & Marfell-Jones, 1995). Training experience was obtained from registration available at the official website of the Portuguese Basketball Federation.

A 12-camera motion analysis system (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) operating at a frequency of 200 Hz was used to capture three-dimensional

kinematics data of the free throw shooting motion. Retroreflective markers were placed on the participants to record the shooting movement. The eleven EL players were modeled with a full body marker setup, while the remaining twenty players used a reduced version of the marker setup, with no lower limbs.

The marker setup followed a modified conventional gait model, allowing the measurement of movement with 6 degrees of freedom. To do so, markers were placed on the anatomical landmarks presented in Figure 1. The backboard was identified with a marker in each corner, while the rim was also modelled with four markers. The ball was a fully covered in a retroreflective film, thus rendering it a single marker in the view of the motion capture system.

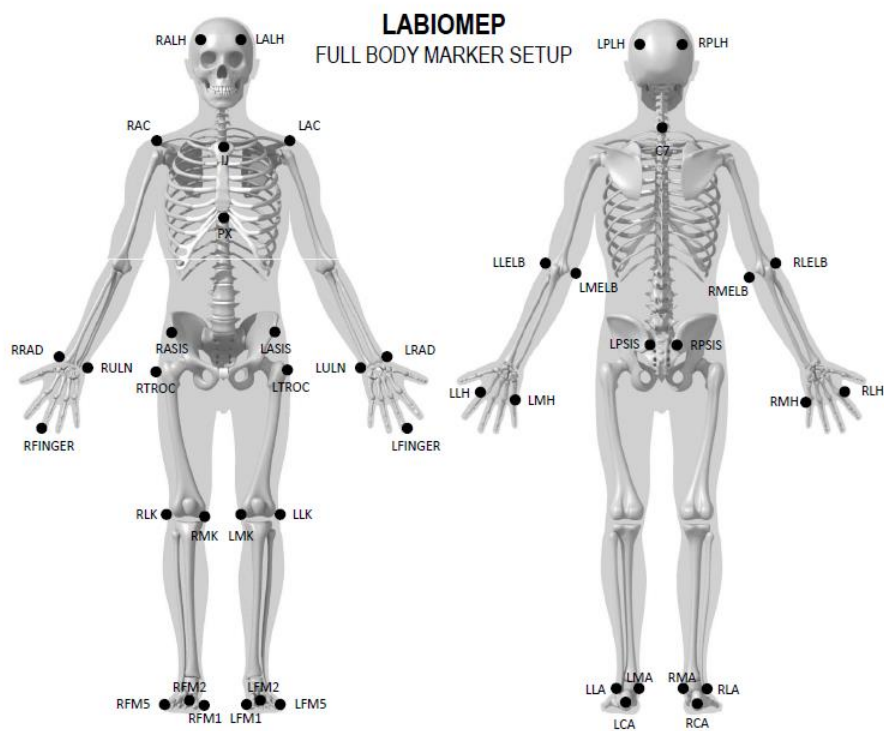


Figure 1. LABIOMEPE's full marker setup with the names of every marker and dots in their respective placement anatomical spots.

Participants were then asked to perform 10 basketball free throws. The task was performed at the LABIOMEPE facilities, where a basket was placed in

accordance with the International Basketball Federation (FIBA) rules, this is at 4.05 m from the vertical projection of the hoop's center on the floor. The rim was set at 3.05 m high. The time between shots, was around 10 s, this is, the time necessary for someone to pass the ball back to the subject and for the Qualisys system being reset.

Data analysis

After marker identification in Qualisys Track Manager Software (Qualisys, Inc., Gothenburg, Sweden), data was exported for further processing in Visual 3D Software (C-motion, Germantown, MD, USA). The free throw was segmented by the identification of three critical events: (i) start: the instant where the center of mass is in the lowest position; (ii) release: the instant when the ball leaves the hand, identified as the instant where the velocity of the ball in relation to the hand changes by 0.05 m/s; (iii) score: the instant when the ball either passes the line of the rim, or impacts the rim or backboard. Then, we time-normalized the joints and segments motion for each trial from 0% to 120% of the throw considering 0% as the start and 100% as the release.

To estimate the postural sway, we fitted an ellipse containing at least 85% of the COM and COP data, respectively, and noted its area. From the COM time series, we calculated its peak height, the peak height instant and the difference between the COM peak height instant and ball release. For all these measures, we calculated the mean and standard deviation of all trials. This processing was made in a custom Matlab script (Matlab 2024a, MathWorks, Natick, MA).

Statistical analysis

Descriptive statistics are presented as means and standard deviations (Mean \pm SD). All normality checks were undertaken, and most variables significantly deviated from a normal distribution. Therefore, we analyzed the data using non-parametric techniques. The Mann–Whitney U test was used to compare groups. We present the effect size r (as in Field, 2009) as a measure of effect size and

interpreted as follows: 0.10 (small effect size), 0.30 (medium effect size), and 0.50 (large effect size) (Cohen, 1992). All data analyses were performed using the IBM SPSS 29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA), and the significance level was set at 5%.

RESULTS

Table 1 presents the sample characteristics. As shown, the EL players were significantly different than the NEL players when it comes to their age (older), training experience (more experienced), and anthropometrics (taller and heavier). Importantly, the EL players also demonstrated significantly better free throw shooting percentage. They scored $69.09 \pm 9.44\%$ of the shots, while the NEL players only made $40.50 \pm 15.04\%$.

Table 1. Descriptive statistics for age, training experience, basic anthropometrics, and free throw shooting performance of young EL and NEL basketball players [Mann–Whitney *U* test (*Z*) and effect size (*r*)].

Variables	Elite	Non-elite	<i>Z</i> (<i>r</i>)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	
Age (years)	13.65 \pm 0.44	13.15 \pm 0.62	2.01 (0.36) *
Training experience (years)	6.64 \pm 1.91	4.75 \pm 1.97	2.42 (0.43) *
Height (cm)	179.53 \pm 6.44	161.62 \pm 8.70	4.05 (0.73) **
Body mass (kg)	67.91 \pm 6.97	49.51 \pm 10.20	3.84 (0.69) **
Free throw (%)	69.09 \pm 9.44	40.50 \pm 15.04	4.09 (0.73) **

* $p < .050$; ** $p < .001$

As shown in Table 2, the EL players had a significantly lower Peak COM height mean than their NEL counterparts. This was also the case for Area COP, the EL players had significantly less dispersion than NEL players. On the other hand, NEL players were significantly faster getting to their Peak COM. The Area COP variation was also significantly different between the two groups. The EL players were less likely to vary in their COP than their NEL counterparts. The

Release-Peak COM difference did not show any significant differences between the two groups.

Table 2. Descriptive statistics for free throw release and posture variables and variation variables of young EL and NEL basketball players [Mann–Whitney *U* test (*Z*) and effect size (*r*)].

Variables	Elite	Non-elite	<i>Z</i> (<i>r</i>)
	Mean ± SD	Mean ± SD	
<i>Free Throw release and posture variables</i>			
Peak COM Height	1.15 ± 0.05	1.29 ± 0.12	3.55 (0.64)**
Peak COM Moment	0.50 ± 0.16	0.40 ± 0.08	−2.02 (−0.36)*
Shot Moment	0.43 ± 0.14	0.34 ± 0.07	−1.84 (−0.33)
Difference Shot-Peak COM	−0.07 ± 0.02	−0.06 ± 0.01	1.57 (0.28)
Area COM	4.42 ± 5.20	3.62 ± 1.74	0.54 (0.10)
Area COP	0.02 ± 0.02	0.06 ± 0.04	3.22 (0.58)**
<i>Variation Variables</i>			
Peak COM Height Variation	0.03 ± 0.03	0.06 ± 0.12	1.36 (0.24)
Peak COM Moment Variation	0.09 ± 0.08	0.08 ± 0.08	−0.12 (−0.02)
Shot Moment Variation	0.08 ± 0.08	0.07 ± 0.07	−0.25 (−0.04)
Difference Shot-Peak COM Variation	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02	−0.41 (−0.07)
Area COM Variation	2.31 ± 2.20	1.82 ± 1.12	0.21 (0.04)
Area COP Variation	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.01	2.48 (0.45)*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.001$

DISCUSSION

In this study, we compared different skill-levels of young basketball athletes to understand if there are synergistic posture-movement features (as postulated in the literature) that differentiate them. As stated, there is a long history of researchers looking for the “holy grail” of the optimum movement patterns in sports, but their existence is debatable (see Glazier & Davids, 2009; Glazier & Mehdizadeh, 2019). Following this line of inquiry, we identified postulated posture-movement variables in the literature and observed whether these would distinguish those who were considered EL players for the regional team selection.

We found that, contrary to our hypothesis, EL players released the ball at a lower height of their COM than NEL players. This result challenges postulates from Hudson (1985), Tran and Silverberg (2008), and Verhoeven and Newell (2016). Despite the fact that all these studies argued on actual height release rather than COM height, it would be expected that the COM height would covary with release height as there is an increase in height of the upper limbs, dragging the COM upward. Note, however, that while Tran and Silverberg (2008) derived their results from mathematical simulations, both Hudson (1985) and Verhoeven and Newell (2016) recruited college students for their analyses. One could argue that age could have influenced our results – it would take more years of practice to demonstrate the “gold standard” of the mentioned variables. Another major difference between the studies is the fact that while Hudson (1985) was careful to select as “elite” players six athletes of the US team that played in the World University Games, Verhoeven and Newell (2016) categorized participants as “elite” from performance in the test only (they did not need to be part of the basketball college team).

Interestingly, the three studies showed similar performance for the elite groups (~70%). Given this, we are tempted to say that, rather than a variable that athletes converge towards, increased release height is just an aspect that represents a given style in throwers. Many other strategies can be equally efficient. Tran and Silverberg (2008) postulated different styles of shooting: the low style, in which the ball is released lower to the line of sight, and the high style, where the ball is released higher than the line of sight. In the low style, the ball is usually shot with more speed, whereas in the high style, the ball is released with higher release angle and at higher heights. It is quite possible that differences between studies reflect the tendencies of different players in using a style or another – with a non-direct relation to performance.

Further, *the same strategy can result in different outcomes*. Our non-elite athletes demonstrated the same timing between release and COM peak height than the elite athletes. This, again, does not corroborate our initial hypotheses and challenges the findings of Verhoeven and Newell (2016). The idea that posture and movement dynamics become more coupled with practice was

considered by Verhoeven and Newell (2016) as a common feature in learning (following Mitra et al., 1998). Nonetheless, the dynamics of learning were shown to be divergent dependent on a number of features (see Newell & Vaillancourt, 2001; Kostrubiec et al., 2012; Pacheco et al., 2019) such as initial repertoire of the individual, type of task, or given the natural redundancy in the movement system. Thus, the fact that our study disagrees with Verhoeven and Newell (2016) might mean that their initial formulation was theoretically fragile to hold.

An important feature that remained similar in both studies is that all releases occurred *before* the COM peak. This might be explained by the fact that, while the COM is raising, the body has a positive velocity. When the COM height is near its peak the velocity gets to 0. This way, it might be that players use the mechanical advantage of releasing the ball while the body's velocity is still positive, taking advantage of the body's momentum (decreasing effort/ being more efficient). This should be further studied.

In favor to our expectations, we found that the elite players showed less postural sway (COP area) than less skilled counterparts. Additionally, we found that the elite athletes were more consistent in their sway (lower COP area standard deviation) than non-elite athletes. This in accordance with Azadjou et al. (2023) that demonstrated that high performance archers sway less when compared to neophytes when shooting an arrow (see also Ko et al., 2018 for pistol shooting). In fact, this goes in line to Kiers et al. (2013) review that shows that, in general, sport practitioners sway less than controls, and high-level athletes sway less than low-level athletes in standing tasks.

The reason for such minimized sway is, nonetheless, an ongoing debate. Lee et al. (2019) summarizes the many views in informational and postural facilitation hypotheses (while also providing a potential meshed version of both). In the former, decreased postural sway is a result of sufficient informational input – the more information available, the better the postural system can maintain the system in a specified position. In the latter, it is the postural system that modifies its dynamics for the system perform a given task. In the common case which individuals close their eyes and increase postural sway, the former would argue

that without vision the system ends up swaying more; the latter would argue that the postural system only decreases the sway when the eyes need to be stabilized for vision. In the case here, we think that the latter is better suited. Athletes would have learned to facilitate their release through improved postural dynamics. Clearly, we have not compared the hypotheses directly.

This study presents some limitations. First, we have a small number of participants. Nonetheless, the number of participants had to necessarily be low because there are few selected players – few players reach such a level. While this affects statistical analyses, we are being representative of this population. Second, one could argue that the laboratory conditions are unfamiliar to the players. Nonetheless, this type of research will inevitably modify visual layout of athletes provide the camera and markers placement. An interest venue would be to compare these results with markerless motion capture techniques. Third, our classification of elite players is dependent on the regional team selection. Non-elite players showed lower mean efficiency on the free throw, but, individually, some players of this group were comparable to the elite group. Other classification methods should be considered.

CONCLUSIONS

In conclusion, EL and NEL athletes cannot be distinguished by most of the studied postural-movement coordination aspects postulated in the literature. We only identified COP sway as variable that differentiates these groups, corroborating other studies. We have discussed that, in line to current literature in motor control, the movement system is abundant (Latash, 2012). Thus, individuals will demonstrate different movement strategies – and these might not differentiate performance. Thus, the search for the “optimal movement technique” in sports is further challenged here (see Glazier & Davids, 2009; Glazier & Mehdizadeh, 2019).

REFERENCES

- Azadjou, H., Błażkiewicz, M., Erwin, A., & Valero-Cuevas, F. J. (2023). Dynamical Analyses Show That Professional Archers Exhibit Tighter, Finer and More Fluid Dynamical Control Than Neophytes. *Entropy*, 25(10), 1414.
- Cabarkapa, D., Cabarkapa, D. V., Miller, J. D., Templin, T. T., Frazer, L. L., Nicoletta, D. P., & Fry, A. C. (2023). Biomechanical characteristics of proficient free-throw shooters-markerless motion capture analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1208915.
- Cohen, J. (1992). Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1, 98–101.
- ESPN. (n.d.). *NBA on ESPN - Scores, stats and highlights*. <https://www.espn.com/nba/>
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS* (3rd ed.). London, UK: Sage Publications Ltd.
- Glazier, P. S., & Davids, K. (2009). Constraints on the complete optimization of human motion. *Sports Medicine*, 39(1), 15–28.
- Glazier, P. S., & Mehdizadeh, S. (2019). In search of sports biomechanics' holy grail: Can athlete-specific optimum sports techniques be identified?. *Journal of Biomechanics*, 94, 1–4.
- Gurr, A. H. (2024, February 2). *NBA points per game highest level since 1969. why?* KSLNewsRadio. <https://kslnnewsradio.com/2076116/nba-points-per-game-highest-level-since-1969-why/>
- Hudson, J. L. (1985). Prediction of Basketball Skill Using Biomechanical Variables. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56(2), 115–121.
- Kiers, H., van Dieën, J., Dekkers, H., Wittink, H., & Vanhees, L. (2013). A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Medicine*, 43(11), 1171-1189.

Ko, J. H., Han, D. W., & Newell, K. M. (2018). Skill level changes the coordination and variability of standing posture and movement in a pistol-aiming task. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), 809–816.

Kostrubiec, V., Zanone, P. G., Fuchs, A., & Kelso, J. A. (2012). Beyond the blank slate: routes to learning new coordination patterns depend on the intrinsic dynamics of the learner-experimental evidence and theoretical model. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 222.

Latash M. L. (2012). The bliss (not the problem) of motor abundance (not redundancy). *Experimental Brain Research*, 217(1), 1–5.

Lee, I. C., Pacheco, M. M., & Newell, K. M. (2019a). Postural coordination and control to the precision demands of light finger touch. *Experimental Brain Research*, 237(5), 1339–1346.

Lee, I. C., Pacheco, M. M., & Newell, K. M. (2019b). The precision demands of viewing distance modulate postural coordination and control. *Human movement science*, 66, 425–439.

Mitra, S., Amazeen, P. G., & Turvey, M. T. (1998). Intermediate motor learning as decreasing active (dynamical) degrees of freedom. *Human Movement Science*, 17(1), 17–65.

Newell, K. M., & Vaillancourt, D. E. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human Movement Science*, 20(4-5), 695–715.

Okubo, H., & Hubbard, M. (2006). Dynamics of the basketball shot with application to the free throw. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1303–1314.

Pacheco, M. M., Lafe, C. W., & Newell, K. M. (2019). Search Strategies in the Perceptual-Motor Workspace and the Acquisition of Coordination, Control, and Skill. *Frontiers in Psychology*, 10, 1874.

Riccio, G. E. (1993). Information in movement variability about the qualitative dynamics of posture and orientation. In K. M. Newell, & D. M. Corcos (Eds.). *Variability and motor control* (pp. 317–357). Champaign, IL: Human Kinetics.

Riley, M. A., Stoffregen, T. A., Grocki, M. J., & Turvey, M. (1999). Postural stabilization for the control of touching. *Human Movement Science, 18*(6), 795–817.

Ross, W. D., & Marfell-Jones, R. J. (1995). Cineantropometria. In Duncan J., MacDougall H., Wenger A., & Green H. J. (Eds.), *Evaluación fisiológica del deportista*.

Tran, C. M., & Silverberg, L. M. (2008). Optimal release conditions for the free throw in men's basketball. *Journal of Sports Sciences, 26*(11), 1147–1155.

Verhoeven, F. M., & Newell, K. M. (2016). Coordination and control of posture and ball release in basketball free-throw shooting. *Human Movement Science, 49*, 216–224.

Zemková, E., & Zapletalová, L. (2022). The Role of Neuromuscular Control of Postural and Core Stability in Functional Movement and Athlete Performance. *Frontiers in Physiology, 13*, 796097.

CAPÍTULO IV

Síntese Final

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como principal objetivo investigar a coordenação entre aspetos posturais e do movimento no lançamento livre de jovens basquetebolistas. Para tal, inclui um artigo empírico que se propôs a investigar diversos aspetos postulados na literatura relacionados com a postura e movimento do lançamento livre. Alguns desses aspetos foram referidos em estudos de investigação que compararam atletas de diferentes níveis competitivos (Hudson 1985; Verhoeven & Newell, 2016), sendo alguns exemplos: desvio postural (relação CDM-CDP); altura do lançamento; momento do pico CDM; diferença pico de CDM lançamento.

Não obstante os fatores acima referidos terem vindo a ser apontados na literatura como sendo diferenciadores do desempenho, a verdade é que tal não foi confirmado pelo estudo que compõe a presente dissertação. No que diz respeito à altura do lançamento, apesar de não ter sido medida diretamente, os resultados mostraram que os basquetebolistas de não-elite lançavam de um ponto mais alto do que os seus pares de elite. Além de contrastar com estudos já publicados (Tran & Silverberg, 2008), este resultado contraria as expectativas iniciais visto que os jogadores de não-elite apresentavam, em média, estatura inferior ao grupo de elite. Neste sentido, e dada a relevância da altura de saída da bola para o sucesso em diversos lançamentos do basquetebol (Hudson, 1985; Verhoeven & Newell, 2016), importa que mais estudos se dediquem a entender melhor o impacto desta variável no ato de lançamento livre.

É possível que a idade dos participantes ajude a explicar este resultado. De facto, seriam necessários mais anos de treino regular e sistemático para que a técnica de lançamento destes jovens basquetebolistas esteja consolidada. Por outro lado, o resultado pode também refletir o tipo de lançamento destes jogadores. Segundo Tran e Silverberg (2008), existem dois estilos, “*low*” e “*high*”, e ambos apresentam diferenças no ângulo de saída da bola e na velocidade de lançamento.

Apesar de os jogadores de não-elite demorarem significativamente menos tempo a atingir a altura do pico CDM, não foram encontradas diferenças entre os dois grupos na variável diferença lançamento-pico CDM. Este resultado contraria uma vez mais a literatura disponível que apresentava este fator como um dos mais determinantes na diferenciação entre atletas de nível distintos (Verhoeven & Newell, 2016). Assim, pode-se questionar a teoria apresentada no estudo supracitado que afirma que a postura e as dinâmicas do movimento tornam-se mais coordenadas à medida que os atletas obtêm mais prática e maior *expertise*.

Por outro lado, verificou-se que a dispersão postural, medida pela área do CDP, foi um fator diferenciador entre os basquetebolistas de elite e não-elite. Tal como em diversos estudos disponíveis que referem que os praticantes mais experientes tendem a ter menos dispersão (Kiers, 2013), também esta dissertação verificou que os atletas de nível superior (i.e., elite) revelaram uma dispersão postural inferior à dos atletas menos experientes (i.e., não-elite). Visto que alguns estudos noutras modalidades desportivas mostram que o sucesso das habilidades técnicas pode estar relacionado com esta menor dispersão postural, fica assim a ideia de que os atletas de melhor nível poderão ter mais sucesso devido a este fator (Azadjou et al., 2023; Ko et al, 2018).

Contrariamente ao que é apresentado na literatura, parece que existem diversas estratégias diferentes de “organização” do movimento para que este seja bem-sucedido. E essas estratégias podem ser verificadas nos diferentes parâmetros. Desta mesma forma, a procura por um “gesto técnico ideal” será difícil, já que pelo “princípio da abundância” (Latash, 2012) podemos supor que existem várias formas de alcançar o sucesso nesta habilidade técnica.

Em conclusão, as variáveis de coordenação postural e movimento, amplamente descritas na literatura, não distinguiram os jovens basquetebolistas de elite dos de não-elite. De facto, os resultados desta dissertação são inequívocos em mostrar que somente as variáveis de dispersão do centro de pressão (desvio postural) e a consistência de dispersão foram capazes de diferenciar os dois grupos em estudo. Como tal, os basquetebolistas parecem

demonstrar diferentes estratégias de organização do seu movimento, que podem não ser diferenciadoras do desempenho entre pares de níveis competitivos distintos. Reforça-se, assim, a ideia de que a busca por um “gesto técnico ideal” no lançamento livre em particular e no desporto em geral é, muito provavelmente, inglória e utópica.

IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Espera-se que os resultados desta dissertação possam impactar positivamente a prática não só desportiva, como também científica. No plano desportivo, importa que os treinadores reconheçam, e aceitem, a existência de vários estilos de lançamento. No lançamento livre, o mesmo gesto técnico pode resultar em *outcomes* completamente diferentes.

No campo científico, fica claro que os estudos de comportamento motor desportivo com não-atletas e/ou atletas de baixo nível, não devem ser utilizados para generalizações, nem definições de conceitos práticos. Além disso, a procura por “padrões de movimento perfeitos”, pode ser uma má utilização de recursos de investigação, já que há várias formas dos movimentos desportivos serem eficazes.

LIMITAÇÕES

Este estudo apresenta algumas limitações, sendo que o número de participantes e as condições laboratoriais onde os dados foram recolhidos são as mais óbvias, mas ao mesmo tempo as mais complicadas de ultrapassar. O facto de terem sido usados atletas seleccionados limita a dimensão amostral. Contudo, não é exetável que existam mais jogadores não-seleccionados, do que seleccionados. Em relação à questão laboratorial, a colocação de equipamento tecnológico tão sofisticado num pavilhão apresenta sérios desafios, não só à sua colocação e operacionalização, mas também porque qualquer dano ou distúrbio no equipamento poderia significar prejuízos muito avultados para o laboratório. Assim, seria interessante, realizar-se um estudo nesta área com técnicas de captura do movimento sem marcadores.

Uma outra limitação que este estudo apresenta é na categorização dos atletas. Esta ficou dependente da escolha realizada pelos membros da equipa técnica da ABP. No futuro poder-se-á realizar um estudo com um sistema de classificação diferente. Por fim, poderá ser interessante contar com basquetebolistas do sexo feminino num estudo desta natureza para perceber se os resultados se assemelham aos alcançados pelos basquetebolistas do sexo masculino.

Por último, reconheço que o facto de não ter participado no momento da recolha dos dados pode também ser considerado uma limitação, já que não disponho de um controlo total da realização do procedimento experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azadjou, H., Błażkiewicz, M., Erwin, A., & Valero-Cuevas, F. J. (2023). Dynamical Analyses Show That Professional Archers Exhibit Tighter, Finer and More Fluid Dynamical Control Than Neophytes. *Entropy*, 25(10), 1414.

Hudson, J. L. (1985). Prediction of Basketball Skill Using Biomechanical Variables. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56(2), 115–121.

Kiers, H., van Dieën, J., Dekkers, H., Wittink, H., & Vanhees, L. (2013). A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Medicine*, 43(11), 1171-1189.

Ko, J. H., Han, D. W., & Newell, K. M. (2018). Skill level changes the coordination and variability of standing posture and movement in a pistol-aiming task. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), 809–816.

Latash M. L. (2012). The bliss (not the problem) of motor abundance (not redundancy). *Experimental Brain Research*, 217(1), 1–5.

Tran, C. M., & Silverberg, L. M. (2008). Optimal release conditions for the free throw in men's basketball. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1147–1155.

Verhoeven, F. M., & Newell, K. M. (2016). Coordination and control of posture and ball release in basketball free-throw shooting. *Human Movement Science*, 49, 216–224.