

## DISPOSITIVO DE ESCOAMENTO AERODINÂMICO INDUZIDO PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SERVIÇO DE TÊNIS

### INDUCED AERODYNAMIC FLOW DEVICE FOR ANALYZING THE PERFORMANCE OF THE TENNIS SERVE

Pedro Cabral Mendes<sup>\*</sup>  
Rui Manuel Sousa Mendes<sup>\*\*</sup>  
Manuel João Cerdeira Coelho-e-Silva<sup>\*\*\*</sup>  
João Miguel Almeida Luz<sup>\*\*\*\*</sup>  
Gonçalo Nuno Figueiredo Dias<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Micael Santos Couceiro<sup>\*\*\*\*\*</sup>

---

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um dispositivo de produção de um escoamento aerodinâmico induzido (EAI) capaz de simular a constrição ambiental e vento lateral, em contexto experimental de análise ao primeiro serviço de tênis. Para tal, estudou-se o comportamento da bola de tênis sob o efeito de um EAI no túnel de vento e analisou-se (3D) o lançamento da bola no primeiro serviço plano de 12 jogadores de tênis experientes. Concebeu-se um dispositivo composto por um ventilador industrial ajustável em altura e em profundidade às características morfológicas e técnicas do tenista. O caudal de EAI é estável e monitorizável através de um variador de velocidade. Conclui-se que as três “velocidades de vento” selecionadas, constroem o lançamento da bola (simulado por uma máquina) no eixo dos  $x$  (lateral), tornando o dispositivo capaz de perturbar a execução motora do serviço de tênis, recriando uma constrição ambiental relevante para a modalidade.

**Palavras-chave:** Vento. Tênis. Ventilador.

---

#### INTRODUÇÃO

As condições ambientais e a interação que estabelecem entre as constrições do praticante e da tarefa podem influenciar o desempenho motor (NEWELL, 1986; ARAÚJO; CARVALHO, 2007). No caso do tênis, os fatores ambientais mais referidos são a temperatura (ELLIOTT; REID; CRESPO, 2009; LOEHR, 1996; HOSKINS, 2003; SCOTT; RANDY, 2000; THERMINARIAS; DANSOU; CHIRPAZ; ETERRADOSSI; FAVRE-JUVIN, 1995), o vento (ELLIOTT; REID; CRESPO, 2009; LOEHR, 1996; HOSKINS, 2003; SCOTT; RANDY, 2000; FAULKNER, 1997; FLANAGAN, 1983), a luminosidade (ELLIOTT; REID; CRESPO, 2009; LOEHR, 1996; HOSKINS,

2003; SCOTT; RANDY, 2000), o tipo de piso (SCOTT; RANDY, 2000; MURIAS; LANATTA; ARCURI; LAIÑO, 2007), a chuva, a altitude e a umidade (SCOTT; RANDY, 2000).

Neste contexto, Mendes, Mendes, Fuentes, Campos, Menayo e Araújo (2011) inquiriram 140 treinadores de tênis experientes, para avaliarem a importância dos fatores de rendimento no primeiro serviço em tenistas de competição, concluindo que o vento é o fator ambiental percebido como mais determinante para o rendimento do primeiro serviço. Ainda que nenhum autor tenha sustentado a sua opinião num estudo experimental, a relevância deste fator ambiental em contexto competitivo foi reconhecida pela comunidade científica

---

\* Doutor. Professor da Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Coimbra e do Cidaf, Universidade de Coimbra, Portugal.

\*\* Doutor. Professor da Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal.

\*\*\* Doutor. Professor da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil.

\*\*\*\* Mestre do Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal.

\*\*\*\*\* Doutor. Professor da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, Cidaf, Portugal.

\*\*\*\*\* Mestre do Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal.

(ELLIOTT; REID; CRESPO, 2009; LOEHR, 1996; HOSKINS, 2003; SCOTT; RANDY, 2000; FAULKNER, 1997; FLANAGAN, 1983).

Adicionalmente, a escolha do serviço de tênis como objeto de estudo justifica-se pelo seu papel relevante na modalidade (TANABE; ITO, 2007), em que este movimento é assumido como uma subfase do jogo (BAHAMONDE, 2000; GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2005; HAAKE; CHADWICK; DIGNALL; GOODWILL; ROSE, 2000; LEES, 2007; GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2007)

Comparativamente às restrições da tarefa e do indivíduo, as de natureza ambiental são mais difíceis de “manipular” pelo treinador (ELLIOTT; REID; CRESPO, 2009). Esta limitação reflete-se no menor número de investigações. Assim, o estudo destas variáveis necessita de dispositivos experimentais capazes de simular as condições ambientais próximas da realidade, monitorizando-as e controlando o seu efeito.

O presente trabalho teve como objetivo principal descrever a concepção, caracterização e validação do dispositivo de Escoamento Aerodinâmico Induzido (EAI) para o estudo desta restrição na execução do primeiro serviço plano. O dispositivo de EAI produz um fluxo de ar, simulando uma situação de “vento lateral”, direcionado para o lançamento da bola no serviço.

## MÉTODOS

### Amostra

Participaram voluntariamente 12 tenistas masculinos experientes, destros e com  $25,2 \pm 3,9$  anos de idade. Os tenistas tinham  $16,3 \pm 5,6$  anos de prática de tênis e  $13,7 \pm 4,3$  anos de prática competitiva federada e obtiveram o patamar médio de 4 (nível avançado) no protocolo de avaliação International Tennis Number da Federação Internacional de Tênis, com os resultados a variarem entre os patamares 3 e 5. Em termos antropométricos, os tenistas tinham  $1,77 \pm 0,06$  m de estatura e  $1,81 \pm 0,05$  m de envergadura e de massa corporal  $72,3 \pm 4,2$  kg.

O estudo foi aprovado pela Universidade de Coimbra. Os participantes preencheram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, e atestaram a sua voluntariedade ao estudo e

liberdade para desistir do mesmo sem qualquer tipo de penalização. Refira-se, ainda, que nenhum jogador sofria de qualquer tipo de incapacidade física ou mental.

### Tarefa

O gesto requerido foi o *primeiro serviço plano do tênis* (i.e., sem efeito da bola), realizado atrás da linha de fundo da quadra de singulares coberta ( $23,77$  m x  $8,23$  m) do lado direito e a  $0,80$  m de distância da marca central.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos relativos à concepção e validação do dispositivo de EIA foram concretizados em cinco fases: 1) análise dos pontos mais altos e de impacto no lançamento da bola no primeiro serviço plano para cada tenista 2) concepção do dispositivo; 3) caracterização do dispositivo; 4) validação do dispositivo e; 5) regulação do dispositivo para cada tenista. Em cada uma destas fases serão descritas as variáveis analisadas.

### Análise do lançamento da bola

Tendo em conta que o objetivo deste trabalho foi desenvolver um dispositivo capaz de restringer o lançamento da bola no serviço de tênis, houve necessidade de estudá-lo previamente em jogadores experientes. Para tal, analisaram-se as variáveis, o ponto mais alto da bola relativo à sua fase de voo na sequência do lançamento de 12 jogadores experientes antes do impacto e a posição da bola no momento do impacto desta com a raquete, sem qualquer perturbação ou restrição (EAI).

O registo dos dois pontos da bola foram obtidos pela filmagem de duas câmaras: 1) câmara no plano sagital do tenista: Casio Exilim Pro EX-F1, filmando a  $210\text{Hz}$  a uma resolução de  $512 \times 384$  píxeis, posicionada a  $7,005$  m de distância da marca de serviço e fixa num tripé a  $2,065$  m de altura e, 2) câmara no plano frontal, posicionada atrás do jogador: Casio EX-FH25, com filme a  $210\text{Hz}$  a uma resolução de  $512 \times 384$  píxeis, colocada a  $3,63$  m do tenista e a num tripé a  $2,63$  m de altura. O posicionamento das câmaras foi estudado de forma a garantir a aquisição global do movimento e do lançamento

da bola (BAHAMONDE, 2000). O *timing* de início de filmagem de cada uma das duas câmaras foi sincronizado pela conexão e visualização de um *led* por câmara.

As imagens recolhidas foram analisadas em 3D nos dois instantes da bola durante o lançamento no serviço, com um erro máximo de medida, *i.e.*, resolução de 0,01 m. A calibração do espaço fez-se com um paralelepípedo de base quadrada com 2,50 m de aresta e 3,20 m de altura permitindo o desenho de um sistema de referência em oito pontos no espaço (MENDES; MARTINS; FACAS VICENTE; CORBI, COUCEIRO; MENDES; TROVÃO, 2011) com o recurso ao Matlab2009R. Para os cálculos das posições e respectivas coordenadas  $x$  (abscissas),  $y$  (ordenadas) e  $z$  (cotas), foi desenvolvido um *script* que contemplou a captura das imagens relativas aos dois instantes para cada serviço, *i.e.*, ponto máximo e ponto de impacto na bola.

### Concepção e caracterização do dispositivo de EAI

Foi idealizado um dispositivo com capacidade de ajustamento às características do lançamento da bola no serviço e à necessidade de induzir diferentes velocidades de vento artificial. Deste modo, procedeu-se ao controle das seguintes variáveis: 1) velocidade do fluxo de ar; 2) impactos visual e sonoro e; 3) ajustamento do ventilador nos eixos  $z$  (cota) e  $y$  (ordenadas).

A amplitude da velocidade do fluxo de ar junto ao tenista variou de zero e os 5,83 m/s. Para minimizar o impacto visual e sonoro do dispositivo de EAI sobre o jogador, este foi posicionado a 4 m de distância do tenista.

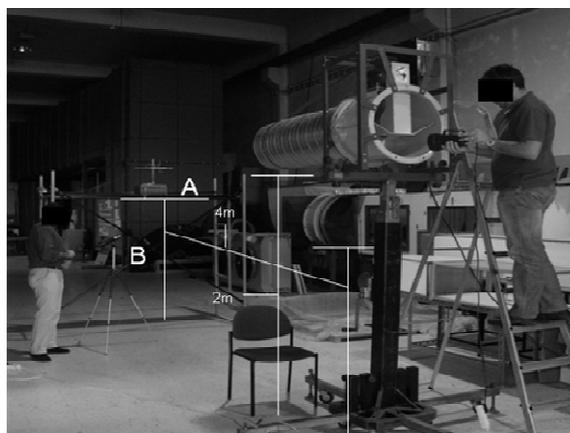
Ao ventilador do dispositivo EAI foi incorporado um elevador telescópico (Modelo *GUIL ELC-506*) com capacidade para 250 kg e até 5,20 m de altura máxima. Este elevador permitiu regular para cada jogador o posicionamento dos eixos  $z$  e  $y$ , ou seja, ajustar o EAI aos dois instantes do lançamento da bola: ponto máximo e ponto de impacto.

As características técnicas do dispositivo EAI e a sua concepção foram, no essencial, as seguintes:

nos laboratórios de Engenharia Electrotécnica e de Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, adaptou-se um ventilador industrial helicoidal da marca METEC-HCT-45-4T. A produção de diferentes

velocidades de débito de ar à saída do ventilador foi operacionalizada alimentando o accionamento através de um variador eletrónico de velocidade (VEV) da marca SEW Eurodrive; usou-se um motor de indução trifásico, bipolar e de 1,5kW da Universal Motors. O débito máximo pretendido, resultou do controlo do VEV, de forma a alimentar o motor com uma frequência de 65Hz e assim atingir-se uma velocidade de rotação máxima de 3900rpm. Ao VEV, foi acoplado um potenciómetro de 11 posições com capacidade de regular a velocidade do motor em função da sua posição. O fluxo de ar foi homogeneizado com uma malha em inox de 0,0045 m e uma conduta de 1,20 m de comprimento e 0,045 m de diâmetro; analisou-se a intensidade do escoamento de ar produzido em cada posição do ventilador nas instalações da Associação para o Desenvolvimento da Aeronáutica Industrial (ADAI) da Universidade de Coimbra. Na medição da intensidade do escoamento de fluxo de ar produzido pelo ventilador foi utilizado um Pitot-static de 0,006 m diâmetro (Figura 1A); um transdutor de pressão ou multímetro (marca, MULTUR Range - 0 a 1kPa); um multímetro digital (intelligent digital multimeter Thurbly 1905a - RS components) e um computador portátil. Para o registo do ruído recorreu-se a um sonómetro analisador de Ruído 2260 Investigator, da classe de exatidão 1 (Figura 1B).

O ventilador foi posicionado a 4 m de distância do pitot e o início da conduta a 2 m de altura relativamente ao solo (Figura 1). O Pitot ficou alinhado com o centro da conduta a 2,25 m de altura.



**Figura 1 -** Delineamento experimental para análise da intensidade do EAI e do ruído produzidos pelo ventilador. A - Pitot e B - Sonómetro.

Em cada velocidade, registou-se no transdutor de pressão 30 medições durante 1 min para calcular a velocidade média que, posteriormente, foi convertida para m/s a partir do multímetro digital.

### Validação do dispositivo de EAI

A validação do dispositivo de EAI implicou três etapas: 1) seleção de três velocidades de EAI; 2) estudo da estabilidade do fluxo de ar em cada velocidade de EAI e 3) análise da trajetória da bola com simulador do lançamento da bola nas três velocidades de EAI.

Foram seleccionadas três velocidades distintas de EAI: mínima, média e máxima. Estas velocidades consideraram os valores reais de vento medido diariamente no ano de 2009, tendo como local de recolha de dados a Figueira da Foz, por meio do Instituto de Meteorologia de Portugal, obtendo-se para a velocidade média diária,  $2,54 \pm 1,105$  m/s, e a velocidade máxima diária,  $9,91 \pm 3,331$  m/s. Assumiu-se como velocidade mínima 2,4 m/s, pela proximidade ao valor da velocidade média diária anteriormente mencionado. Além disso, respeitou-se o critério da equidistância aproximada entre as três velocidades, i.e., velocidade intermédia de 4,3 m/s e velocidade máxima de 5,8 m/s.

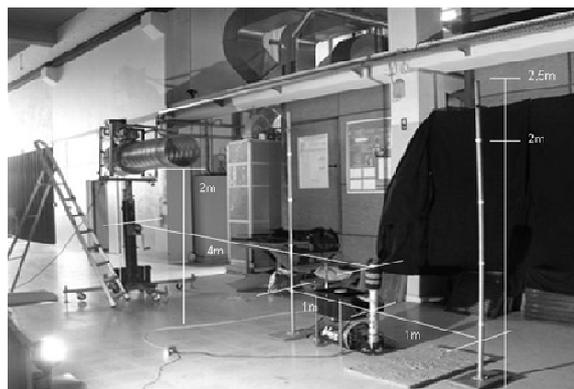
Na segunda etapa de validação do dispositivo de EAI, analisou-se a estabilidade das três velocidades de EAI escolhidas. Utilizou-se o mesmo *delineamento* experimental do registo da velocidade e intensidade de ruído, com exceção da posição do *pitot*, que foi calibrado de 0,005 m em 0,005 m nos eixos vertical e horizontal, por forma a caracterizar o EAI num raio de 0,60 m. Em cada velocidade realizaram-se 24 registos (12 em cada eixo).

Na última etapa do processo de validação do ventilador, analisou-se a posição da bola no ponto mais alto da sua trajetória vertical, em quatro blocos de 40 ensaios: 1) sem EAI; 2) velocidade mínima na posição quatro do VEV (P4); 3) velocidade intermédia na posição sete do VEV (P7) e 4) velocidade máxima na posição dez do VEV (P10).

À semelhança do estudo realizado por Mendes, Luz, Couceiro, Iglésias, Ferreira, Sismeiro, Mendes e Fuentes (2010) no túnel de vento da ADAI, analisou-se a trajetória da bola

no plano frontal sob o efeito de EAI lateral produzido pelo túnel de vento.

Para o efeito, utilizou-se uma câmara de filmar (Casio Exilim Pro Ex-F1 a 300Hz) com tripé, um projector de luz de 1000w, uma máquina pneumática de lançar bolas de ténis (*The Little Prince*) e o ventilador anteriormente apresentado (Figura 2).



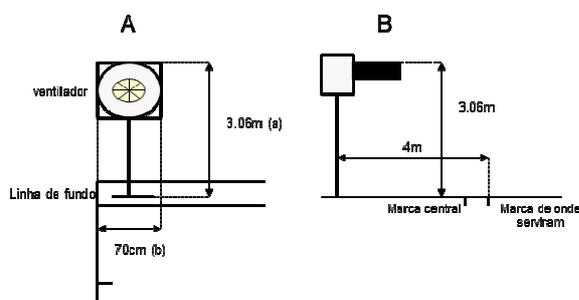
**Figura 2 -** Delineamento experimental para análise da trajetória da bola nos quatro blocos: sem vento, velocidades P4, P7 e P10.

Para o tratamento dos dados, procedeu-se à análise de fotogramas (i.e., ensaio a ensaio), utilizando o programa *Virtual Dub 1.8.8* e concebeu-se um algoritmo no Matlab2009R para análise da bola no lançamento vertical de cada ensaio filmado (MENDES; LUZ; COUCEIRO; IGLÉSIAS; FERREIRA; SISMEIRO; MENDES; FUENTES, 2010). A análise do ponto mais alto no plano frontal que a bola atinge tanto em altura (eixo dos *x*) como na direcção do lançamento (eixo dos *y*), resultou da modelação das trajetórias dos diferentes ensaios (MENDES; LUZ; COUCEIRO; IGLÉSIAS; FERREIRA; SISMEIRO; MENDES; FUENTES, 2010), assumindo a média dos lançamentos sem vento como referência para a determinação das diferenças na trajetória da bola nas restantes três velocidades.

### Regulação do dispositivo para cada tenista

A regulação do ventilador baseou-se na média do ponto mais alto da bola e do ponto de impacto nos eixos *z* (cotas) e *y* (ordenadas) de cada tenista nos 20 serviços realizados. Considerando que o ventilador tem um caudal de fluxo de ar estável num diâmetro de 0,60 m, estipulou-se que o bordo superior da conduta seria posicionado à altura

média do ponto mais alto da bola durante o lançamento e o bordo lateral da conduta mais afastado da linha de fundo (Figura 3), distaria da mesma, o valor arredondado da média do ponto de impacto no eixo dos  $y$  (horizontal). A opção pelo ponto de impacto em detrimento do ponto máximo na calibração do ventilador no eixo horizontal justifica-se pela tendência dos jogadores em golpear a bola “mais dentro do campo” (FUENTES; MENAYO, 2008) do que comparativamente com o instante do ponto máximo da bola. Relativamente ao eixo dos  $x$  (i.e., eixo das abcissas) assumiu-se um valor constante para todos os jogadores, ou seja, 4 m de distância entre o ventilador e a marca de serviço, a 0,80 m da marca central do court. A Figura 3 exemplifica o processo de regulação para um jogador.



**Figura 3** - Imagem frontal (A) e lateral (B) do ventilador regulado para o jogador 5. (a) -  $\bar{X}$  do ponto máximo da bola no eixo dos  $z = 306,06 \text{ cm} \cong 306 \text{ cm}$  e (b) -  $\bar{X}$  do ponto de impacto da bola no eixo dos  $y = 69,77 \text{ cm} \cong 70 \text{ cm}$ .

### Análise estatística

Para analisar a estabilidade da bola nos pontos máximo e de impacto durante o lançamento dos tenistas estudados, recorreu-se ao Coeficiente de Variação (CV). Também no estudo da estabilidade do EAI, o CV foi a medida de dispersão utilizada. Tendo como objetivo relacionar a altura do ponto de impacto dos 12 jogadores, normalizou-se a média da altura do ponto de impacto à estatura ( $A_{\text{impacto}}$ ) de cada jogador.

Relativamente à última etapa do processo de validação do ventilador, o efeito do EAI sobre as variáveis dependentes, eixos  $x$  e  $y$ , foi analisado com o recurso ao teste *Anova one-way*. Os dados

dos blocos P0 (0,00 m/s), P4 (2,4 m/s), P7 (4,3 m/s) e P10 (5,8 m/s) referentes ao eixo  $x$  como apresentaram distribuição normal e homogênea, optou-se pelo teste *post hoc* de *Scheffé*. Os dados de P0, P4, P7 e P10 relativos ao eixo  $y$  não respeitaram o pressuposto da homogeneidade e, portanto, recorreu-se ao teste *post hoc* de *Games-Howell* (MARTINEZ; FERREIRA, 2007; LAUREANO, 2011). O pressuposto da normalidade foi averiguado usando o teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste de Levene foi o adotado para a verificação da homogeneidade entre as amostras (LAUREANO, 2011; PESTANA; GAGEIRO, 2005).

## RESULTADOS

No âmbito dos processos descritos, analisaram-se os dados do lançamento da bola no primeiro serviço de 12 tenistas sem a presença de EAI. No que concerne à caracterização e à validação do dispositivo, foram tratados os dados relativos ao ruído, intensidade e estabilidade do fluxo de ar para as diferentes velocidades de EAI.

### Estudo do lançamento da bola no serviço

No lançamento da bola no serviço dos 12 jogadores, verificou-se no eixo vertical (eixo das cotas,  $z$ ) uma amplitude das médias no ponto máximo da bola, de 257,92 cm (jogador 6) a 358,14 cm (jogador 1). Relativamente ao ponto de impacto, a amplitude foi menor no eixo vertical, de 249,56 cm (jogador 8) a 268,78 cm (jogador 11). Os valores dos Coeficientes de Variação (CV) de todos os participantes foram sempre inferiores a 5%, confirmando-se assim a existência de uma elevada estabilidade no eixo dos  $z$ , tanto no ponto máximo da bola como no impacto da raquete na bola. Os jogadores apresentaram no eixo horizontal (eixo dos  $y$ , ordenadas) médias com amplitudes de 46,13 cm (do jogador 11 ao 6) no ponto máximo e de 51,91 cm (do jogador 11 ao 1), no ponto de impacto. Os CV mais elevados no ponto máximo e no ponto de impacto mostram menor estabilidade dos jogadores no eixo dos  $y$  (horizontal).

No eixo das abcissas ( $x$ ), os jogadores apresentaram médias com amplitudes que variaram de 4,40 cm (jogador 11) a 22,91 cm (jogador 5) no ponto máximo e de 4,63 cm (jogador 2) a 37,32 cm (jogador 9) no ponto de impacto. Os CV superiores

a 50% na maioria dos jogadores, tanto no ponto máximo como no ponto de impacto, sugerem uma variabilidade muito elevada no eixo dos  $x$ .

Ao normalizar-se a média da altura do ponto de impacto à estatura ( $A_{\text{impacto}}$ ) de cada jogador, verificou-se que a maioria dos jogadores tende a realizar o impacto a  $147 \pm 3,45\%$ . Apenas o jogador 6 apresentou uma  $A_{\text{impacto}}$  ligeiramente inferior (142%) e o jogador 11 a uma  $A_{\text{impacto}}$  pouco superior (155%).

### Caraterização do dispositivo de EAI

Na medição da velocidade do fluxo de ar para as 11 posições do variador eletrônico de velocidade (VEV), verificou-se aumento progressivo da posição 0 à 10ª posição, i.e., de 1,155 m/s até 5,823 m/s (Tabela 1).

**Tabela 1** - Diferenças de pressão e de velocidade do escoamento do fluxo de ar nas 11 posições do VEV.

Posição do variador	Diferença de pressão (DP)	Velocidade (m/s)	Corrente motor [In A]	Velocidade motor (rpm)
0	0,8	1,155	1,370	600,000
1	0,7	1,080	1,370	600,000
2	1,1	1,354	1,390	687,000
3	1,6	1,633	1,490	1053,000
4	3,6	2,372	1,580	1359,176
5	6,1	3,189	1,750	1686,000
6	9,8	4,041	2,000	2061,000
7	11,8	4,277	2,380	2427,000
8	15,3	5,050	2,780	2784,000
9	18,4	5,538	3,400	3219,000
10	23,3	5,823	4,300	3576,724

No que concerne à variável de controle, ruído produzido pelo ventilador, observou-se uma proporcionalidade direta da posição 1 à posição 10 entre o aumento da velocidade do escoamento do fluxo de ar e o incremento da intensidade de ruído medido.

As posições sete, oito, nove e dez, como apresentaram valores superiores a 80dB(A), selecionou-se um protector auricular (*Howard Leight: Smart fit*) capaz de reduzir as exposições ao ruído, para valores que não ultrapassem 76 dB(A) (MENDES; SIMÕES; MENDES; TROVÃO; LUZ; COUCEIRO; FERREIRA; DIAS; FUENTES, 2011).

### Validação do dispositivo de EAI

Os valores do CV obtidos pelo EAI nas três velocidades selecionadas foram inferiores a 15%, confirmando-se a estabilidade elevada do EAI (Tabela 2).

**Tabela 2** - Coeficientes de variação das três velocidades do ventilador selecionadas.

Posição do variador	$\bar{X}$ (m/s)	SD (m/s)	CV (%)
4	2,37	0,33	14,05
7	4,27	0,39	9,13
10	5,82	0,40	6,93

Há evidências estatísticas para se afirmar que o efeito do EAI constringe a trajetória da bola (simulação do lançamento da bola no serviço) nos eixos  $x$  ( $F_{(3,156)} = 174,08$ ;  $P\text{-value} = 0,000$ ) e  $y$  ( $F_{(3,156)} = 3,181$ ;  $P\text{-value} = 0,026$ ). Contudo, o teste *post-hoc* Scheffe permitiu verificar diferenças apenas no eixo  $x$ , entre o bloco sem EAI (P0) e os blocos com EAI, P7 (4,3 m/s) e P10 (5,8 m/s). Face ao exposto, a bola afastou-se progressivamente do ventilador com o aumento da intensidade do EAI.

## DISCUSSÃO

### Estudo do lançamento da bola no serviço

Relativamente aos dados sobre o lançamento da bola sem a influência do EAI, observou-se uma tendência, por todos os jogadores da amostra, em estabilizar o eixo dos  $z$  (eixo vertical) no ponto máximo e de impacto no serviço. Tal fato confirma a dimensão vertical do lançamento da bola como uma característica invariante do gesto (DAVIDS; BENNETT; HANDFORD; JONES, 1999; HANDFORD, 2006).

Os resultados da análise à  $A_{\text{impato}}$  dos jogadores confirmaram os valores encontrados por Elliott, Reid e Crespo (2009) e Girard, Micallef e Millet (2007) em jogadores de competição. Apesar da elevada estabilidade no eixo vertical em todos os jogadores, há diferenças no ponto máximo e ponto de impacto de tenista para tenista. Estes resultados podem ser justificados em virtude da variabilidade anatômica e técnica que caracteriza a amostra. Com efeito, os jogadores

apresentaram estaturas de 1,68 m a 1,85 m e envergaduras de 1,70 m a 1,90 m. As diferenças morfológicas foram igualmente reportadas por Handford (2006) como um fator determinante na variabilidade interindividual no lançamento da bola no serviço em jogadores de voleibol.

### Caraterização do dispositivo de EAI

As diferenças de natureza morfológica e técnica dos jogadores, aliadas à limitação do caudal do ventilador a 0,60 m (zona de estabilidade do EAD), impossibilitam a fixação do dispositivo de EAI a uma altura (eixo vertical) e profundidade (eixo horizontal) constantes para todos os jogadores. Assim, o dispositivo EAI concebido permite ser regulado manualmente nos três eixos (abscissas, ordenadas e cotas) e desta forma, ajustar-se ao lançamento de bola de cada jogador. A monitorização do dispositivo, por meio do variador de velocidade, possibilita o controlo da velocidade do EAI.

### Validação do dispositivo de EAI

A estabilidade do EAI produzido pelo dispositivo confere ao fluxo de ar uma natureza contínua (caudal de 0,60 m), controlando-se assim qualquer aleatoriedade do mesmo (variável contaminante). Contudo, a dimensão do caudal de EAI produzido pelo ventilador pressupõe que seja regulado para cada jogador e em conformidade com uma análise prévia do lançamento da bola no serviço. A necessidade de posicionar o ventilador do lado não dominante do jogador de forma a evitar o impacto visual durante o serviço é outra limitação deste dispositivo.

As três velocidades selecionadas de EAI como constrangem o lançamento da bola (simulado por uma máquina) no eixo dos  $x$  (lateral), torna o

dispositivo capaz de perturbar a execução motora do serviço de tênis, recriando uma constrição ambiental relevante para a modalidade (MENDES; LUZ; COUCEIRO; IGLÉSIAS; FERREIRA; SISMEIRO; MENDES; FUENTES, 2011). Face ao exposto, a análise do efeito das referidas velocidades de EAI no desempenho do serviço de tênis, permitiria observar a magnitude de possíveis alterações na exactidão, precisão e velocidade. Complementarmente ao estudo destas medidas de produto, a análise da organização temporal do serviço, da amplitude e da velocidade máxima da raquete, contribuiria para a compreensão de potenciais adaptações espaço-temporais nos jogadores a esta constrição de envolvimento.

### CONCLUSÕES

A fácil ajustabilidade do dispositivo no espaço (i.e., nos 3 eixos), bem como a estabilidade e eficácia que caracteriza o fluxo de ar por si produzido, permite constranger o tenista quando executa o serviço, pelo que poderá ser utilizado em futuras pesquisas.

O dispositivo aqui analisado salvaguarda a representatividade da tarefa em estudo ao funcionar dentro do quadro regulamentar da modalidade. Este comprometimento com a lógica interna (PARLEBAS, 1994) do jogo de tênis é um aspecto determinante para uma análise mais holística e dinâmica do serviço.

Finalmente, conclui-se que o efeito do vento artificialmente induzido produz perturbações no comportamento da bola. Deste modo, é recomendável analisar de futuro a influência deste fator ambiental no desempenho do primeiro serviço do tênis.

---

## INDUCED AERODYNAMIC FLOW DEVICE FOR ANALYZING THE PERFORMANCE OF THE TENNIS SERVE

### ABSTRACT

The present work developed a device for producing an induced aerodynamic flow (EAI) to simulate the environmental constraint, side wind, in the experimental context of analysis on the first tennis serve. For this, we studied the tennis ball behavior under the influence of an EAI in a wind tunnel, and 3D analyzed the ball toss in the first flat serve of 12 experienced tennis players. We designed a device composed of an industrial ventilator with adjustable height and depth to the morphological and technical features of each player. The EAI flow generated by the device is stable and monitorable through a speed variator. The three selected wind speed have constrained the ball toss (simulated by the device) on the  $x$  axis (lateral), making the device able to disturb the performance of the tennis serve, recreating therefore in an experimental context a relevant environmental constraint to tennis.

**Keywords:** Wind. Tennis. Ventilator.

---

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D.; CARVALHO, J.. A tomada de decisão no ténis. In: PEZARAT CORREIA, P.; COUTINHO, C. **Investigação e Ténis**. Lisboa: Edições FMH, 2007. p. 85-102.
- BAHAMONDE, R. E. Changes in angular momentum during the tennis serve. **Journal of Sports Sciences**, London, v.18, no. 8, p. 579-592, 2000. DOI: 10.1080/02640410050082297.
- DAVIDS, K.; BENNETT, S. J.; HANDFORD, C.; JONES, B. Acquiring coordination in self-paced extrinsic timing tasks: a constraints led perspective. **International Journal of Sport Psychology**, Rome, v. 30, p. 437-461, 1999.
- ELLIOTT, B.; REID, M.; CRESPO, M. **Technique development in tennis stroke production**. London: International Tennis Federation, 2009.
- FAULKNER, T. Read the 'breaks' on a windy day. **Tennis**, London, v. 33, no. 1, p. 42, 1997.
- LANAGAN, P. Playing in windy conditions: it is essential to alter your style to fit the conditions. **Athletics Coach**, Appleton, v. 63, no. 9, p. 12-13, 1983.
- FUENTES, J. P.; MENAYO, R. **Los golpes del ténis de la iniciación al alto rendimiento**. Sevilla: Wanceulen Editorial Deportiva, 2008.
- GIRARD, O.; MICALLEF, J.; MILLET, G. Lower-limb activity during the power serve in tennis: effects of performance level. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Indiarapolis, v. 37, no. 36, p. 1021-1029, 2005.
- GIRARD, O.; MICALLEF, J.; MILLET, G. Influence of restricted knee motion during the flat first serve in tennis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Philadelphia, v. 21, n. 3, p. 950-957, 2007. Disponível em: <[http://euromov.eu/m2h/documents/publications/publication\\_n\\_27.pdf](http://euromov.eu/m2h/documents/publications/publication_n_27.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2009.
- HAAKE, S. J.; CHADWICK, S. G.; DIGNALL, R. J.; GOODWILL, S.; ROSE, P. Engineering tennis - slowing the game down. **Sports Engineering**, London, v. 3, no. 2, p. 131-143, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1460-2687.2000.00040.x>>. Acesso em: 12 abr. 2009.
- HANDFORD, C. Serving up variability and stability. In: DAVIDS, K.; BENNETT, S.; NEWELL, K. **Movement System Variability**. Champaign: Human Kinetics, 2006. cap. 4, p. 73-83.
- HOSKINS, T. The tennis drill book. Champaign: Human Kinetics, 2003.
- LAUREANO, R. M. S. **Testes de hipóteses com o SPSS: o meu manual de consulta rápida**. Lisboa: Edições Sílabo, 2011.
- LEES, A. Science and the major racket sports: a review. **Journal of Sports Sciences**, London, v. 21, no. 9, p. 707-732, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/0264041031000140275>>. Acesso em: 12 abr. 2009.
- LOEHR, J. How to battle the elements. **Tennis**, London, v. 32, no. 7, p. 40, 1996.
- MARTINEZ, L.; FERREIRA A. **Análise de dados com o SPSS - Primeiros passos**. Lisboa: Escolar Editora, 2007.
- MENDES, P. C.; MENDES, R.; FUENTES, J. P.; CAMPOS, F.; MENAYO, R.; ARAÚJO, D. Fatores de rendimento no primeiro serviço em tenistas de competição. **Revista da Educação Física/UEM**, Maringá, v. 22, n. 3, p. 315-326., 2011. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/RevEducFis/article/view/10540/7759>>. Acesso em: 12 abr. 2009.
- MENDES, P. C.; MARTINS, F.; FACAS VICENTE, A. M.; CORBI, F.; COUCEIRO, M. S.; MENDES, R.; TROVÃO, J. Análise às variáveis de produto na execução do serviço de ténis sob o efeito de um escoamento aerodinâmico induzido (vento artificial). In: CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA, 4., 2011, Coimbra. **Anais...** Coimbra: ISEC-IPC, 2011, p. 37-41.
- MENDES, P. C.; SIMÕES, H.; MENDES, R.; TROVÃO, J.; LUZ, M.; COUCEIRO, M. S.; FERREIRA, N.; DIAS, G.; FUENTES, J. P. Influência do ambiente acústico no desempenho do tenista sob o efeito de um escoamento aerodinâmico induzido. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SAÚDE AMBIENTAL, Coimbra, 2011. **Anais...** Coimbra: ESTeSc-IPC, 2011. p. 190-197. Disponível em: <[http://www.saudeambiental.org/files/proceedings\\_book\\_-\\_full\\_paper.pdf](http://www.saudeambiental.org/files/proceedings_book_-_full_paper.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2009.
- MENDES, P. C.; LUZ, M.; COUCEIRO, M.; IGLÉSIAS, P.; FERREIRA, A.; SISMEIRO, J.; MENDES, R.; FUENTES, J. P. Analysis of the Wind Influence in Tennis Serve. In: MATHEMATICAL METHODS IN ENGINEERING 2010; INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra: ISEC-IPC, 2011. p. 271-280. Disponível em: <[http://mme10.ipc.pt/Documents/Final\\_18\\_02\\_2011.pdf](http://mme10.ipc.pt/Documents/Final_18_02_2011.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2009.
- MURIAS, J.; LANATTA, D.; ARCURI, C.; LAIÑO, F. A. Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Philadelphia, v. 21, no.1, p. 112-117, 2007. Disponível em: <[http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2007/02000/Metabolic\\_and\\_Functional\\_Responses\\_Playing\\_Tennis.21.aspx](http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2007/02000/Metabolic_and_Functional_Responses_Playing_Tennis.21.aspx)>. Acesso em 12 abr. 2009.
- NEWELL, K. M. Constraints on the development of coordination. In: WADE M. G.; WHITING H. T. A. **Motor skill acquisition in children: aspects of coordination and control**. Amsterdam: Martinies NIJHOS, 1986. p. 341-360.
- PARLEBAS, P. **Contribution à un lexique commenté en science de l'action motrice**. Paris: INSEP, 1994.
- PESTANA, M.; GAGEIRO, J. **Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS**. 5. ed. Lisboa: Sílabo, 2005.
- SCOTT, W.; RANDY, P. **Serious tennis**. Champaign: Human Kinetics, 2000.
- TANABE, S.; ITO, A. A three-dimensional analysis of the contributions of upper limb joint movements to horizontal racket head velocity at ball impact during tennis serving. **Sports Biomechanics**, London, v. 6, no. 3, p. 418-433, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14763140701491500>>. Acesso em: 12 abr. 2009.

THERMINARIAS, A.; DANSOU, P.; CHIRPAZ, M. F.;  
ETERRADOSSI, J.; FAVRE-JUVIN, A. Cramps, heat stroke  
and abnormal biological responses during a strenuous tennis  
match. In: REILLY, T.; HUGHES, M.; LEES, A. **Science and  
racket sports**. London: E & FN Spon, 1995. p. 28-31

Recebido em 20/01/2012

Revisado em 17/10/2012

Aceito em 21/12/2012

---

**Endereço para correspondência:** Pedro Cabral Mendes, Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de  
Coimbra, Área Científica de Educação Física e Desporto, Praça Heróis do Ultramar -  
Solum, 3030-329 Coimbra, Portugal. Email: pmendes@esec.pt,  
mendespc@hotmail.com