



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

TIAGO JULIO COSTA PEREIRA

**ANÁLISE DOS PADRÕES DE DESLOCAMENTO DE
JOGADORES DE TÊNIS DE DIFERENTES CATEGORIAS
DURANTE JOGOS OFICIAIS**

Londrina
2016

TIAGO JULIO COSTA PEREIRA

**ANÁLISE DOS PADRÕES DE DESLOCAMENTO DE
JOGADORES DE TÊNIS DE DIFERENTES CATEGORIAS
DURANTE JOGOS OFICIAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física - UEM/UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Arruda Moura

Londrina
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P436a Pereira, Tiago Julio Costa.
Análise dos padrões de deslocamento de jogadores de tênis de diferentes categorias durante jogos oficiais / Tiago Julio Costa Pereira.
- Londrina, 2016.
89 f. : il.

Orientador: Felipe Arruda Moura.
Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2016.

1. Tenistas. 2. Cinemática. 3. Tennis players. 4. Kinematics.I. Pereira, Tiago Julio Costa. II. Moura, Felipe Arruda. III. Título.

CDU 796.342

TIAGO JULIO COSTA PEREIRA

**ANÁLISE DOS PADRÕES DE DESLOCAMENTO DE JOGADORES
DE TÊNIS DE DIFERENTES CATEGORIAS DURANTE JOGOS
OFICIAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física - UEM/UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Felipe Arruda Moura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Milton Shoiti Misuta
Universidade Estadual de Campinas -
UNICAMP

Prof. Dr. Inara Marques
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 06 de Novembro de 2016.

Dedico este trabalho a minha mãe,
meu irmão e minha avó, sem os quais
este trabalho não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me abençoar com inspiração e uma família maravilhosa.

Agradeço grandemente ao meu orientador Felipe Arruda Moura, que desde a graduação em Educação Física contribui com minha formação. Obrigado pelos ensinamentos, conversas, pelos puchões de orelha, por se importar comigo, pela amizade e principalmente pela paciência durante toda minha formação.

Agradeço ao professor Milton Shoití Misuta pelas orientações e conversas durante o Brasil *Open* que ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço a professora Inara Marques que junto com o professor Milton formaram a banca examinadora deste trabalho e que contribuiu diretamente com a execução e a qualidade deste trabalho. Agradeço especialmente a professora Inara, que desde a graduação vejo com muita admiração e respeito por ser uma professora e pesquisadora exemplar, por abrir as portas de seu grupo e permitir que dois de seus alunos Tiago Camata e Marcelo fornecessem conhecimentos e materiais que me auxiliaram na elaboração desta dissertação.

Agradeço aos meus amigos do laboratório de biomecânica aplicada: Vinicius Garcia (Pepa), Fabio Giuliano Caetano (Ninão), Murilo José de Oliveira Bueno, Victor (Tanú) e para a Priscila Chierotti. Muito obrigado pela amizade, pelas conversas, por serem estas pessoas maravilhosas e por me ajudarem no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Capes e ao CNPQ por contribuírem com as bolsas de estudo ao longo do meu mestrado.

Agradeço a minha companheira Laísa por estar sempre ao meu lado, por aguentar o meu nervosismo, pelo carinho e incentivo. Sou abençoado por ter você ao meu lado.

A minha mãe dona Jane, ao meu irmão Claudinei e a minha avó Nair, gratidão eterna... Obrigado por todo o suporte que vocês me deram e ainda dão para atingir meus objetivos. Amo vocês!

PEREIRA, Tiago Julio Costa. **Análise dos padrões de deslocamento de jogadores de tênis de diferentes categorias durante jogos oficiais.** 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi analisar os padrões de coordenação entre tenistas de diferentes categorias durante os deslocamentos medio-laterais e ântero-posteriores realizados ao longo dos *rallies*. Para isso foram registradas imagens de 14 jogos por meio de 2 câmeras digitais com frequência de aquisição de 30 Hz, sendo 5 jogos de uma competição de nível mundial juvenil, 4 jogos de nível profissional de um torneio *ATP-Future* e 5 jogos de nível profissional de um torneio ATP-250. As informações de posição dos jogadores foram obtidas através do sistema de rastreamento automático DVideo. Os padrões de coordenação interpessoal dos deslocamentos de 30 jogadores foram analisados através da técnica do *vector coding*. Os padrões de coordenação foram classificados em quatro categorias diferentes: (1) anti fase, (2) em fase, (3) fase do jogador que está sacando, e (4) fase do jogador que está devolvendo. Em um primeiro estudo, foram analisados os padrões de coordenação interpessoal dos jogadores dos deslocamentos realizados em ambas as direções. A técnica do *vector coding* permitiu identificar duas novas interações nunca antes reportadas (fase do sacador e a fase do devolvedor). A fase do sacador significa que o jogador que sacou lidera a série temporal de deslocamento, ou seja, está se deslocando primeiro, enquanto o devolvedor se desloca tardiamente ou permanece parado. Já a fase do devolvedor indica que o jogador que devolveu o saque está se deslocando, enquanto seu adversário se desloca tardiamente ou permanece parado. Os padrões de coordenação mais frequentes durante os deslocamento médio- laterais foram “anti fase” e “fase do devolvedor” e durante os deslocamentos ântero-posteriores foi a “fase do sacador”. Os jogadores juvenis apresentaram maior fase do sacador durante os deslocamentos médio-laterais. Por outro lado, os jogadores profissionais apresentaram maior fase do devolvedor. A análise espectral mostrou que jogadores profissionais (competição *ATP-Future*) se deslocam com maior frequência do que as outras duas categorias. Os padrões de coordenação e a dinâmica de movimentação dos jogadores não se alteraram do primeiro para o segundo set. No segundo estudo, especificamente, buscou-se analisar: (1) se jogadores de diferentes níveis de competição apresentam diferentes padrões de coordenação interpessoal quando iniciam a disputa do ponto com o primeiro e com o segundo saque; (2) se jogadores de diferentes níveis de competição apresentam diferentes padrões de coordenação quando o *rally* termina devido a uma ação indefensável ou um erro; (3) com qual frequência jogadores de diferentes categorias trocam de padrão de coordenação durante os *rallies*. Os resultados mostraram que não existe diferença nos padrões de coordenação para os *rallies* que se iniciaram com o primeiro e o segundo saque, independente da categoria. No entanto, foi verificado que, para todas as categorias, os jogadores apresentaram maior permanência no padrão “anti fase” quando o desfecho do rally foi um erro. Por fim, não foram verificadas diferenças na quantidade de trocas de padrão de coordenação durante os *rallies* das três categorias. Os dados analisados nos presentes estudos permitiram melhor

compreender a forma como jogadores de tênis de diferentes categorias se deslocam em quadra e fornecem maiores subsídios para que técnicos consigam preparar seus jogadores de acordo com a demanda tática específica de cada categoria. Além disso, conhecer as exigências táticas das três principais categorias pode auxiliar técnicos e treinadores no processo de transição entre elas.

Palavras-chave: Cinemática. Coordenação interpessoal. Tênis. *Vector coding*.

PEREIRA, Tiago Julio Costa. **Analysis of the displacement patterns of tennis players of different categories during official matches.** 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the interpersonal coordination of tennis players during lateral and antero – posterior displacements of official matches from different categories. For that, 14 matches were recorded using two digital cameras with acquisition frequency of 30 Hz, five matches of a youth worldwide competition, four matches of a professional tournament *ATP-Future* and five of a professional tournament ATP-250. Players trajectories were obtained using the automatic tracking system DVideo. The patterns of interpersonal coordination of 28 player's displacements were analyzed by the vector coding technique. The coordination patterns were classified into four different categories: (1) anti phase (2) in phase, (3) service player phase, and (4) returning player phase. In a first study, interpersonal coordination patterns were analyzed for the displacements performed in both directions (lateral and antero-posterior), separately. Vector coding technique allowed identifying two new interactions never reported previously (service player phase and returning player phase). The service player phase means that the player who performed the serve leads the time series of displacement, (e.g., the first is moving first while the returner moves late or remains stopped. However, returning player phase indicates that the player who returned the serve is moving, while his opponent is late or is stopped. "Anti phase" and "returning player phase" were the most frequent coordination patterns during lateral displacement, while during anterior-posterior displacement was the "service player phase". Youth players showed bigger permanency on service player phase, compared to professionals. On the other hand, professional players showed greater phase returning player phase. Spectral analysis showed that professional players (*Future-ATP* competition) move more in a higher frequency than the other two categories. Coordination patterns and the dynamics of movement of the players have not changed from the first to the second set. In the second study, specifically, we analyzed: (1) if players of different categories have different patterns of interpersonal coordination when they start the rally with the first and the second serve; (2) if players of different categories have different coordination patterns when the rally ends due to a winner action or an error; (3) how often players of different categories shift of pattern of coordination during the rallies. The results showed no difference in coordination patterns for rallies which began with the first and second serve, independently of the category. However, it was found that, for all categories, players showed bigger permanency on "anti phase" when the rally's outcome was an error. Finally, differences were not found in the quantity of coordination patterns exchanges during the rallies of the three categories. The data analyzed in the present study allowed a better understanding of how tennis players of different categories move on the court and provide information that can help coaches to prepare their players according to the specific tactical demands of each category. Furthermore, knowing the tactical requirements of the three main categories can help coaches and trainers in the transition among them.

Key words: Kinematics. Interpersonal coordination. Tennis. Vector coding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Desenho do estudo.....	28
Figura 2	- Imagens das câmeras posicionadas em locais altos dos diferentes ginásios.....	30
Figura 3	- A interface do sistema DVideo para realizar a segmentação.....	32
Figura 4	- A interface do sistema DVideo durante o processo de segmentação, exemplificando o <i>blob</i> construído.....	32
Figura 5	- Representação geométrica do grafo criado a partir dos <i>blobs</i>	33
Figura 6	- A interface do sistema DVideo durante o processo de rastreamento dos jogadores.....	34
Figura 7	- Interface do <i>software</i> DVideo durante o processo de homografia e reconstrução 2D.....	35
Figura 8	- Descrição da posição, $p(x, y)$, do jogador feita a partir da localização de um único ponto.....	35
Figura 9	- Registro das ações dos jogadores por meio do <i>software</i> DVideo.....	37
Figura 10	- Estrutura do arquivo das ações técnicas dos jogadores durante uma partida.....	38
Figura 11	- Representação da frequência predominante do espectro de potência de uma série temporal.....	40
Figura 12	- Gráfico de movimento relativo da série temporal de posição dos jogadores e uma visão ampliada de um ângulo de acoplamento. ...	41
Figura 13	- Exemplo dos padrões de coordenação identificados por meio da técnica do <i>vector coding</i> . Os histogramas mostram o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação interpessoal (à direita), medidos a partir das séries temporais exemplificadas à esquerda. Predominância em “anti fase” (A), predominância “em fase” (B), predominância da “fase do jogador que saca” (C) e predominância da “fase do jogador que devolve”.....	43
Figura 14	- Padrões de coordenação identificados por meio da técnica do <i>vector coding</i> . Os histogramas mostram o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação interpessoal (à direita), medidos a partir das séries temporais exemplificadas	

à esquerda. Predominância em anti fase (A), predominância em fase (B), predominância da fase do jogador que saca (C) e predominância da fase do jogador que devolve..... 53

Figura 15 - Resultados da análise espectral da série temporal de deslocamentos médio-laterais dos jogadores das três categorias, durante o primeiro e segundo *set* (mediana e intervalo interquartil)* diferente da categoria ATP-*Future* ($p < 0,05$)..... 56

Figura 16 - Quantidade de trocas de padrão de coordenação por segundo dos *rallies* das três categorias..... 74

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Descrição dos jogadores e competições a serem analisados 26
- Tabela 2** - Esquema aplicado para categorizar os padrões de coordenação ... 42
- Tabela 3** - Percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação das três categorias durante os *rallies* do primeiro e segundo *set* dos jogos (deslocamentos médio-laterais). Os resultados foram apresentados em mediana e (intervalo interquartil)..... 54
- Tabela 4** - Percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação das três categorias durante os *rallies* do primeiro e segundo *set* dos jogos (deslocamentos ântero-posteriores). Os resultados foram apresentados em mediana e (intervalo interquartil)..... 55
- Tabela 5** - Percentual do tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque..... 73
- Tabela 6** - Percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* que terminaram em golpe indefensável (*winner*) e erro, realizado pelo jogador que sacou e pelo que devolveu o saque. 74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP (*Association of tennis professionals*), ou associação de tenistas profissionais;

ITF (*International tennis federation*), ou Federação internacional de tênis;

DLT (*Direct linear transformation*), ou transformação linear direta;

FFT (*Fast Fourier transformation*), ou transformada rápida de Fourier;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	25
2.1	OBJETIVO GERAL	25
2.1.1	Objetivos específicos	25
3	MÉTODOS	26
3.1	AMOSTRA	26
3.1.1	Desenho do Estudo	27
3.1.2	Coleta de Dados	29
3.1.3	Sistema DVideo	29
3.1.4	Aquisição de imagens	29
3.1.5	Medição	30
3.1.5.1	Medição automática.....	30
3.1.5.2	Segmentação.....	31
3.1.5.3	Rastreamento	32
3.1.6	Homografia, reconstrução 2D e suavização	34
3.1.7	Registros das ações técnicas realizadas e eventos ocorridos.....	36
3.2	QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE	38
3.2.1	Análise espectral das séries temporais de deslocamento dos jogadores.	39
3.2.2	Cálculo dos padrões de coordenação interpessoal	40
4	RESULTADOS	44
4.1	Análise dos padrões de deslocamento de tenistas durante jogos oficiais de diferentes categorias	44
4.1.1	Resumo	44
4.1.2	Abstract	44
4.1.3	Introdução	45
4.1.4	Métodos	48
4.1.4.1	Participantes e procedimentos	48
4.1.4.2	Sistema de rastreamento automático	49
4.1.4.3	Análise espectral	50
4.1.4.4	Análise de coordenação interpessoal	50
4.1.4.5	Análise estatística	51
4.1.5	Resultados	52
4.1.6	Discussão	56

4.1.7	Conclusão.....	62
4.2	Análise dos padrões de coordenação interpessoal de tenistas de diferentes categorias: Influência do saque e ações técnicas indefensáveis sobre a dinâmica do jogo.....	64
4.2.1	Resumo.....	64
4.2.2	Abstract.....	64
4.2.3	Introdução.....	65
4.2.4	Métodos.....	69
4.2.4.1	Variáveis.....	71
4.2.4.2	Análises estatísticas.....	71
4.2.5	Resultados.....	72
4.2.6	Discussão.....	75
4.2.7	Conclusão.....	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O tênis é um esporte praticado em todo o mundo. De acordo com a federação internacional de tênis (*International Tennis Federation* ITF), estima-se que existam mais de 60 milhões de praticantes nos 200 países filiados ao órgão, sendo homens e mulheres, de diferentes faixas etárias e nível de experiência (CRESPO, 2007). Devido ao reconhecimento social e elevadas remunerações recebidas pelos melhores atletas, a quantidade de tenistas aspirantes que buscam uma carreira como profissionais tem aumentado (CORTELA, 2008). Por esta razão, o tênis tem sido alvo de uma grande quantidade de pesquisas, de diversas áreas da ciência, com o intuito de melhorar o desempenho esportivo dos atletas (ELLIOTT, 2006).

O jogo de tênis é um fenômeno complexo e dinâmico em que os atletas repetidamente tomam decisões levando em consideração o posicionamento e a ação técnica realizada pelo adversário (MARTÍNEZ-GALLEGO et al., 2013; O'DONOGHUE; INGRAM, 2001). Por esta razão muitos estudos tem utilizado ferramentas de notação para medir estas ações complexas e dinâmicas objetivamente, de forma consistente e confiável, para que os eventos críticos do jogo possam ser quantificados durante as competições. Este método de análise tem sido amplamente aplicado ao tênis em três principais áreas, avaliação técnica, avaliação tática e análise de movimento (MARTÍNEZ-GALLEGO et al., 2013).

Um dos primeiros estudos realizados buscou descrever os padrões de jogo utilizados pelos melhores tenistas do mundo em dois grandes eventos, Wimbledon (quadra de grama) e Roland Garros (quadra de saibro) com atenção aos aspectos técnicos de saque e devolução do mesmo (UNIERZYSKI; WIECZOREK, 2004). Para isso, os pesquisadores utilizaram um sistema de notação manual, no qual a quadra foi dividida em várias zonas, com o intuito de identificar como os jogadores direcionam os golpes em diferentes superfícies de jogo. Em uma outra pesquisa, os autores utilizaram um sistema de notação muito semelhante para comparar as ações técnicas e a estratégia de jogo utilizadas por atletas juvenis de diferentes nacionalidades (jogadores americanos, britânicos e europeus) (TAYLOR; HUGHES, 1998). Para isso, a quadra de tênis foi dividida em quatro zonas para identificar em qual região da quadra os jogadores direcionam seus golpes. Além disso, também se

analisou a estratégia utilizada pelo jogador que venceu e pelo que perdeu o ponto/*rally*.

Embora estes sistemas tenham possibilitado extrair importantes informações sobre o jogo de tênis, o tempo de coleta e processamento dos dados era muito longo (HUGHES, 2006). Neste ponto, o desenvolvimento tecnológico proporcionou que estes processos fossem otimizados e realizados de forma quase automática, por meio da utilização de computadores (HUGHES, 2006). Assim, Verlindem et al. (2004) utilizaram um sistema de notação computadorizado para analisar o efeito das superfícies da quadra (saibro e grama) e do gênero dos jogadores (masculino e feminino) sobre a estratégia adotada pelos jogadores durante competições oficiais. Para isso foi registrado ao longo de todo o jogo o local da quadra onde foram realizadas ações técnicas específicas.

Mais recentemente, o aprimoramento tecnológico permitiu o desenvolvimento de sistemas que operam de forma automática. O sistema *Hawk-eye* de rastreamento de jogadores e bola foi utilizado para analisar e comparar o desempenho técnico e físico de jogadores profissionais de tênis, masculinos e femininos. As estatísticas de todos os fundamentos (saque, *forehand*, *backhand*, *slice*, voleios e *smash*) e das características de deslocamento (distâncias percorridas por jogo, por *set*, por ponto vencido, por ponto perdido e velocidades atingidas), foram utilizados para caracterizar as demandas físicas, técnicas e táticas dos dois gêneros (REID; MORGAN; WHITESIDE, 2016). Da mesma forma, Pereira et al. (2016) utilizaram um sistema de rastreamento e notação para analisar se jogadores profissionais apresentam redução do desempenho técnico (redução do percentual de acerto das ações técnicas) e físico (redução das distâncias percorridas por *set*, por *game*, por *rally*, comprimento dos deslocamentos ântero-posteriores e médio-laterais e velocidades atingidas). Um método semelhante foi utilizado para comparar as demandas físicas de jogos entre tenistas amadores e entre profissionais (FERNANDEZ-FERNADEZ et al., 2009). Por fim, a associação entre as ações técnicas realizadas e as demandas físicas que causam no adversário também foram realizadas (MARTÍNEZ-GALLEGO et al., 2013). Os autores consideraram a seleção da direção dos golpes (cruzado ou paralelo) como um indicativo de estratégia e mediram resultado destes golpes na movimentação do jogador adversário (distância percorrida e velocidade atingida).

Os estudos prévios apresentaram importantes análises que contribuíram para compreender as demandas do esporte e, conseqüentemente, fornecem subsídios para que os técnicos possam utilizar para aprimorar a preparação técnica e tática dos jogadores (PALUT; ZANONE, 2005). Por outro lado, estas pesquisas somente definem o perfil das ações dos jogadores e buscam por um padrão de jogo invariante que podem levar ao sucesso e ao fracasso durante o jogo, tais como as ações técnicas mais utilizadas, as mais efetivas e os erros mais prevalentes (CARVALHO et al., 2014). Entretanto, o tênis pode ser entendido através de um processo no qual duas partes (dois jogadores) tentam alcançar o seu objetivo e da mesma forma tentam evitar que o adversário faça o mesmo (LAMES, 2006). Trata-se de um processo de interação, e o desempenho observável é o resultado emergente desse processo, e não a mera exibição de habilidades e capacidades das duas partes. A natureza do jogo também implica que este processo de interação é dinâmico. Ele muda durante o jogo devido à busca permanente do comportamento bem sucedido, devido a considerações estratégicas, dependendo, por exemplo, da pontuação atual ou devido a uma reação imposta por uma ação do adversário (LAMES, 2006). Logo, uma análise que proporcione entender como diferentes ações surgem, e o que elas geram durante o desempenho competitivo pode fornecer informações científicas complementares que permitam compreender e melhorar o desempenho competitivo (CARVALHO et al., 2014).

Recentemente alguns autores têm proposto estudar o tênis através da abordagem de sistemas dinâmicos. Esportes como *badminton*, *squash* e tênis não são mais considerados a mera soma de dois comportamentos individuais, mas sim um sistema complexo composto por vários componentes que interagem. A partir de tal interação, um comportamento coletivo pode surgir entre os jogadores (PALUT; ZANONE, 2005). Kelso foi o primeiro a introduzir este conceito com o seu trabalho seminal sobre a coordenação bimanual (KELSO, 1983). Em um experimento famoso, os participantes foram convidados a oscilar seus dedos indicadores numa frequência comum. Apesar de todos os padrões de coordenação possíveis, apenas dois foram realizados de forma espontânea, “em fase” e em “anti fase”, o que corresponde ao movimento dos dedos na mesma direção ou em direções opostas, respectivamente. Tais padrões de coordenação representam estados estáveis ou atratores da dinâmica de sistemas bimanuais e, independentemente do padrão

adotado inicialmente, a perturbação aplicada aos movimentos dos dedos em curso (a coordenação), eventualmente, retorna a um destes dois modos.

Para desvendar qual dinâmica governa um sistema complexo auto-organizado, é necessário identificar uma ou mais variáveis coletivas (o chamado "parâmetro de ordem"), que capta os diversos padrões estáveis que o sistema exhibe (HAKEN, 1983). No caso de Kelso, a variável coletiva capturando a coordenação entre os dedos foi a fase relativa entre séries temporais que representavam os deslocamentos dos dedos. O padrão "em fase" corresponde a 0° de fase relativa, ao passo que o modo "anti fase" corresponde a 180° . Como a frequência de oscilação dos dedos foi aumentada através de instruções, o padrão "anti fase" se tornou mais difícil de manter, de tal forma que, em uma frequência crítica, a coordenação espontaneamente mudou para um padrão "em fase". Tais mudanças comportamentais foram refletidas na fase relativa medida por uma transição abrupta de 180° para um valor de 0° .

De acordo com Kelso, um passo primordial para estudar qualquer fenômeno a partir de uma abordagem dinâmica é identificar o parâmetro de ordem mais relevante que consiga capturar a invariância e a mudança no comportamento do sistema (KELSO, 1983). No caso do tênis, uma simples análise visual dos jogos fornece algumas pistas de como estudá-lo a partir de tal abordagem. Ao longo de um *rally*, enquanto um jogador realiza uma rebatida, o outro tenta entrar em uma posição "neutra" (posicionado próximo ao meio da linha de fundo da quadra), de onde ele tem as melhores oportunidades para chegar a tempo do próximo golpe. Logo que ele reconhece a direção da rebatida, ele se move para o local de contato, enquanto o outro jogador desloca-se para a sua posição "neutra" (LAMES, 2006). Esta movimentação constante realizada lateralmente a linha de fundo da quadra faz com que os jogadores se assemelhem a osciladores (PALUT; ZANONE, 2005). Além disso, para se mover de forma adequada, os jogadores coletam informações sobre a sua própria posição e a de seu adversário, bem como sobre a posição da bola (PALUT; ZANONE, 2005). Tal reciprocidade entre os jogadores constitui um acoplamento, na maior parte de ordem visual, entre os jogadores, de modo que eles podem ser considerados osciladores acoplados (pela informação visual). Uma das propriedades fundamentais de osciladores acoplados é a sincronização de fase.

A partir destes pressupostos, os estudiosos do esporte passaram a utilizar os sistemas de notação para estudar o esporte de forma dinâmica. Palut e Zanone

foram os pioneiros a utilizar modelos de sistemas dinâmicos para investigar o comportamento coletivo de jogadores de tênis (PALUT; ZANONE, 2005). Durante partidas simuladas, tenistas foram instruídos que somente poderiam atacar o adversário após a sétima troca de bola. Para avaliar a sincronização entre os jogadores os autores utilizaram a fase relativa entre as séries temporais que representavam os deslocamentos laterais dos atletas, obtida através da transformada de Hilbert. Os resultados da análise espectral mostraram que a frequência com que os jogadores se deslocavam estava em torno de 0,2 Hz e 0,5 Hz, que representam 28% e 24% de todos os componentes da frequência, respectivamente. Estes resultados corroboram com a ideia de que os deslocamentos dos jogadores são periódicos e, portanto, podem ser estudados como osciladores. Em relação aos padrões de coordenação dos deslocamentos dos atletas durante os pontos, foram verificados apenas dois padrões de coordenação, “em fase” e “anti fase”, com os jogadores se movendo na mesma direção e em direção oposta, respectivamente. Além disso, a fase relativa mostrou duas evoluções distintas durante os pontos: os padrões de deslocamento se mantinham “em fase” ou em “anti fase”, ou exibiam transições entre estes dois padrões. Além disso, a recuperação espontânea de um comportamento coletivo estável após uma perturbação dentro de um único ensaio confirmou que os padrões “em fase” e em “anti fase” são atratores subjacentes da dinâmica, pois os atratores são estados estáveis que um sistema retorna após uma perturbação.

Estabelecer que fase relativa é uma variável coletiva apropriada não é trivial. Durante uma partida real de tênis, muitas variáveis mudam ao longo do tempo (direção, velocidade, amplitude, etc.), refletindo a variedade de comportamentos que os jogadores exibem. Uma variável coletiva, no entanto, deve capturar tanto invariância e mudança na sincronização entre seus deslocamentos (PALUT; ZANONE, 2005). Os resultados encontrados pelos autores mostraram que a fase relativa é um importante parâmetro de ordem para representar a invariância e a mudança nos deslocamentos relativos de tenistas.

A partir do estudo supracitado uma nova forma de estudar e compreender o jogo de tênis surgiu. A partir destes pressupostos, Lames buscou investigar a relação entre a fase relativa e o estado do *rally*, ou seja, o que está acontecendo durante o ponto (LAMES, 2006). O autor assume que uma fase relativa estável indica que o *rally* está estável, de forma que o jogador não tem dificuldades para chegar a tempo

até a bola e realizar a rebatida. É sabido que durante os *rallies* os jogadores aumentam a velocidade das rebatidas e mudam a direção das mesmas para “criar pressão” sobre o adversário ou até mesmo vencer o ponto. Desta forma, estes tipos de ações realizadas pelos jogadores poderiam resultar em perturbações na fase relativa. Foram analisados trinta *rallies* (12 com atletas homens e 18 com mulheres) disputados completamente do fundo da quadra, durante torneios *Grand Slam* (Aberto da Austrália e Roland Garros). Os resultados mostraram que quando os *rallies* terminavam com um erro não forçado (entendido como um erro cometido por um jogador no qual seu adversário não foi o responsável pelo mesmo, ou seja, não realizou uma rebatida potente ou bem direcionada, causando o erro) a fase relativa (calculada pela transformada de Hilbert) permaneceu no padrão “em fase” e não foram observadas flutuações. Os resultados relativos à distribuição da fase relativa mostraram que os dados de velocidade apresentam uma distribuição de um pico, indicando o domínio do padrão “em fase”. Isto é devido ao fato de que o *rally* sincroniza os jogadores no sentido de que eles se alternam entre dois estados: baixa velocidade, enquanto um jogador realiza a rebatida e o outro se prepara para a próxima, alta velocidade enquanto um jogador se aproxima da bola para a sua próxima rebatida e o outro retorna de sua rebatida em direção a uma posição neutra.

Em um trabalho mais recente, o desenvolvimento de uma variável capaz de capturar a relação espaço temporal entre tenistas durante as competições foi proposto (CARVALHO et al., 2014). Para os autores as movimentações cíclicas realizadas pelos tenistas durante os *rallies* do fundo da quadra dão origem a tendências de coordenação que possuem períodos de estabilidade (em fase ou em anti fase) e instabilidade que representam a mudança de um padrão de coordenação para outro. As instabilidades estão associadas às perturbações nos sistemas dos jogadores e podem deslocar o sistema para um novo estado de organização. Se o equilíbrio entre as posições dos jogadores em quadra não é mantido ao longo do tempo (e.g., simetria espaço temporal entre os jogadores), isto pode resultar em um processo de quebra de simetria ou estabilidade, e a conclusão do ponto em esportes de raquete. Desta forma, os autores propuseram desenvolver um método que não só descrevesse os padrões de coordenação estáveis entre os jogadores, mas que guardasse relação com a posição do jogador em quadra, que não é possível obter a partir do cálculo da fase relativa. Os autores analisaram vinte e oito *rallies* desempenhados por tenistas do gênero masculino durante o torneio Estoril *Open*,

realizado em Portugal. Além da obtenção das trajetórias dos jogadores, os autores também realizaram o registro do momento em que a bola era rebatida por um jogador e o momento em que a mesma tocava o solo. Para identificar qual ação técnica foi a responsável pela perturbação nos padrões de coordenação dos jogadores, os autores contaram com a inspeção visual de dois técnicos experientes. Para obter os padrões de coordenação foi criado o índice GDD (ou índice de deslocamento direcionado a meta m.m). Este índice é calculado a partir do produto entre a distância do jogador da linha central da quadra e a distância do centro da rede. Desta forma, os padrões de coordenação levam em consideração as duas coordenadas do jogador (x,y) e não somente a coordenada que representa os movimentos médio laterais. Os resultados mostraram que quando ambos os atletas apresentavam valores do índice GDD acima ou abaixo de zero, tratava-se de uma *rally* realizado na cruzada, ou seja, ambos os jogadores estão em seu lado direito ou esquerdo da quadra. Do mesmo modo, quando um jogador possui valores positivos, e o outro valores negativos, trata-se de um *rally* realizado na paralela, ou seja, um jogador encontra-se do lado direito de sua quadra e outro do lado esquerdo, por exemplo. Os técnicos identificaram que existem dois padrões de coordenação que fizeram um jogador ganhar vantagem sobre o outro. Um deles foi a chamado abertura de ângulo, que é caracterizada por um aumento da distância de um dos jogadores em relação à linha central, enquanto o outro mantém uma posição estável em relação a esta linha. Com o aumento da distância de um dos jogadores em relação à linha central, acima de um limite crítico, que pode variar em cada *rally* e entre cada indivíduo, a ordem existente no sistema é alterada e o jogador que está sendo deslocado não pode recuperar a posição e cobrir o espaço na quadra, possibilitando um ataque. No caso da variação na paralela, uma quebra na simetria do sistema foi atingida por meio de um deslocamento causado por uma rebatida realizada na paralela. Por fim, a análise estatística revelou que as ações de abertura de ângulo fizeram com que o jogador se deslocasse mais ($88,21 \pm 18,93$ índice GDD) comparado com a variação na paralela ($60,42 \pm 15,29$ índice GDD).

Esta maneira de estudar o esporte de forma dinâmica, apesar de nova, tem fornecido informações valiosas a cerca do comportamento dos atletas em quadra, tais como, existência de padrões de coordenação estáveis entre os jogadores e que perturbações nestes padrões causadas por ações técnicas específicas podem resultar na vitória do ponto. Estes resultados auxiliam na preparação tática dos

atletas para os jogos. No entanto, uma investigação mais aprofundada sobre este tema ainda precisa ser realizada para que se possa melhor compreender o comportamento da coordenação entre os jogadores. Existem algumas perguntas que ainda não foram respondidas, principalmente relacionando os padrões de coordenação com os fenômenos realizados no jogo. Durante o jogo, grande parte dos deslocamentos são realizados lateralmente, entretanto, os jogadores estão constantemente se deslocando no sentido ântero-posterior. Os estudos anteriores optaram por analisar unicamente os deslocamentos laterais ou unificaram os deslocamentos realizados em ambas as direções em único índice. Estudar os deslocamentos realizados pelos jogadores em apenas uma direção implica em descartar importantes ações que acontecem no jogo e auxiliam no desempenho dos jogadores. Por outro lado, unificar ambos os deslocamentos em um único índice (ex. índice GDD), faz com que a análise dos padrões de coordenação perca relação com o que está acontecendo realmente durante o jogo. Por exemplo, quando os jogadores se movimentam em direções opostas (padrão de coordenação anti fase) não é possível saber em qual direção os jogadores estão se deslocando (ântero-posterior ou médio-lateral). Portanto, analisar os padrões de coordenação durante os deslocamentos laterais e ântero-posteriores separadamente parece ser a melhor forma de estudar a dinâmica do tênis. Com isso torna-se possível responder quais padrões de coordenação predominam durante os deslocamentos ântero-posteriores e laterais durante jogos oficiais de tênis.

Além disso, como mencionado anteriormente, o comportamento dos jogadores muda ao longo do jogo devido a mudanças na estratégia, situações de placar e até mesmo o fator físico pode influenciar na dinâmica de deslocamento dos jogadores. Assim, levanta-se novas questões acerca desta temática:

- Como se comportam a dinâmica de movimentação e os padrões de coordenação ao longo de uma partida? Existe diferença entre os *sets* do jogo?

Além disso, este tipo de análise pode fornecer um melhor entendimento do comportamento dos tenistas juvenis em quadra, de modo que se possa prepará-los mais adequadamente para o nível profissional. De um modo geral, até a categoria sub-18 anos a Federação Internacional de Tênis (*International Tennis Federation – ITF*) é a principal responsável pela elaboração do sistema de classificação mundial (*ranking*). Posteriormente, o escalonamento é efetuado pela Associação dos Tenistas Profissionais (*Men's Professional Tennis – ATP*), que realiza a ordenação

dos tenistas profissionais. É sabido que a fase de transição do nível juniores (sub - 18) para o profissional é extremamente problemática. De acordo com um estudo recente, existe uma tendência de que apenas os 20 melhores tenistas juvenis do mundo consigam transitar para o profissionalismo, e que, além disso, a chance destes atletas obterem resultados tão satisfatórios no profissionalismo quanto como juvenis é ainda menor (REID et al., 2014).

Devido ao menor tempo de prática e experiência, espera-se constatar que tenistas juniores apresentem menor variabilidade nos padrões de coordenação interpessoal em comparação aos jogadores profissionais. Em termos práticos, isto pode significar que os jogadores mais jovens realizam longas trocas de bola durante os *rallies* e mudam a direção das rebatidas com menor frequência, objetivando cometer menos erros, ao passo que os profissionais mudam constantemente a direção das rebatidas buscando deslocar o adversário forçando-o a cometer um erro ou para realizar uma rebatida indefensável. Logo, entender como se comportam em quadra tenistas de diferentes faixas etárias pode fornecer aos técnicos importantes informações que auxiliem na preparação dos tenistas juvenis para a etapa futura de suas carreiras. Para isso, as seguintes indagações devem ser respondidas:

- Qual a dinâmica os deslocamentos realizados por jogadores de diferentes níveis de competição? Em outras palavras, a intensidade dos deslocamentos dos atletas em quadra muda em função das categorias?

- Quais os padrões de coordenação mais adotados por tenistas juvenis e profissionais durante os jogos?

- Qual categoria apresenta maior variabilidade ou transição de padrões de coordenação?

É importante também salientar as técnicas utilizadas para medir os padrões de coordenação dos jogadores nos estudos citados previamente. Apesar de fornecerem informações importantes, o cálculo da fase relativa entre séries temporais utilizando a transformada de Hilbert ou outras técnicas, tais como a fase relativa contínua, não foram desenvolvidas para interpretar qual oscilador está liderando a série temporal ou está atrasado em relação ao outro oscilador (VAN EMMERIK; MILLER; HAMILL, 2004). De acordo com Palut e Zanone (2005) esta relação de atraso de um oscilador em relação ao outro pode significar que um jogador está fazendo o outro se movimentar, em uma configuração de ataque e defesa. Deste modo, o jogador que está sendo deslocado (oscilador que lidera a série temporal) deve suportar a

superioridade tática e técnica de seu oponente (oscilador que está atrasado). Como sugerido por Mcgarry et al. (2002), este relacionamento de liderança e atraso entre os osciladores (jogadores) pode resultar em vitória do jogador que está fazendo seu adversário se movimentar. A partir de tal perspectiva, o atraso de fase pode ser uma ferramenta de diagnóstico eficiente para investigar a dominância de um jogador sobre o outro. Assim, a utilização da técnica chamada *vector coding*, além de identificar os estados estáveis do sistema (em fase e anti fase), as instabilidades (mudança de um padrão para outro) também gera a informação acerca de qual oscilador está liderando e qual está sendo liderado durante a série temporal (SPARROW et al., 1987). Desta forma, deseja-se ainda responder às seguintes perguntas:

- Se estar atrasado em relação à série temporal representa uma vantagem, no sentido de que este jogador está atacando seu adversário, qual categoria apresenta maior permanência neste padrão de coordenação durante o jogo? Além disso, se liderar a série temporal representa uma desvantagem, no sentido de que este jogador está se defendendo ou se deslocando em função dos golpes do adversário, qual categoria apresenta mais este tipo de comportamento?

Durante o jogo, o tenista tem duas chances para efetuar o saque, e por este motivo os jogadores optam por realizar um saque mais veloz na primeira tentativa, para tentar colocar o devolvedor em uma situação desfavorável. Se o jogador erra a primeira tentativa de saque, o mesmo opta por realizar um saque mais lento para evitar cometer mais um erro, e por esta razão perder o ponto. Portanto, acertar o primeiro saque gera uma vantagem para o sacador porque o outro jogador (jogador que está devolvendo) deve tentar devolver um saque veloz da melhor maneira para que não seja atacado na próxima rebatida. Por outro lado, o segundo saque é mais lento do que o primeiro e permite que o devolvedor tenha tempo para rebatê-lo e realizar uma devolução mais veloz e bem direcionada. Portanto, deseja-se responder a seguinte indagação:

- Iniciar a disputa do ponto com o primeiro ou com o segundo saque tem influência nos padrões de coordenação?

Por fim, também deseja-se investigar quais padrões de coordenação predominam quando o ponto é vencido por um erro de um dos jogadores ou por uma ação técnica indefensável. A partir das questões levantadas, definiram-se portanto os objetivos geral e específicos do presente estudo. Para que estes

objetivos fossem atendidos, a presente dissertação foi organizada em dois estudos independentes que serão apresentados em formato de artigo científico. Inicialmente serão apresentados os procedimentos metodológicos comuns aos dois estudos e, posteriormente, os artigos na íntegra.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar os padrões de deslocamento entre tenistas de diferentes categorias e níveis durante jogos oficiais.

2.1.1 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral desta pesquisa, os objetivos específicos consistiram em:

- Descrever as propriedades de frequência das séries temporais relacionados os deslocamentos dos tenistas durante os jogos de diferentes níveis de competição;
- Analisar se jogadores de diferentes categorias apresentam diferentes padrões de coordenação interpessoal durante jogos oficiais;
- Analisar se os padrões de coordenação interpessoal se alteram do primeiro para o segundo *set* do jogo;
- Analisar se os *rallies* que iniciam com o primeiro saque apresentam diferentes padrões de coordenação dos que iniciam com o segundo saque;
- Descrever quais padrões de coordenação interpessoal predominam durante os *rallies* que terminam devido a uma ação técnica indefensável ou por um erro realizado por um dos jogadores;
- Descrever o número de trocas de padrão de coordenação que ocorrem durante os *rallies* dos jogos de diferentes níveis de competição.

3 MÉTODOS

3.1 AMOSTRA

A amostra do estudo foi constituída por atletas do gênero masculino, jogadores profissionais de tênis de diferentes níveis de competição, sendo analisados cinco jogos de um campeonato mundial organizado pela ITF (*International tennis federation*) da categoria 18 anos disputados em quadra de saibro coberta, quatro jogos de um campeonato profissional *Future* organizado pela ATP (*Association of tennis professionals*) disputado em quadra de saibro descoberta, e cinco jogos de um campeonato profissional ATP-250 disputados em quadra coberta. As descrições das partidas que foram analisadas nesse estudo podem ser visualizadas na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos jogadores e competições a serem analisados

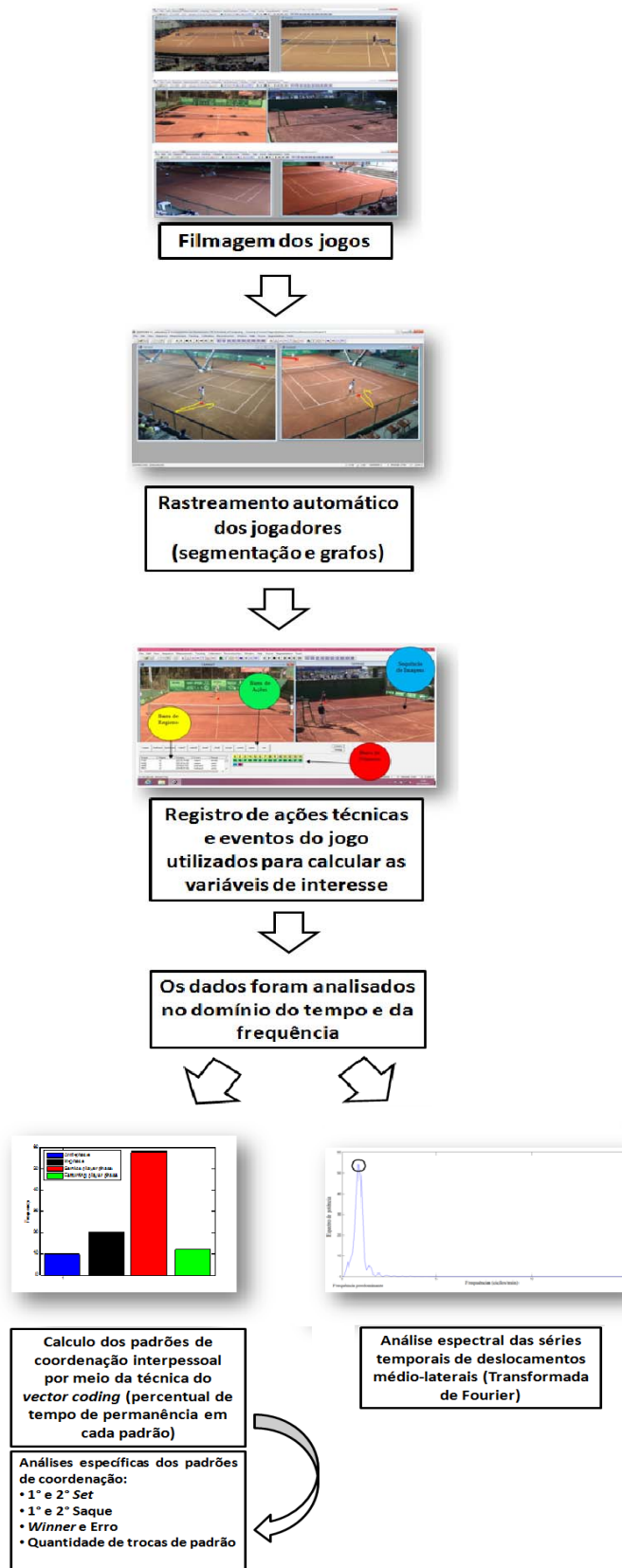
Jogos	Competição	Nacionalidade	Superfície	Local	Ano	Câmeras
Jogo 1	ITF Circuito Juvenil	Bra X Bra	Saibro	Londrina - PR	2014	2
Jogo 2	ITF Circuito Juvenil	Bra X Par	Saibro	Londrina - PR	2014	2
Jogo 3	ITF Circuito Juvenil	Bra X Bra	Saibro	Londrina - PR	2014	2
Jogo 4	ITF Circuito Juvenil	Bra X Sui	Saibro	Londrina - PR	2014	2
Jogo 5	ITF Circuito Juvenil	Bra X Bra	Saibro	Londrina - PR	2014	2
Jogo 6	ATP <i>Future</i>	Bra X Bra	Saibro	Arapongas - PR	2012	2
Jogo 7	ATP <i>Future</i>	Bra x Bra	Saibro	Arapongas - PR	2012	2
Jogo 8	ATP <i>Future</i>	Bra X Bra	Saibro	Arapongas - PR	2012	2
Jogo 9	ATP <i>Future</i>	Bra X Bra	Saibro	Arapongas - PR	2012	2
Jogo 10	ATP 250	Bra X Esp	Saibro	São Paulo - SP	2015	2
Jogo 11	ATP 250	Bra X Uru	Saibro	São Paulo - SP	2015	2
Jogo 12	ATP 250	Ita X Col	Saibro	São Paulo - SP	2015	2
Jogo 13	ATP 250	Ita X Uru	Saibro	São Paulo - SP	2015	2
Jogo 14	ATP 250	Ita X Bra	Saibro	São Paulo - SP	2015	2

Fonte: O próprio autor

3.1.1 Desenho do Estudo

Imagens de partidas oficiais de tênis foram registradas por meio de câmeras digitais. Posteriormente, essas imagens foram transferidas para o computador e sincronizadas. Após a sincronização, foram obtidas as informações de posição dos jogadores em função do tempo através do procedimento de rastreamento. Posteriormente, as ações técnicas e o início e o fim dos *rallies*, *games* e *sets* foram identificados e armazenados através de uma ferramenta específica. Foi realizado a análise espectral da série temporal de deslocamento dos jogadores para obter a frequência com que ocorrem os deslocamentos. Para medir a coordenação interpessoal foi utilizada técnica *vector coding*. As frequências dos deslocamentos, os padrões de coordenação e a quantidade de trocas de padrões foram analisados durante os *rallies* das partidas e comparados entre as três competições analisadas neste estudo (Figura 1).

Figura 1 – Desenho do estudo



Fonte: O próprio autor

3.1.2 Coleta de Dados

Para a obtenção da posição dos jogadores de tênis em quadra em função do tempo e suas ações técnicas, foi utilizado o sistema de análise cinemática DVídeo (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2005). Todos os algoritmos computacionais do referido sistema para o tênis estão descritos abaixo. Em seguida estão os procedimentos de tratamento dos dados e cálculo das variáveis em ambiente Matlab®.

3.1.3 Sistema DVídeo

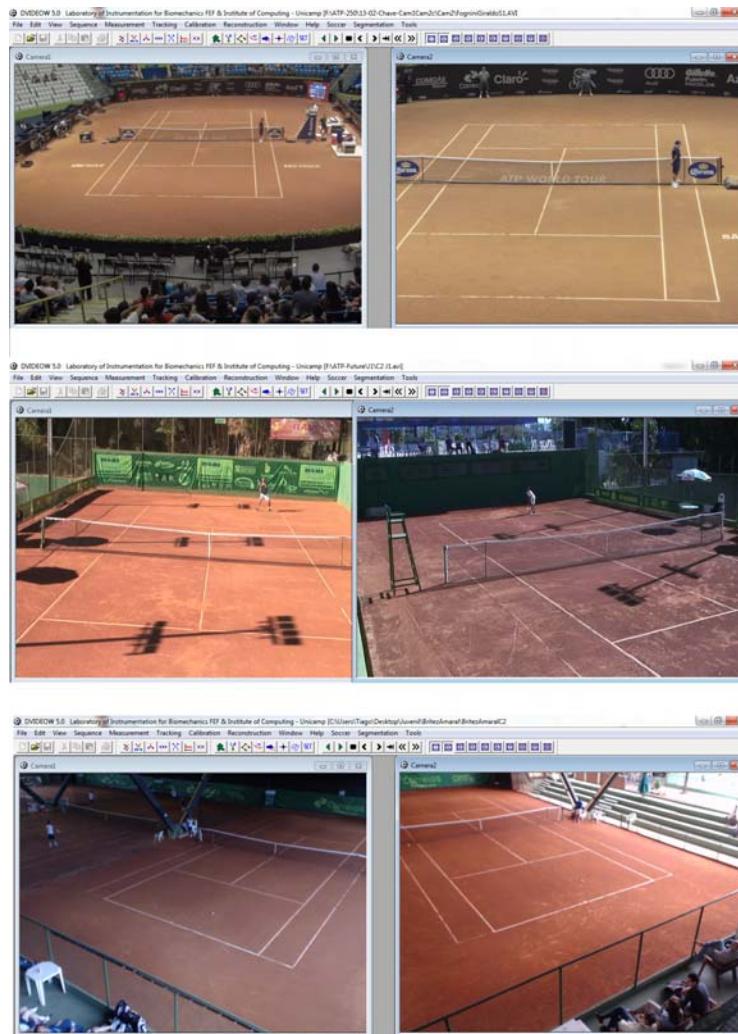
O sistema DVídeo possui uma interface e algoritmos específicos para a realização do rastreamento e obtenção das trajetórias de jogadores em quadra FIGUEROA, LEITE; BARROS, (2005). A seguir estão apresentados os procedimentos para obtenção das coordenadas bidimensionais de cada jogador e conseqüentemente suas trajetórias durante toda a partida:

- Aquisição de imagens
- Medição automática
- ✓ Segmentação
- ✓ Rastreamento
- Medição manual
- Homografia e reconstrução 2D

3.1.4 Aquisição de Imagens

Os jogos de tênis foram filmados por duas câmeras digitais com frequência de aquisição de 30 Hz. As câmeras foram fixadas em tripés e posicionadas em locais altos da quadra (cabines de televisão e rádio, últimos degraus das arquibancadas) e mantidas fixas durante todo o tempo, de forma que cada uma delas enquadrava uma metade da quadra (Figura 1). Em seguida, esses vídeos foram transferidos para um computador no formato AVI (*Audio Video Interleaved*). Por meio da identificação de um evento rápido identificado por ambas às câmeras (o quique da bola), as imagens foram sincronizadas.

Figura 2 - Imagens das câmeras posicionadas em locais altos dos diferentes ginásios



Fonte: O próprio autor

3.1.5 Medição

O processo de medição refere-se à obtenção das coordenadas de tela de cada jogador e pode ser realizado no sistema DVideow de duas maneiras: manual ou automática. A medição manual exige que o operador determine a posição do jogador em todos os quadros de imagem.

3.1.5.1 Medição automática

A medição automática é baseada em técnicas de processamento digital de imagens utilizando-se de conceitos e operações de morfologia e matemática. Para

isto, a medição automática envolve os processos de segmentação e rastreamento. Realizando estes dois processos, as trajetórias dos jogadores são obtidas sem a necessidade de intervenção de um operador.

3.1.5.2 Segmentação

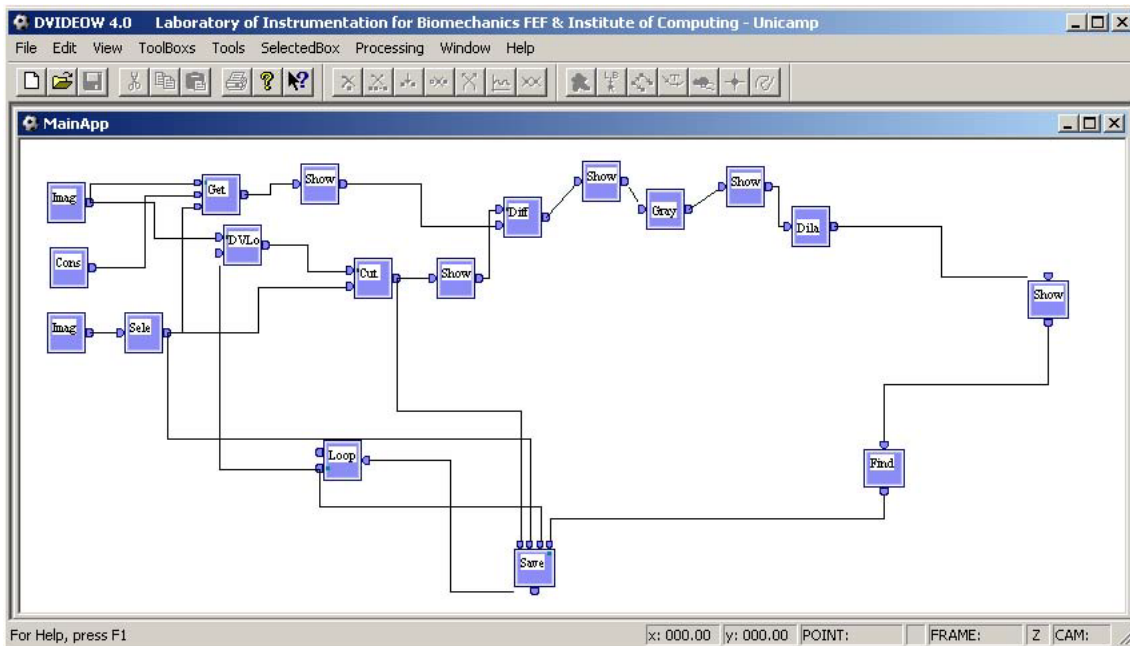
A segmentação tem por finalidade separar os objetos de interesse (como os jogadores), dos outros elementos da imagem, como placas de publicidade e arquibancadas. O sistema DVide possui uma interface que é configurada para cada coleta de acordo com as suas condições (Figura 2).

A segmentação realizada no sistema DVide considera o relevo topográfico do jogador na região de busca. O relevo topográfico é uma forma intuitiva de determinar a região que pode corresponder ao jogador na imagem, pois estas regiões apresentam intensidades de cores diferentes em relação ao fundo. Este método pode ser descrito mais detalhadamente com os seguintes passos:

- Seleção da região de interesse;
- Extração de fundo realizado por um filtro de movimento;
- Utilização de um filtro passa alta para realçar as regiões da imagem correspondentes ao jogador;
- Detecção dos contornos pela aplicação do gradiente;
- Cálculo dos valores da dinâmica, dos mínimos regionais e seleção dos valores maiores nestas regiões;
- Considerando as regiões obtidas, determinação de suas linhas que separam o objeto de interesse de outros elementos da imagem;
- Eliminação de algumas regiões de acordo com parâmetros associados à estrutura morfológica dos marcadores, tais como perímetro, área e alongamento.

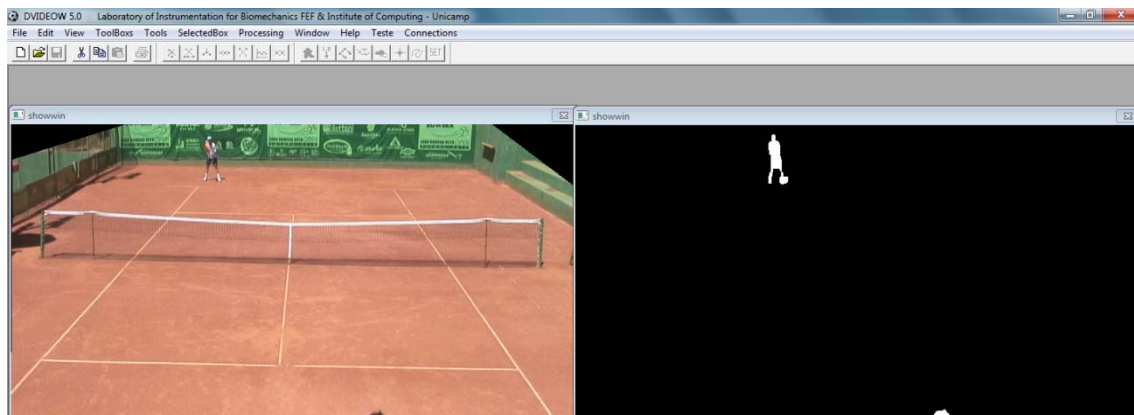
Após o processo de filtragem morfológica, as imagens são binarizadas e as regiões conexas são rotuladas e recebem a denominação de *blobs*. Cada *blob* tem informações sobre cor, tamanho e número de *pixels*, perímetro e coordenadas (x e y) que representam a posição do centro do *blob* na imagem (Figura 3).

Figura 3 - A interface do sistema DVideo para realizar a segmentação



Fonte: O próprio autor

Figura 4 - A interface do sistema DVideo durante o processo de segmentação, exemplificando o *blob* construído.



Fonte: O próprio autor

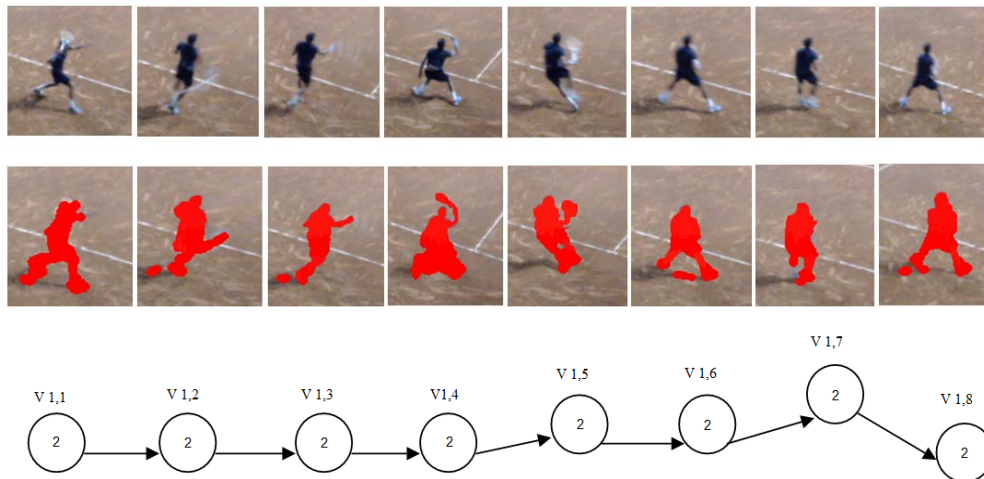
3.1.5.3 Rastreamento

As informações obtidas na segmentação correspondem a diversos pontos discretos das trajetórias dos jogadores em quadra, porém, ainda não estão associadas aos seus respectivos jogadores. Desta maneira é necessário um método capaz de realizar a correspondência temporal entre a posição do jogador num instante (t) e o instante seguinte ($t+1$) e assim sucessivamente.

Dentre os métodos existentes para elaborar o algoritmo, foi utilizado a teoria dos grafos que é representada por um conjunto de pontos (chamados de vértices) que são conectados por linhas (nomeadas arestas). Neste trabalho, um vértice representa um ou mais *blobs* e dois pontos só poderão estar conectados por apenas uma aresta. Um grafo pode ser visualizado através de uma representação geométrica, na qual seus vértices correspondem a pontos distintos do plano em posições arbitrárias, enquanto cada aresta é associada uma linha unindo os pontos correspondentes. A figura 4 apresenta a representação geométrica de um grafo a partir de uma sequência de *blobs* criados em uma sequência de imagens. O rastreamento é realizado a partir da construção de grafos utilizando as informações obtidas pelos *blobs*.

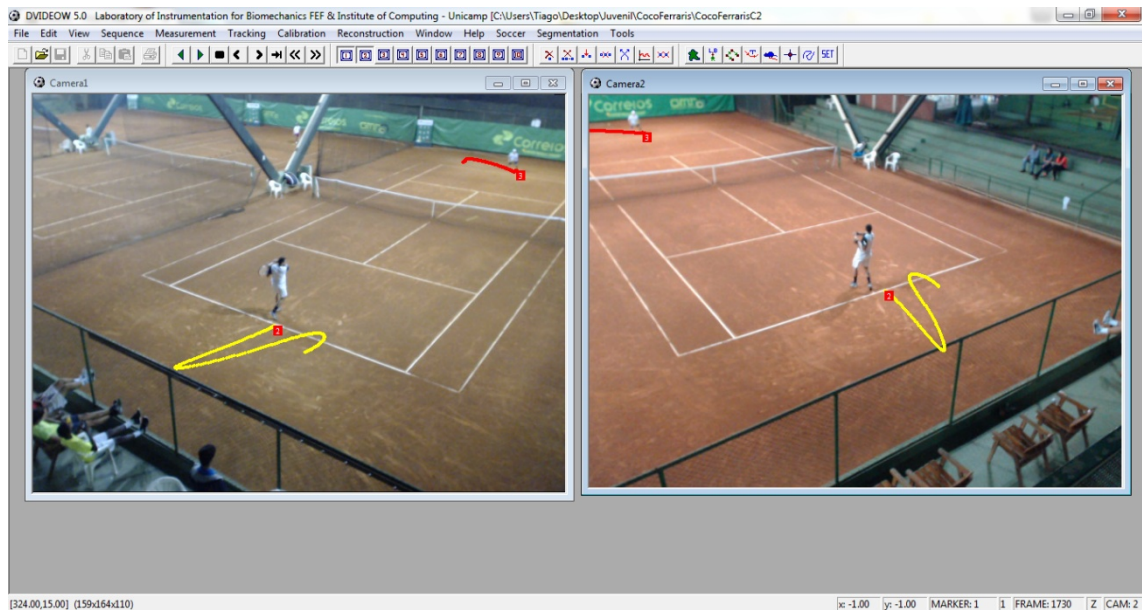
Construído então o grafo a partir desses dados, o rastreamento foi realizado para cada jogador separadamente (figura 5), selecionando o atleta no primeiro quadro. Uma vez selecionado o primeiro vértice, o sistema buscará informações sobre o próximo ponto, de acordo com o grafo criado.

Figura 5 - Representação geométrica do grafo criado a partir dos *blobs*.



Fonte: O próprio autor

Figura 6 - A interface do sistema DVideo durante o processo de rastreamento dos jogadores

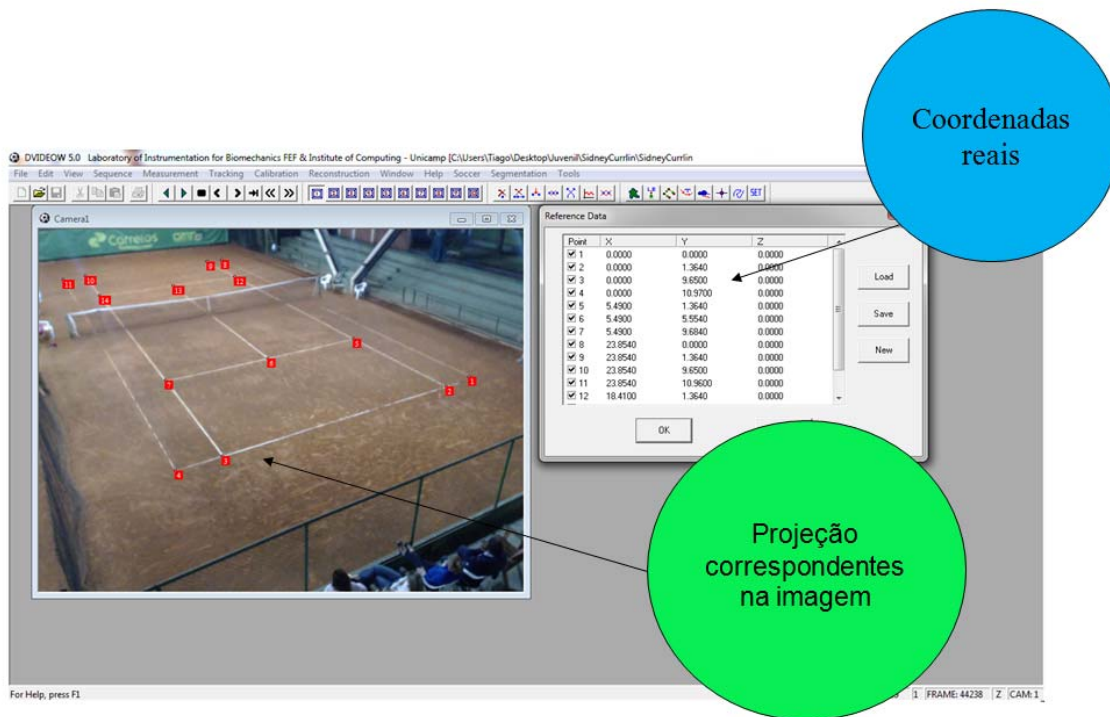


Fonte: O próprio autor

3.1.6 Homografia, Reconstrução 2D e Suavização

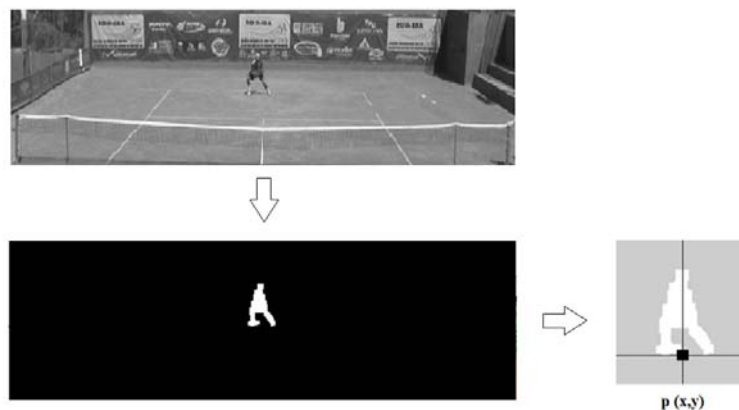
O movimento estudado refere-se ao deslocamento de atletas em função do tempo durante uma partida. Este movimento foi projetado sobre um plano que foi determinado na definição do sistema de coordenadas associado à quadra. Para isso, cada câmera registrou informações de 16 pontos da quadra, com distâncias conhecidas, que foram em seguida arquivadas pelo *software* (figura 6). Antes de cada jogo foram obtidas as coordenadas de pontos específicos em relação ao sistema de coordenadas associado à quadra por meio de uma trena laser, (*laser measures with Leica*® DISTO D5) (competição ATP-250) e uma trena convencional (competição ATP-*Future* e juvenil). As projeções correspondentes destes pontos na imagem também foram determinadas no *software* DVideo. A localização dos jogadores na imagem foi determinada pela posição dos pés dos jogadores no *blob*. Isto pode ser feito por encontrar o máximo valor da coordenada *y* dos *blobs* e seu ponto médio na coordenada *x* (Figura 7). Deste modo, os parâmetros de homografia da transformação imagem-objeto foram calculados baseados no DLT (*Direct Linear Transformation*), obtendo-se assim as coordenadas bidimensionais dos jogadores em função do tempo.

Figura 7 - Interface do *software* DVideo durante o processo de homografia e reconstrução 2D



Fonte: O próprio autor

Figura 8 - Descrição da posição, $p(x, y)$, do jogador feita a partir da localização de um único ponto.



Fonte: O próprio autor

Para verificar a acurácia das medidas obtidas através do rastreamento, foi realizado um teste no qual um participante caminhava e corria sobre as linhas da quadra, que possuíam distâncias conhecidas, medidas previamente com uma trena. Posteriormente, os valores de distância percorrida obtidas com o rastreamento foram

comparados com os valores reais, resultando em um erro de medida de 0,2% que representa um erro de 30 cm sobre a distância real percorrida (137,15 m).

A partir da obtenção das coordenadas bidimensionais dos jogadores através sistema DVideo, os dados foram importados para o *software* Matlab onde foi realizado a análise espectral e residual para a determinação da frequência de corte e do tipo de filtro utilizado. Após este processo as trajetórias dos jogadores foram suavizadas utilizando um filtro *butterworth* passa baixa de terceira ordem com frequência de corte de 0,4 Hz.

3.1.7 Registros das Ações Técnicas Realizadas e Eventos Ocorridos

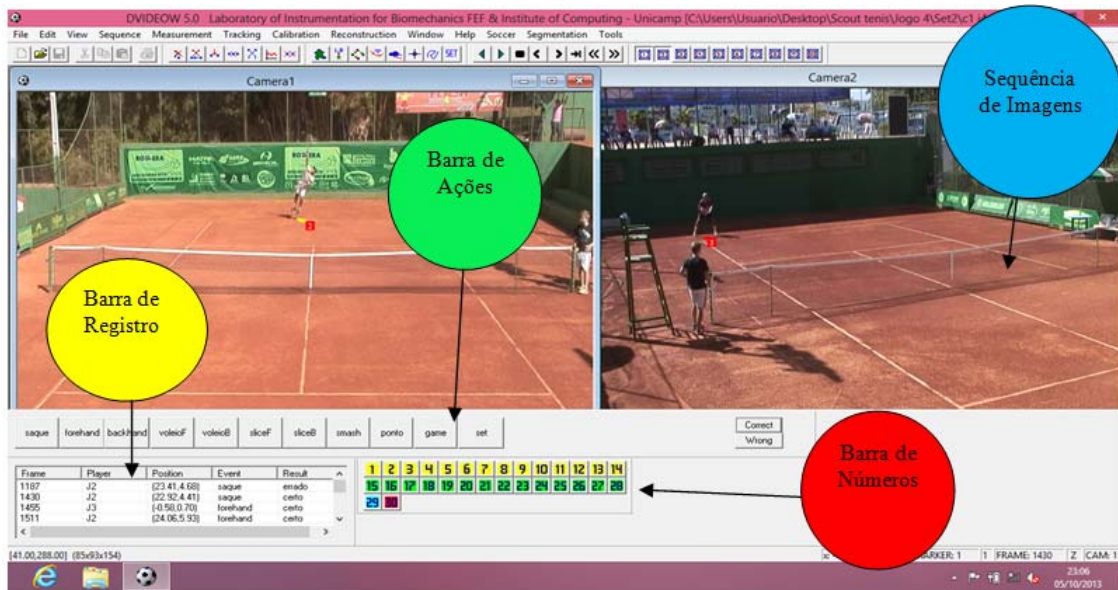
Há uma interface desenvolvida para o sistema DVideo que permite realizar o registro e armazenamento de quais ações técnicas foram realizadas durante a partida, juntamente com as informações sobre posição e o momento que determinado atleta as executou.

As ações e eventos registrados foram:

- ✓ *Fim de ponto*
- ✓ *Fim de Game*
- ✓ *Fim de Set*
- ✓ *Saque*
- ✓ *Forehand*
- ✓ *Backhand*
- ✓ *Voleio forehand*
- ✓ *Voleio backhand*
- ✓ *Smash*
- ✓ *Slice forehand*
- ✓ *Slice backhand*
- ✓ *Drop shot forehand*
- ✓ *Drop shot backhand*

Antes do início da análise, o software disponibiliza uma tela em que são informados dados sobre o local e a data de jogo, nome e número dos jogadores e ações técnicas que desejam ser avaliadas (figura 8)

Figura 9 - Registro das ações dos jogadores por meio do *software* DVideo.



Fonte: O próprio autor

Em seguida, o operador acompanhou as imagens do jogo e fez o registro das ações técnicas realizadas. Dessa forma, quando um jogador realizava uma determinada ação, o operador selecionava com o *mouse* o número do jogador em uma barra de números, em seguida a ação técnica executada e o seu resultado (certo ou errado, por exemplo). Ao final, o *software* adicionou todas essas informações em uma barra de registro, junto com as informações sobre o instante de tempo em que ocorreu o evento e o local da quadra.

Após o registro de todas as ações técnicas e eventos, o sistema DVideo produziu um arquivo, para cada jogo, com a estrutura de uma matriz distribuída em seis colunas (figura 9), sendo:

- 1ª coluna - número do quadro quando ocorreu a ação;
- 2ª coluna - número do jogador que realizou a ação;
- 3ª coluna - coordenada x do local do campo onde ela foi realizada;
- 4ª coluna – coordenada y do local do campo onde a ação foi realizada;
- 5ª coluna - ação realizada, recebendo cada uma um número;
- 6ª coluna - resultado da ação, podendo ser 0 (errado) ou 1 (certo).

Figura 10 - Estrutura do arquivo das ações técnicas dos jogadores durante uma partida

	Número do quadro da ação realizada	Número do jogador	Coordenada x e y	Ação técnica ou evento realizado	Resultado da ação (certo 1, errado 0)
371	3	-0.380900	3.504300	0 0	
676	3	-0.108500	3.653300	0 1	
713	2	24.872499	7.335400	1 1	
740	3	-2.101800	4.102000	2 1	
787	2	24.064600	5.719900	1 1	
820	3	-3.146700	6.849200	1 0	
857	3	-2.967600	7.492800	8 0	
1338	3	-0.142000	6.587300	0 0	
1648	3	-0.107900	6.594100	0 0	
1660	3	0.098700	6.584200	8 0	
2262	3	-0.110200	3.630100	0 0	
2577	3	-0.138000	3.671900	0 0	
2596	3	0.016500	4.069600	8 0	
3113	3	-0.001200	6.640600	0 1	
3144	2	24.446501	2.969900	1 1	
3189	3	-2.697700	5.467000	1 1	
3229	2	25.151699	4.021100	2 1	
3266	3	-2.687700	4.684700	2 1	
3301	2	25.218300	6.715600	1 0	
3332	2	25.425501	6.244400	8 0	
3832	3	0.002600	3.468200	0 1	
3857	2	25.309500	9.039300	1 1	
3897	3	-2.635100	3.081400	1 1	
3949	2	25.025499	3.155600	1 1	
3989	3	-3.844200	6.856400	1 1	
4027	2	25.085800	2.569200	2 1	
4074	3	-2.521800	8.374500	1 0	
4105	3	-2.258000	8.401700	8 0	
4105	3	-2.258000	8.401700	9 0	
5144	2	23.011000	6.796900	0 0	
5441	2	22.708401	6.625400	0 1	
5467	3	-0.175700	1.819500	2 1	
5505	2	24.246901	5.352800	1 1	

Fonte:- O próprio autor

3.2 QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE

A partir da obtenção das coordenadas bidimensionais de todos os jogadores e as ações realizadas, os cálculos das variáveis de interesse foram realizados em ambiente Matlab.

Primeiramente foi realizado a análise espectral das séries temporais a fim de compreender a frequência das séries temporais que representam os deslocamentos dos jogadores nas diferentes categorias.

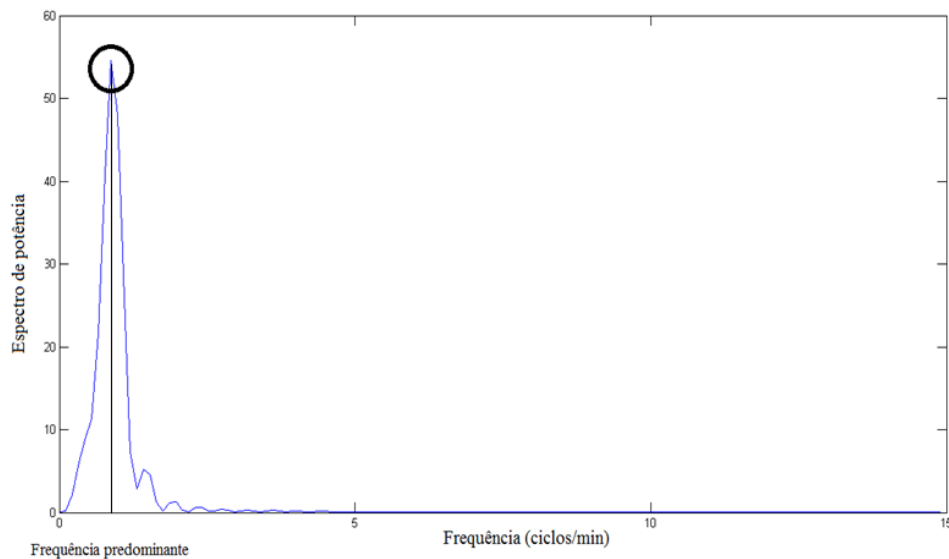
Também foi realizado o cálculo da coordenação entre os jogadores em quadra, utilizando a técnica do *vector coding*. A partir das informações de tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* dos jogos foram desenvolvidos algoritmos específicos para os seguintes cálculos e análises: descrição da quantidade de trocas de padrão de coordenação por *rally*, descrição dos padrões de coordenação ao longo do jogo (entre 1° e 2° set), descrição dos padrões de coordenação durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque, descrição dos padrões de coordenação entre os *rallies* que terminam com um golpe indefensável (*winner*) e aqueles que terminam em um erro do adversário.

3.2.1 Análise Espectral das Séries Temporais de Deslocamento dos Jogadores

Para averiguar como as flutuações da intensidade do sinal estão distribuídas no domínio da frequência, foi utilizado o método FFT (*Fast Fourier Transformation*) para extrair os componentes de frequência das séries temporais de deslocamento médio-lateral (correspondente à coordenada y) dos jogadores.

Em seguida, foi identificada a frequência predominante do sinal, que é definida como a frequência associada ao valor máximo do espectro de potência. A unidade de medida adotada para expressar a frequência foi ciclos por minuto (ciclos/min) (Figura 10).

Figura 11 - Representação da frequência predominante do espectro de potência de uma série temporal



Fonte - O próprio autor

3.2.2 Cálculo dos Padrões de Coordenação Interpessoal

Para analisar a coordenação entre os jogadores durante as movimentações médio laterais e anteroposteriores separadamente, foi utilizada a técnica do *vector coding* (SPARROW et al., 1987).

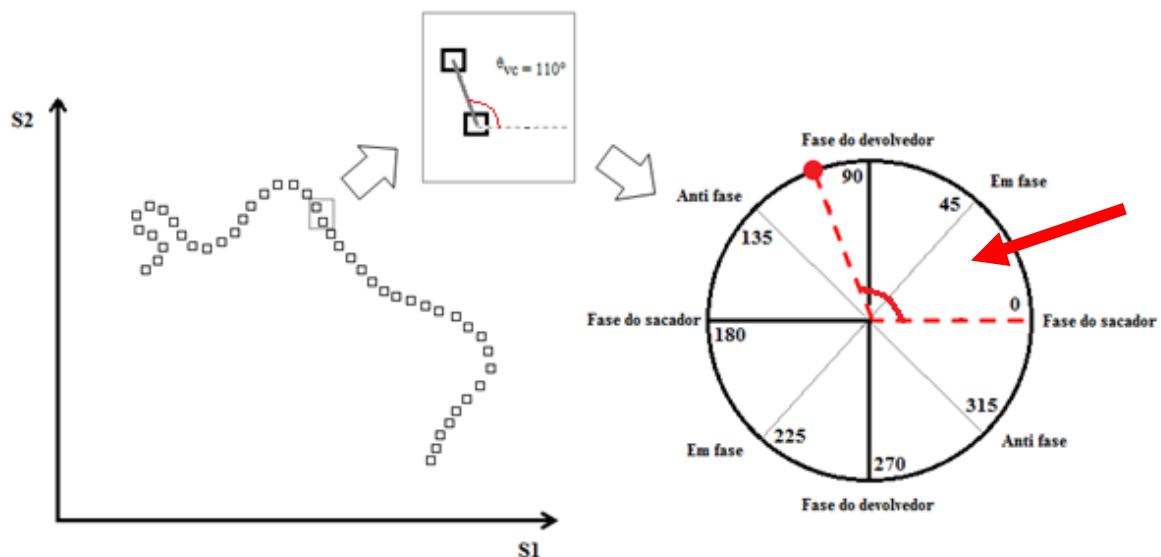
Inicialmente foi construído um diagrama (figura 11) de deslocamento relativo das duas séries temporais (referentes a cada jogador), consistindo em S_1 no eixo x, representando os valores da série temporal do jogador que está sacando, e S_2 no eixo y, representando a serie temporal do jogador que está devolvendo. O acoplamento entre S_1 e S_2 é definido pela técnica *vector coding* e foi quantificado por meio do ângulo de acoplamento (θ_{VC}) entre duas coordenadas consecutivas entre series temporais, conforme a seguir:

$$\theta_{VC}(t) = \tan^{-1} \left| \frac{S_2(t+1) - S_2(t)}{S_1(t+1) - S_1(t)} \right|, t = 1, 2, \dots, n - 1$$

(i) indica o ponto dentro da serie temporal e (n) representa os quadros de imagem do jogador que está sacando. O ângulo de acoplamento representa uma relação espacial do qual quatro padrões de coordenação podem ser identificados: “anti fase”, “em fase”, “fase relativa ao jogador que está sacando” e “fase relativa ao jogador que está devolvendo” (figura 12). Os quatro padrões são encontrados na

vertical, horizontal e nas diagonais a 45°. Quando os ângulos acoplados têm valor 45° e 225° (na diagonal positiva), o acoplamento encontra-se “em fase”. Em fase significa que ambos os jogadores estão se movendo na mesma direção simultaneamente, por exemplo, ambos os jogadores estão se movendo para a direita ou para a esquerda. Por outro lado, 135° e 315° (na diagonal negativa) a coordenação está em “anti fase”. Anti fase significa que os jogadores estão se movendo simultaneamente em direções opostas, por exemplo, quando um jogador está se movendo para a direita o outro se desloca para a esquerda. Quando os ângulos estão paralelos a horizontal (0° ou 180°) significa que somente o jogador que está sacando está se movendo em quadra, configurando assim a “fase do jogador que está sacando”. Quando os valores dos ângulos de acoplamento encontram-se na vertical (90° ou 270°), significa que somente o jogador que está devolvendo está se movendo em quadra, configurando assim a fase do jogador que está devolvendo (figura 12).

Figura 12 - Gráfico de movimento relativo da série temporal de posição dos jogadores e uma visão ampliada de um ângulo de acoplamento



Fonte: O próprio autor

Estes padrões foram adaptados de um estudo prévio que descreveu a coordenação da distribuição de jogadores de futebol em campo (MOURA et al., 2016). Os ângulos de acoplamento foram classificados em um dos quatro padrões

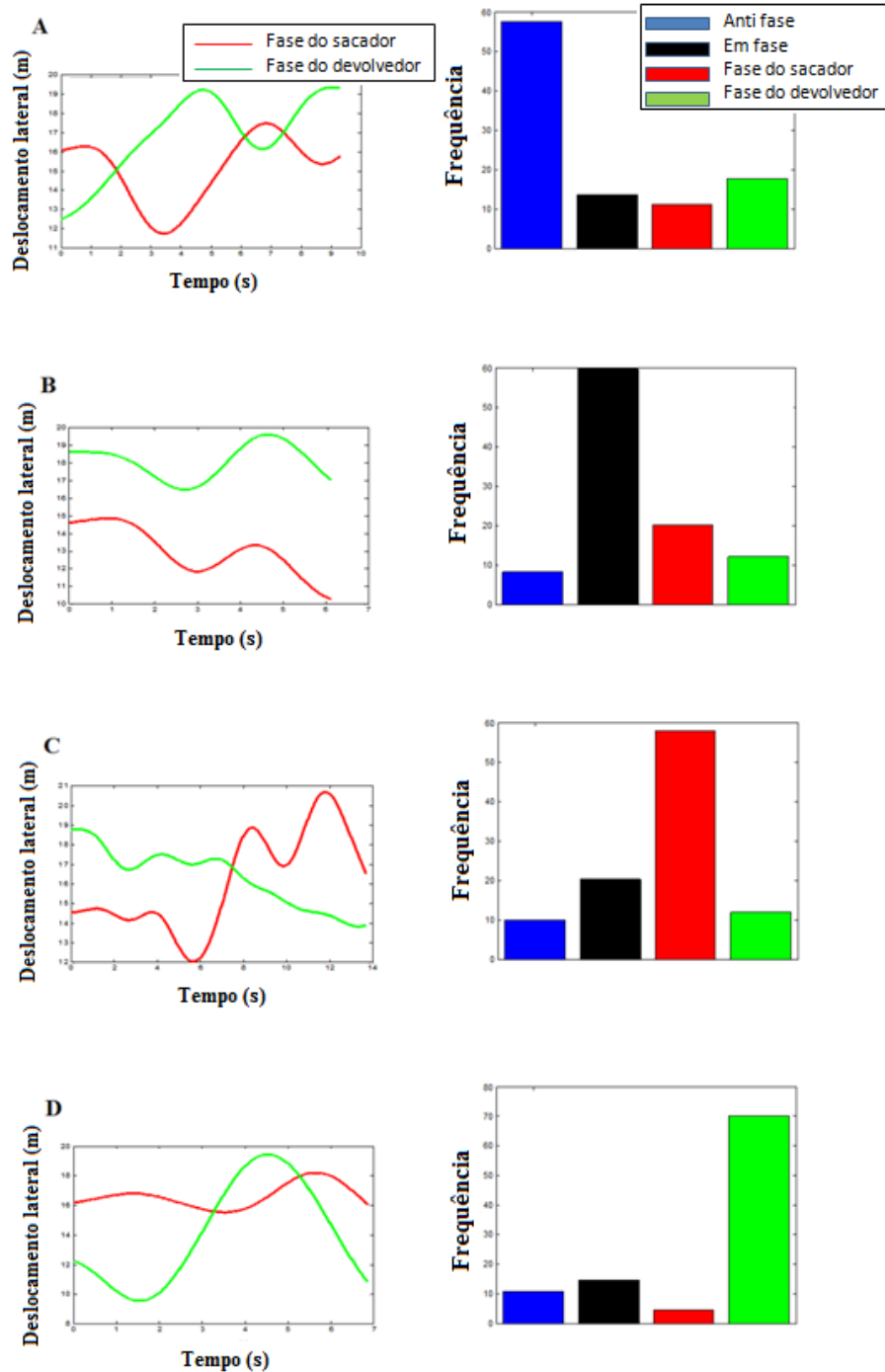
de coordenação. Como é raro que os ângulos de acoplamento estejam precisamente na vertical, horizontal ou diagonal de 45° , o círculo trigonométrico foi dividido em faixas de 45° (Tabela 2). Então, para cada *rally* foi criado histogramas e calculada a frequência relativa dos ângulos de acoplamento em cada um dos quatro padrões de coordenação (Figura 12).

Tabela 2 - Esquema aplicado para categorizar os padrões de coordenação

Padrão de coordenação	Definições dos ângulos de acoplamento
Anti fase	$112.5^\circ \leq \theta < 157.5^\circ, 292.5^\circ \leq \theta < 337.5^\circ$
Em fase	$22.5^\circ \leq \theta < 67.5^\circ, 202.5^\circ \leq \theta < 247.5^\circ$
Fase do sacador	$0^\circ \leq \theta < 22.5^\circ, 157.5^\circ \leq \theta < 202.5^\circ, 337.5^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$
Fase do devolvedor	$67.5^\circ \leq \theta < 112.5^\circ, 247.5^\circ \leq \theta < 292.5^\circ$

Fonte: O próprio autor

Figura 13 - Exemplo dos padrões de coordenação identificados por meio da técnica do *vector coding*. Os histogramas mostram o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação interpessoal (à direita), medidos a partir das séries temporais exemplificadas à esquerda. Predominância em “anti fase” (A), predominância “em fase” (B), predominância da “fase do jogador que saca” (C) e predominância da “fase do jogador que devolve”



Fonte: O próprio autor

4 RESULTADOS

4.1 Análise dos Padrões de Deslocamento de Tenistas Durante Jogos Oficiais de Diferentes Categorias

4.1.1 Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar os padrões de deslocamento de jogadores de tênis de diferentes categorias durante jogos oficiais. As trajetórias dos jogadores ($n = 28$) foram obtidas utilizando um método de rastreamento automático. Os padrões de coordenação interpessoal e a dinâmica de deslocamento foram analisados para o primeiro e o segundo *set*. A técnica do *vector coding* utilizada para identificar os padrões de coordenação entre os jogadores e permitiu identificar quatro padrões de coordenação interpessoal: “anti fase”, “em fase”, “fase liderada pelo sacador” e “fase liderada pelo devolvedor”. Os jogadores de todas as categorias apresentaram maior permanência no padrão “anti fase” e “fase do devolvedor”. Os jogadores juvenis apresentaram maior “fase do sacador” durante os deslocamentos médio-laterais em relação aos profissionais. Os jogadores profissionais apresentaram maior “fase do devolvedor” em relação aos juvenis. Os padrões de coordenação não se alteram ao longo do jogo. A análise espectral mostrou que jogadores profissionais (competição *ATP-Future*) se deslocam com maior frequência, pois apresentaram maiores valores de frequência predominante. A dinâmica de movimentação dos jogadores não se alterou do primeiro para o segundo *set*. A técnica do *vector coding* permitiu detectar novos padrões de coordenação entre jogadores de tênis, fornecendo informações adicionais sobre a dinâmica do tênis e a interação entre os jogadores de diferentes níveis de competição.

Palavras chave: Tênis. Vector coding. Coordenação interpessoal. Análise espectral.

4.1.2 Abstract

The purpose of this study was to analyze tennis players' displacement patterns of different categories during official matches. The trajectories of the players ($n = 28$) were obtained using an automatic tracking method. The patterns of interpersonal coordination and the displacement dynamic were analyzed for the first and second

set. The vector coding technique was used to identify patterns of coordination between players and identified four patterns of interpersonal coordination "anti phase", "in phase", "service player phase" and "returning player phase". Players of all categories remain longer in the pattern "anti phase" and "returning player phase". Youth players showed a bigger permanency on "service player phase" during lateral displacements in relation to the professionals. Professional players presented higher returning player phase in relation to young players. Coordination patterns do not change throughout the match. Spectral analysis showed that professional players (*ATP-Future* competition) move with a higher frequency. The dynamic movement of the players did not change from the first to the second set. The technique of vector coding allowed detecting new patterns of coordination among tennis players, providing additional information about the dynamics of tennis and the interaction between players of different levels of competition.

Keywords: Tennis. Vector coding. Interpersonal coordination. Spectral analysis.

4.1.3 Introdução

O principal propósito da análise de desempenho no esporte é fornecer indicadores que descrevem e explicam o comportamento dos jogadores durante as competições (CARVALHO et al., 2013; HUGHES; BARTLETT, 2002). Os sistemas de notação são frequentemente utilizados por pesquisadores para analisar o desempenho de jogadores de tênis, buscando caracterizar as ações técnicas mais utilizadas, as mais efetivas e os erros mais prevalentes (CARVALHO et al., 2014; O'DONOGHUE, 2003; PEREIRA et al., 2016). Estes dados descrevem um perfil individual das ações dos jogadores ou buscam por um padrão de jogo invariante associado à vitória ou à derrota no jogo, que deveria ser considerado para a preparação tática dos jogadores (PALUT; ZANONE, 2005). No entanto, recentemente, alguns autores têm sugerido que este tipo de análise parece ser limitada porque jogadores de tênis mudam seu estilo de jogo em função de seu oponente, em função de considerações estratégicas, de reações impostas pelo adversário e até mesmo pela pontuação atual do jogo (LAMES, 2006). Portanto este tipo de análise parece ser inadequado para lidar com a complexidade de jogos de tênis (LAMES, 2006; PALUT; ZANONE, 2005).

Em termos de uma abordagem sistemática, o jogo pode ser entendido através de um processo no qual duas partes (dois jogadores) tentam alcançar o seu objetivo (vencer o ponto ou o *rally*) e da mesma forma tentam evitar que o adversário faça o mesmo (LAMES, 2006). Portanto, o jogo não deve ser considerado a soma de dois comportamentos individuais, mas sim um sistema complexo composto por vários componentes interagindo entre si (PALUT; ZANONE, 2005). Os movimentos no tênis podem ser percebidos como os movimentos de dois subsistemas representados pelos jogadores. Esses subsistemas são fortemente acoplados pela natureza do jogo, porque eles trocam rebatidas entre si (LAMES, 2006). Enquanto um jogador realiza uma ação técnica, o outro tenta se posicionar onde ele terá as melhores oportunidades para chegar a tempo da próxima rebatida. Logo que ele reconhece a direção da rebatida, ele se move para o local de contato, enquanto o outro jogador desloca-se para a sua posição "neutra" (CARVALHO et al., 2013, 2014; LAMES, 2006; PALUT; ZANONE, 2005). Estas interações que ocorrem entre os jogadores apresentam períodos de estabilidade e instabilidade durante os *rallies*. Os momentos de instabilidade são associados com algum evento que cause uma perturbação no subsistema do jogador e que faz com que o sistema assuma um novo estado de organização (CARVALHO et al., 2014). Além disso, alguns autores sugerem que se o balanço entre as posições dos jogadores em quadra não são mantidas ao longo do tempo (sincronia espaço temporal entre os jogadores), isto pode levar a conclusão do ponto no tênis (CARVALHO et al., 2013).

O sincronismo no tênis já foi medido por meio da coordenação entre os movimentos laterais realizados pelos jogadores e através de índices que consideram ambos os movimentos realizados pelos jogadores (ântero-posteriores e médio-laterais). Em um estudo pioneiro, Palut e Zanone (2005) utilizaram a fase relativa, obtida pela transformada de Hilbert, para medir a sincronia entre os movimentos dos jogadores de tênis universitários utilizando uma única coordenada (médio-lateral). Os resultados mostraram a existência de apenas dois modos estáveis de sincronização, que correspondem aos jogadores se deslocando na mesma direção "em fase" e em direções opostas "anti fase" ou a transição de um padrão para outro. Em um estudo mais recente, foi utilizado o produto das distâncias de ambos os jogadores para linha central da quadra e para o centro da rede para calcular o denominado índice GDD (com unidade em m.m) (CARVALHO et al., 2014). A análise de vinte e oito *rallies* durante o torneio Estoril *Open* mostrou que: (a) quando

ambos os atletas apresentavam um índice acima ou abaixo de zero, tratava-se de um *rally* realizado na cruzada, (b) quando um jogador apresenta valores positivos, e o outro valores negativos, tratava-se de um *rally* realizado na paralela.

Embora estas pesquisas tenham identificado importantes interações entre os jogadores, alguns autores sugerem que a identificação de condições do jogo que caracterizem quando um jogador lidera uma interação pode ser um fator chave para a sua compreensão (CARVALHO et al., 2014; CRESPO; MILEY, 1998). Esta relação de atraso de um oscilador em relação ao outro pode significar que um jogador está fazendo o outro se movimentar, em uma configuração de ataque e defesa. Deste modo, o jogador que está sendo deslocado deve suportar a superioridade tática e técnica de seu oponente (PALUT; ZANONE, 2005). No entanto, a análise da fase relativa de séries temporais utilizando a transformada de Hilbert ou outras técnicas previamente citadas não foram desenvolvidas para interpretar qual oscilador está liderando a série temporal ou está atrasado em relação ao outro oscilador (VAN EMMERIK; MILLER; HAMILL, 2014). Portanto, embora os estudos prévios tenham descrito os padrões de sincronia entre os jogadores, ainda não se sabe como acontecem as situações do jogo nas quais um dos jogadores lidera a interação ou está atrasado em relação ao jogador adversário. Neste ponto, a técnica do *vector coding* pode fornecer informações adicionais sobre a sincronia dos jogadores (SPARROW et al., 1987).

Além disso, este relacionamento entre os jogadores e os pontos de referência espacial em quadra (e.g., marca central da linha de fundo) representa sua capacidade de administrar os espaços livres em quadra. Portanto, a velocidade com que os jogadores conseguem retornar a uma posição neutra em quadra, para preencher os espaços criados por um deslocamento prévio e evitar que o adversário realize um golpe indefensável e vença o ponto, é uma variável muito importante. Dado que a série temporal de deslocamentos dos jogadores está constantemente oscilando (médio-lateral, principalmente), as frequências representadas pela série temporal de deslocamento podem representar a velocidade de reorganização dos jogadores em quadra e fornecer informações complementares a cerca da dinâmica de movimentação dos jogadores.

Por fim, embora os estudos prévios tenham descrito o comportamento dos jogadores em quadra e fornecido subsídios para a preparação tática dos jogadores, aqueles fatores que diferenciam os jogadores profissionais de elite dos outros níveis

de competição permanecem desconhecidos (CARVALHO et al., 2014; LAMES, 2006; PALUT; ZANONE, 2005). Assim, identificar o comportamento de tenistas juvenis e profissionais em quadra pode contribuir ainda mais, ao passo que, caracterizar as demandas táticas de cada categoria permite que os técnicos consigam preparar os jogadores juvenis de forma mais específica às demandas do profissionalismo.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi investigar os padrões de deslocamento de jogadores de tênis durante jogos oficiais de tênis. Especialmente, buscou-se investigar se jogadores de diferentes categorias apresentam diferentes padrões de coordenação e dinâmica de deslocamento, e se estas variáveis se alteram ao longo do jogo. Baseado em estudos prévios (HOPPE; BAUMGART; FREIWALD, 2015; REID; DUFFIELD, 2014; WHITESIDE; BANE; REID, 2015) espera-se encontrar que: (a) jogadores profissionais de elite apresentem maior permanência nas interações na qual um jogador lidera ou está atrasado em relação ao outro, devido à maior capacidade ofensiva apresentada por estes jogadores; (b) as séries temporais de deslocamento dos jogadores profissionais apresentem maiores frequências devido à maior intensidade de deslocamento destes atletas; (c) que estas frequências diminuam no segundo *set* do jogo devido à redução do desempenho físico e (d) como consequência, os padrões de coordenação se alterem do primeiro para o segundo *set*.

4.1.4 Métodos

4.1.4.1 Participantes e procedimentos

O comitê de Ética da Universidade Estadual de Londrina aprovou esta pesquisa (protocolo 171.683). Este estudo foi uma análise transversal e descritiva de três competições de tênis. Todos os jogadores analisados nesta pesquisa (n=28) eram homens e destros. Foram analisados cinco jogos de um campeonato mundial organizado pela ITF (*International Tennis Federation*) da categoria 18 anos, quatro jogos de um campeonato profissional *Future* organizado pela ATP (*Association of tennis professionals*) e cinco jogos de um campeonato profissional ATP-250. Todas as competições foram realizadas em quadra de saibro.

Duas câmeras digitais foram utilizadas para registrar as partidas, com uma frequência de aquisição de 30 Hz. As câmeras foram fixadas em tripés e posicionadas em lugares altos ao redor da quadra. Cada câmera cobria

aproximadamente metade da quadra, com uma região de sobreposição entre elas (Figura 1). As imagens foram transferidas para um computador e sincronizadas através da identificação de um evento rápido identificado por ambas às câmeras, como o quique da bola. Durante a coleta de dados a temperatura oscilou entre 22°C e 31°C e umidade relativa do ar entre 42% e 78% durante a competição juvenil. Durante a competição ATP-*Future* e ATP-250 a temperatura oscilou de 14.0°C a 29.9°C e umidade do ar de 20% a 60% e 20°C a 32°C e 41% a 83%, respectivamente (dados fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, Brasil).

4.1.4.2 Sistema de rastreamento automático

As trajetórias dos jogadores foram obtidas utilizando o sistema de rastreamento automático DVideo (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a). Os dois procedimentos automáticos de segmentação e rastreamento forneceram a posição dos jogadores durante todo o jogo.

Antes das partidas, obtiveram-se as coordenadas de 16 pontos de controle na quadra, utilizando uma trena. Estes pontos foram definidos em relação ao sistema de coordenadas associadas à quadra (eixo x associado com a direção ântero-posterior e eixo y com a direção médio-lateral). As projeções correspondentes desses pontos na imagem foram determinadas usando o software DVideo. Deste modo, os parâmetros de homografia da transformação imagem-objeto foram calculados baseados na transformação linear direta e desta forma as coordenadas 2D relativas ao sistema de referencias foram obtidas. Por fim, as trajetórias dos jogadores foram suavizadas utilizando um filtro butterworth passa baixa de terceira ordem com frequência de corte de 0,4 Hz.

A acurácia das medidas foi obtida através de um teste de rastreamento realizado em uma das competições. Foi solicitado a um participante caminhar, trotar e correr exatamente sobre as linhas da quadra, com distâncias conhecidas medidas previamente. Os mesmos procedimentos de rastreamento foram aplicados e, em seguida, a distância percorrida obtida pelo sistema de rastreamento foi comparada ao valor real, resultando em um erro de apenas 0,2%.

4.1.4.3 Análise espectral

O método FFT (*Fast Fourier Transform* ou transformada rápida de Fourier) foi utilizado para calcular a distribuição da força das séries temporais de deslocamento realizados pelos jogadores no eixo y (deslocamento médio-lateral) no domínio da frequência. Em seguida, calculou-se a frequência predominante, definida como a frequência associada ao valor máximo do espectro de potência. Para facilitar a interpretação dos resultados, adotou-se ciclos/minuto como a unidade de medida para a frequência.

4.1.4.4 Análise de coordenação interpessoal

Para analisar a coordenação entre os jogadores foi utilizada a técnica do *vector coding* (SPARROW et al., 1987). Os *rallies* analisados neste estudo têm a duração de pelo menos três trocas de bola (um saque válido, uma devolução correta e uma terceira ação técnica) (PEREIRA et al., 2016). Foram analisados 381 *rallies* da competição juvenil, 277 *rallies* da competição profissional nível *Future* e 463 *rallies* da competição profissional ATP-250, considerando apenas o primeiro e o segundo *sets* das partidas.

Inicialmente, foi construído um diagrama de deslocamento relativo das duas series temporais (referentes a cada jogador), consistindo em S_1 no eixo x, representando os valores da série temporal do jogador que está sacando, e S_2 no eixo y, representando a serie temporal do jogador que está devolvendo. O acoplamento entre S_1 e S_2 é definido pela técnica do *vector coding* e foi quantificado por meio do ângulo de acoplamento (θ_{VC}) entre duas coordenadas consecutivas entre series temporais, conforme a seguir:

$$\theta_{VC}(i) = \tan^{-1} \left| \frac{S_2(i+1) - S_2(i)}{S_1(i+1) - S_1(i)} \right|, i = 1, 2, \dots, n - 1$$

(i) indica o ponto dentro da serie temporal e n representa os quadros de imagem do jogador que está sacando. O ângulo de acoplamento representa uma relação espacial do qual quatro padrões de coordenação podem ser identificados: anti fase, em fase, fase relativa ao jogador que está sacando e fase relativa ao jogador que está devolvendo. Os quatro padrões são encontrados na vertical, horizontal e nas diagonais a cada 45°. Quando os ângulos acoplados têm valor 45° e 225°, o acoplamento encontra-se em fase. Em fase significa que ambos os jogadores estão se movendo na mesma direção simultaneamente, por exemplo, ambos os jogadores estão se movendo para a direita ou para a esquerda. Por outro lado, 135° e 315° a

coordenação está em anti fase. Anti fase significa que os jogadores estão se movendo simultaneamente em direções opostas, por exemplo, quando um jogador está se movendo para a direita o outro se desloca para a esquerda. Quando os ângulos estão na horizontal (0° ou 180°) significa que somente o jogador que está sacando está se movendo em quadra, configurando assim a fase do jogador que está sacando. Quando os valores dos ângulos de acoplamento encontram-se na vertical (90° ou 270°), significa que somente o jogador que está devolvendo está se movendo em quadra, configurando assim a fase do jogador que está devolvendo. Associações semelhantes também foram realizadas para os deslocamentos ântero-posteriores.

Estes padrões foram adaptados de Moura e colaboradores (MOURA et al., 2016), anteriormente utilizados para descrever a coordenação da distribuição de jogadores de futebol em campo. Os ângulos de acoplamento foram classificados em um dos quatro padrões de coordenação. Como é raro que os ângulos de acoplamento estejam precisamente na vertical, horizontal ou diagonal de 45° , o círculo trigonométrico foi dividido em faixas de 45° (Tabela 2). Então, para cada *rally* foi criado histogramas e calculada a frequência relativa dos ângulos de acoplamento em cada um dos quatro padrões de coordenação. Estes procedimentos foram realizados separadamente para verificar a coordenação entre os jogadores nas movimentações médio-laterais (eixo y) e ântero-posteriores (eixo x).

4.1.4.5 Análise estatística

Antes de cada análise, a normalidade dos dados foi testada utilizando o teste de Lilliefors. A homocedasticidade das variâncias foi testada utilizando o teste de Levene. Como os dados apresentaram distribuição não normal e não homogênea em todas as situações, foi realizado a transformação de Box-Cox para reduzir anomalias, tais como não-normalidade e não-heterocedasticidade. Uma análise de variância de três fatores foi realizada para comparar o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação (sentido médio-lateral) de acordo com três fatores: padrão de coordenação (anti fase, em fase, fase do sacador, fase do devolvedor), período do jogo (1° e 2° set) e categoria (Junior, profissional *Future*, profissional ATP 250). Os mesmos procedimentos foram realizados para os deslocamentos ântero-posteriores. Para realizar as comparações das frequências predominantes, foi realizada uma análise de variância de acordo com dois fatores:

período do jogo e categoria. Em todas as análises, quando as diferenças foram encontradas, o *post hoc* de Tukey foi utilizado para as comparações não pareadas e Bonferroni para as pareadas. O nível de significância $p < 0.05$ foi adotado em todas as análises. As variáveis estão expressas como mediana e intervalo interquartil.

4.1.5 Resultados

A figura 13 apresenta exemplos dos quatro padrões de deslocamento identificados por meio da técnica do *vector coding*. Os histogramas (à direita) mostram o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação interpessoal medido a partir das séries temporais exemplificadas a esquerda. A figura 13-A mostra um *rally* com predominância no padrão “anti fase”, que corresponde aos dois jogadores se movendo em direções opostas. A figura 13-B mostra um *rally* com predominância no padrão “em fase”, que corresponde aos jogadores se movendo na mesma direção. A figura 13-C mostra um *rally* com predominância do padrão “fase do sacador” que corresponde ao jogador, que sacou se deslocando enquanto o adversário (jogador que devolveu) se mantém parado ou se deslocando com certa defasagem temporal. Por fim, a figura 13-D mostra um *rally* com predominância do padrão “fase do devolvedor”, que corresponde ao jogador que devolveu o saque se deslocando enquanto o adversário (jogador que sacou) se mantém parado ou se deslocando com certa defasagem temporal.

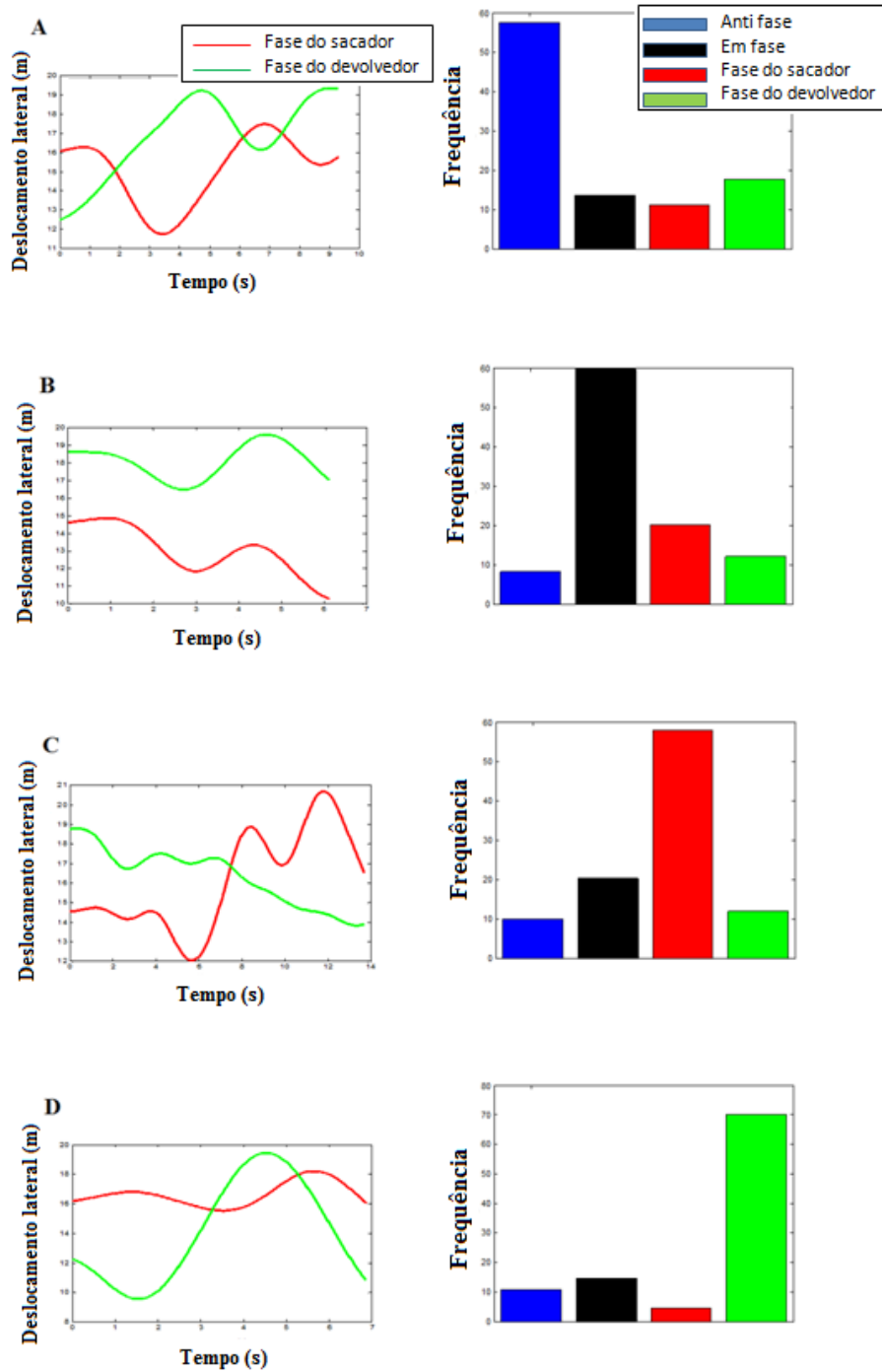


Figura 14 - Padrões de coordenação identificados por meio da técnica do *vector coding*. Os histogramas mostram o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação interpessoal (à direita), medidos a partir das séries temporais exemplificadas à esquerda. Predominância em anti fase (A), predominância em fase (B), predominância da fase do jogador que saca (C) e predominância da fase do jogador que devolve.

Fonte - O próprio autor

A tabela 3 apresenta o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* no primeiro e segundo *set* dos jogos (deslocamento médio-lateral). A análise estatística mostrou haver diferenças entre as categorias ($F(1629,2)=14,58$; $p < 0,01$). No entanto, não foram encontradas diferenças entre o primeiro e o segundo *set* ($F(1629,1)=2,31$; $p=0,12$). Também foi verificado diferenças entre os padrões de coordenação ($F(1629,3)=30,11$; $p < 0,01$) com maiores frequências do padrão anti fase e fase do devolvedor. Diferenças estatísticas também foram observadas na interação entre os fatores categoria e *set* ($F(1629,2)=3,8$; $p=0,02$) e categoria e padrões de coordenação ($F(1629,6)=4,43$; $p < 0,01$). O teste *post hoc* mostrou que durante a competição juvenil os jogadores apresentaram maior permanência no padrão de coordenação no qual o sacador lidera a série temporal, do que a competição ATP-*Future* e ATP-250 ($p < 0,05$). Além disso, foi verificado também que os jogadores juvenis demonstram maior permanência no padrão em fase.

Tabela 3: Percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação das três categorias durante os *rallies* do primeiro e segundo *set* dos jogos (deslocamentos médio-laterais). Os resultados foram apresentados em mediana e (intervalo interquartil).

	1º Set				2º Set			
	AF	EF	FS	FD	AF	EF	FS	FD
Juvenil	21,1 (19,3) **	16,3 (15,0)	14,1 (17,8)	37,0 (26,3) **	19,6 (17,3) **	18,6 (18,0)	16,1 (15,1)	35,0 (24,7) **
Professional Future	21,0 (17,3) **	19,6 (23,7) †	14,7 (16,1)	35,2 (30,2) **	19,7 (20,2) **	15,8 (18,4) *	12,1 (17,8) †	41,0 (28,1) **
Professional ATP 250	23,4 (17,4) **	18,5 (16,8)	13,5 (14,6)	37,0 (23,0) **	21,4 (20,8) **	17,0 (20,8)	13,5 (18,0) †	35,2 (27,3) **

Foram considerados quatro padrões de coordenação: anti fase (AF), em fase (EF), fase do sacador (FS) e fase do devolvedor (FD). Os símbolos indicam diferenças significantes ($p < 0,05$): * diferente de EF; # diferente de FS; † diferente da categoria juvenil.

Fonte - O próprio autor

A tabela 4 apresenta o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante o primeiro e o segundo *set* dos jogos das três categorias (deslocamentos ântero-posteriores). A análise estatística mostrou diferenças entre as categorias ($F(1908,2)=21,79$; $p < 0,01$). A estatística mostrou que existem diferenças entre o primeiro e segundo *set*, no entanto, somente quando comparando diferentes categorias ($F(1908,1)=5,19$; $p=0,02$). Também foi identificado diferenças entre os padrões de coordenação ($F(1908,3)=4,92$; $p < 0,01$) no qual a fase do

sacador apresentou uma maior frequência, seguida pela fase do devolvedor. Também foram verificadas interações significativas entre categoria e *sets* ($F(1908,2)=4,69$; $p < 0,01$) e categoria e padrão de coordenação ($F(1908,6)=2,68$; $p=0,01$). O teste *post hoc* revelou que os jogadores da competição ATP-250 e os juvenis apresentaram a maior permanência no padrão de coordenação no qual o jogador que devolve lidera a série temporal, do que os jogadores ATP-Future.

Tabela 4 - Percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação das três categorias durante os *rallies* do primeiro e segundo *set* dos jogos (deslocamentos ântero-posteriores). Os resultados foram apresentados em mediana e (intervalo interquartil).

	1º Set				2º Set			
	AF	EF	FS	FD	AF	EF	FS	FD
Juvenil	19,2 (16,2)	19,3 (16,0) ^#	32,1 (24,0)	21,3 (20,0)	20,1 (16,8)	21,3 (18,7) ^#	34,0 (21,8)	19,1 (19,3) †
Profissional Future	20,7 (19,4)	21,7 (21,4) ^#	30,7 (23,4)	20,1 (17,7)	21,0 (19,1)	17,2 (19,1) ^#	30,4 (27,7)	18,1 (24,0)
Profissional ATP 250	23,0 (17,3)	19,3 (14,2) ^#	21,8 (23,8)	26,9 (24,4) •	18,9 (17,5)	19,8 (20,9) ^#	22,1 (27,2)	26,7 (26,1)

Foram considerados quatro padrões de coordenação: anti fase (AF), em fase (EF), fase do sacador (FS) e fase do devolvedor (FD). Os símbolos indicam diferenças significantes ($p < 0,05$): # diferente de FS; † diferente da categoria juvenil; ^ diferente de AF; • diferente da categoria ATP-250.

Fonte - O próprio autor

A figura 15 apresenta as frequências predominantes das séries temporais dos deslocamentos médio-laterais realizados pelos jogadores das três diferentes competições, durante o primeiro e o segundo *set*. A análise estatística mostrou que existem diferenças entre as categorias ($F(43833,2)=40,27$; $p < 0,01$), mas não existem diferenças entre os *sets* ($F(43833,1)=0,15$; $p=0,69$). Não foi verificado diferenças significativas na interação entre os fatores categorias e *sets* ($F(43833,2)=0,99$; $p=0,3$). O *post hoc* revelou que a competição ATP-Future apresentou a maior dinâmica dos deslocamentos médio-laterais em relação às outras duas competições ($p < 0,05$).

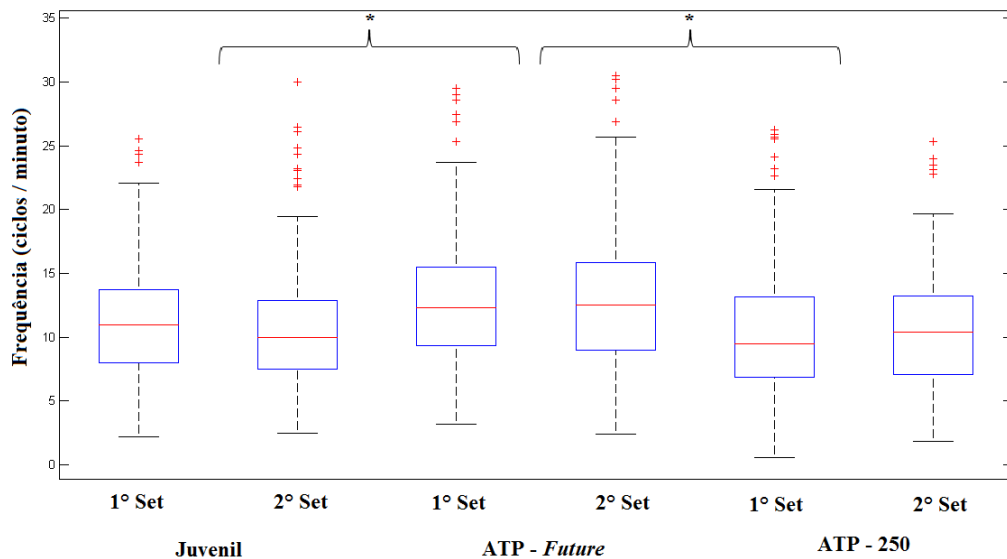


Figura 15 - Resultados da análise espectral da série temporal de deslocamentos médio-laterais dos jogadores das três categorias, durante o primeiro e segundo set (mediana e intervalo interquartil).

* diferente da categoria ATP-*Future* ($p < 0,05$).

Fonte - O próprio autor

4.1.6 Discussão

O objetivo deste estudo foi investigar a coordenação entre jogadores de tênis adversários durante jogos oficiais de tênis. Além disso, buscou-se analisar se existem diferenças entre os padrões de coordenação de jogadores de diferentes categorias e se a dinâmica de movimentação dos jogadores se altera ao longo do jogo. Tais informações são essenciais para a compreensão do desempenho tático de jogadores e pode auxiliar no desenvolvimento de programas de treinamento específicos e eficazes para os jogadores de tênis de alto nível e para a preparação de jovens jogadores que pretendem jogar profissionalmente. Os principais resultados encontrados neste estudo foram: (1) foram identificados dois novos tipos de interação entre os jogadores: o jogador que está sacando lidera a interação (fase do jogador que está sacando Figura 13-C) e quando a interação é liderada pelo jogador que está devolvendo (fase do jogador que esta devolvendo Figura 13-D); (2) os padrões de coordenação interpessoal mais frequentes durante os *rallies* foi “anti fase” e “fase do devolvedor” (3) a dinâmica de movimentação dos jogadores de diferentes categorias não se altera do primeiro para o segundo set do jogo; (4) durante os deslocamentos médios laterais os jogadores juvenis apresentam maior permanência no padrão de coordenação definida como fase do sacador, comparado

às outras duas categorias; (5) durante os deslocamentos ântero-posteriores os jogadores da competição juvenil e ATP-250 apresentaram maior permanência na fase do jogador que está devolvendo.

Neste estudo, a análise dos deslocamentos realizados pelos jogadores para realizar uma ação técnica e para retornar ao centro da quadra expressou as diferentes relações que podem ser estabelecidas entre os jogadores durante jogos oficiais. A técnica do *vector coding* proposta permitiu identificar quatro diferentes interações entre os jogadores adversários: anti fase, em fase, fase do sacador e fase do devolvedor. O padrão de coordenação interpessoal “anti fase” corresponde a ambos os jogadores se deslocando em direções opostas (Figura 13-A). Além disso, foi possível verificar que este padrão de coordenação corresponde aos jogadores trocando rebatidas na paralela. Neste padrão, os jogadores se encontram em lados opostos de suas respectivas quadras. Quando o primeiro jogador realiza uma ação técnica na paralela, o segundo inicia um deslocamento do centro da quadra em direção à bola, enquanto o primeiro está retornando para o centro da quadra. Se o segundo jogador realizar a rebatida na mesma direção (paralela), o primeiro jogador inicia um deslocamento a partir do centro da quadra em direção à bola, enquanto o segundo se desloca em direção ao centro da quadra.

O padrão de coordenação interpessoal “em fase” corresponde a ambos os jogadores se deslocando na mesma direção (Figura 13-B). Este padrão de coordenação foi encontrado quando os jogadores trocavam rebatidas na cruzada. Neste padrão de coordenação ambos os jogadores estão do lado direito ou esquerdo de suas respectivas quadras. Por exemplo, durante um *rally* de *forehand* (ações técnicas realizadas com a mão direita por tenistas destros), o primeiro jogador realiza uma ação técnica em direção ao lado direito da quadra do oponente que realiza um deslocamento na mesma direção para interceptar a bola. Enquanto o segundo jogador se desloca para rebater a bola o primeiro jogador se desloca na mesma direção para se posicionar no meio da quadra. Se o segundo jogador realizar uma rebatida na mesma direção (*forehand* na cruzada), o primeiro terá que se deslocar para o lado direito para chegar até a bola enquanto o segundo jogador realiza um deslocamento na mesma direção para retornar ao meio da quadra.

O terceiro padrão de coordenação encontrado neste estudo foi denominado “fase do sacador” porque corresponde a apenas um dos jogadores (jogador que saca) se movendo em quadra ou se deslocando e seu oponente (jogador que

devolve) o acompanhando com certa defasagem temporal (Figura 13-C). Este padrão de coordenação interpessoal aconteceu quando o jogador que devolveu o saque realizava ações técnicas para ambos os lados da quadra de modo que o jogador que sacou precisava se deslocar de um lado para outro, enquanto o oponente (jogador que devolveu) se mantinha parado ou se deslocando tardiamente. Por fim, o quarto padrão de coordenação interpessoal identificado foi denominado “fase do devolvedor” (Figura 13-D). Este padrão foi encontrado quando o jogador que sacou realizava ações técnicas para ambos os lados da quadra fazendo o oponente (jogador que devolveu o saque) se movimentar constantemente, enquanto o jogador que sacou permanece parado ou se movimentando tardiamente em relação ao seu oponente.

Os resultados deste estudo mostraram que ao longo do *rally* o padrão “fase do devolvedor” foi o mais prevalente durante os deslocamentos médio-laterais. Este comportamento pode estar relacionado à vantagem que o jogador que saca tem em relação ao jogador que devolve o saque. O jogador que saca tem a oportunidade de iniciar o comando do ponto, realizando saques mais potentes e bem direcionados, fazendo o jogador que está devolvendo se mover primeiro para devolver o saque (PEREIRA et al., 2016). Por esta razão, os deslocamentos realizados pelo jogador que devolve o saque podem estar acontecendo em resposta aos golpes realizados pelo jogador que saca.

O padrão de coordenação interpessoal “anti fase” foi o segundo mais frequente durante os *rallies*. Este resultado é muito interessante porque se esperava que o padrão “em fase”, que acontece quando os jogadores realizam trocas de bola na cruzada, apresentasse os maiores valores. Entende-se que os jogadores correm menos risco de errar quando realizam uma ação técnica na cruzada, tendo em vista que durante a trajetória na diagonal, a bola passa sobre o centro da rede que é mais baixo do que as extremidades, e percorre uma distância maior desde o contato com a raquete até tocar a quadra do adversário (ATP, 2016). Portanto, este resultado pode indicar que os jogadores das três categorias avaliadas neste estudo possuem uma alta eficiência técnica porque constantemente optam por golpes na paralela que são mais difíceis de realizar, pois a bola passa sobre o ponto mais alto da rede e deve percorrer uma distância menor até atingir a quadra do adversário. Este resultado é muito semelhante ao de Palut e Zanone (2005) no qual os jogos não

oficiais entre jogadores de tênis universitários também apresentaram maior frequência do padrão “anti fase”.

Um aspecto inovador deste estudo foi à comparação e descrição dos padrões de deslocamento entre jogadores das três principais categorias do tênis mundial. Esta análise pode fornecer informações acerca das demandas de cada competição e auxiliar na preparação dos atletas durante a transição entre estas categorias. De forma geral, as competições masculinas de tênis são regulamentadas pela Federação Internacional de Tênis (ITF), e os eventos variam entre torneios juvenis (até 18 anos ITF *junior circuit*), torneios de entrada no circuito profissional (torneios *Future* e torneios *Challenger*) até competições profissionais de elite (torneios ATP 250, ATP 500, *Masters* 1000, *Grand Slam* e os Jogos Olímpicos). Os torneios da série *Future* e *Challenger* são destinados aos tenistas sem classificação ou com baixas classificações, permitindo a estes jogadores a conquista dos primeiros pontos no *ranking* da Associação dos Tenistas Profissionais (ATP). Posteriormente, os jogadores que conseguem melhores posições no ranking podem competir em eventos maiores, que distribuem maior pontuação e premiação (FERNANDEZ-FERNANDEZ, 2006). No entanto, os jogadores têm enfrentado dificuldade em transitar entre estes níveis de competição, principalmente os jogadores juvenis, cujo índice de inserção no *ranking* profissional é expressivo (91%) apenas entre os vinte melhores do mundo (REID et al., 2014).

Baseado neste problema e em estudos prévios que demonstram diferenças técnicas e físicas entre categorias, a hipótese inicial deste estudo foi que tenistas de categorias distintas possuem diferentes comportamentos táticos. Esta hipótese foi confirmada porque os resultados revelaram que durante os deslocamentos laterais os atletas juvenis apresentam maior permanência no padrão “fase liderada pelo sacador”, do que nas outras duas competições profissionais. Desta forma, maiores valores no padrão de “fase do sacador” na categoria juvenil, comparados às outras categorias, indicam que o jogador que saca está se deslocando em resposta aos golpes realizados pelo jogador que está devolvendo.

Estes dados corroboram a ideia de que o jogador que está devolvendo faz o sacador se deslocar em quadra (sentido medio-lateral). Estes resultados podem estar associados à proficiência do saque dos jogadores juvenis, que permite que o adversário realize uma devolução veloz e bem direcionada forçando o sacador a se deslocar, e este comportamento se repete ao longo do *rally*. É esperado que o atleta

que saca tenha uma vantagem sobre seu oponente, porque o primeiro tem a possibilidade de iniciar o comando do ponto, realizando saques velozes e bem direcionados, fazendo o jogador que está devolvendo se mover primeiro para retornar o saque. Em um estudo recente foi reportado que tenistas profissionais com melhor classificação no *ranking* realizam mais *aces* (saques indefensáveis), saques com maior velocidade, possuem maior acurácia e apresentam um maior percentual de pontos vencidos com o primeiro e com o segundo saque do que jogadores com classificação inferior no *ranking* (WHITESIDE; BANE; REID, 2015). Baseado nestas informações é provável que os jogadores profissionais de elite (ATP-250) saquem com maior eficiência e por este motivo tenham sido menos deslocados durante os *rallies* que estavam sacando.

Além disso, os jogadores profissionais ATP-250 apresentaram maior permanência no padrão fase do devolvedor do que as outras duas categorias durante os deslocamentos ântero-posteriores. Portanto, os jogadores profissionais além de serem menos deslocados durante os *rallies* que estão sacando ainda conseguem fazer o jogador que está devolvendo se deslocar mais em quadra. Este resultado confirma a hipótese inicial deste estudo, e pode indicar que os jogadores profissionais possuem maior eficiência técnica que os possibilita colocar o adversário em situações menos favoráveis no qual o segundo precisa realizar as ações técnicas em deslocamento.

No tênis a identificação das ações ofensivas e defensivas não são bem definidas atualmente (MARTÍNEZ-GALLEGO et al., 2013). No entanto, os dois novos padrões de coordenação interpessoal identificados neste estudo (fase liderada pelo sacador e fase liderada pelo devolvedor), podem ser indicativos de que um dos jogadores está fazendo o outro se movimentar em quadra em uma configuração de ataque e defesa. Neste ponto parece que os jogadores profissionais de elite (ATP-250) conseguem ser mais ofensivos do que os jogadores profissionais com baixas classificações no *ranking* (ATP-Future) e principalmente do que os jogadores juvenis, porque conseguem ser menos deslocados quando sacam e, além disso, fazem com que o jogador que está se devolvendo se desloque. Por outro lado, parece que os jogadores da categoria juvenil apresentam um comportamento defensivo posto que quando sacam sofrem deslocamentos causados pelas ações técnicas do devolvedor. Portanto, sugere-se que os técnicos deveriam investir em estratégias treinamento para evitar que o jogador seja menos atacado durante os

rallies que estão sacando, tais como, melhorar a velocidade, a direção e a acurácia do saque.

Neste estudo apresentaram-se as frequências predominantes das séries temporais dos deslocamentos realizados pelos jogadores das três diferentes categorias durante o primeiro e segundo *set* dos jogos (Figura 14). Foi realizada uma análise espectral dos deslocamentos realizados no sentido médio-lateral (coordenada *y*) para mostrar a distribuição da intensidade das flutuações da série temporal de deslocamento no domínio da frequência. Os deslocamentos realizados no sentido ântero-posterior não foram analisados, pois apesar de possuírem maior magnitude, eles acontecem com uma frequência muito menor durante o jogo (PEREIRA et al., 2016). Portanto, analisar os deslocamentos médio-laterais no domínio da frequência pode representar a velocidade e a capacidade que jogadores de diferentes categorias apresentam em ocupar espaços vazios em quadra após um deslocamento prévio.

Os resultados da análise espectral confirmaram parcialmente a hipótese inicial deste estudo, uma vez que os jogadores da competição juvenil apresentaram uma dinâmica de deslocamento muito menor do que os jogadores profissionais da competição *ATP-Future*. No entanto, os jogadores da competição *ATP-250*, categoria na qual se esperava encontrar os maiores valores, apresentaram menores valores de frequência comparado aos profissionais da *ATP-Future*. Estes dados indicam que a competição profissional *ATP-Future* apresenta uma maior demanda física, de forma que os jogadores precisam se deslocar mais rápido e retomar o meio da quadra para evitar que o adversário realize uma bola indefensável. Os maiores valores encontrados durante os jogos profissionais podem indicar que estes atletas possuem grande eficiência técnica que os possibilita realizar golpes bem direcionados forçando o adversário a se deslocar constantemente. Em um estudo prévio, Whiteside e colaboradores (WHITESIDE; BANE; REID, 2015) mostraram que não existe diferença entre a velocidade dos golpes realizados do fundo de quadra por jogadores profissionais com diferente classificação no *ranking* e sugerem que a variável que diferencia estes jogadores é a acurácia e/ou direção. Portanto, técnicos devem se atentar à capacidade de movimentação dos atletas juvenis durante o processo de transição para o profissionalismo para que os mesmos consigam se adaptar às demandas das competições profissionais. Além disso, aconselha-se que

técnicos desenvolvam a habilidade dos jogadores em mudar a direção das rebatidas para deslocar o adversário em quadra.

Entretanto, surpreendentemente, a competição ATP-250 apresentou as menores frequências de deslocamento. Esperava-se que este nível de competição apresentasse a maior demanda de deslocamento, com base em estudos prévios que demonstram que competições de alto nível apresentam maiores demandas físicas (FERNANDEZ-FERNADEZ et al., 2009; HOPPE; BAUMGART; FREIWALD, 2015). Provavelmente, estes resultados sejam explicados pela capacidade que os jogadores mais experientes possuem de antecipar onde uma ação técnica será realizada, antes que a mesma ocorra, e desta forma não precisam retornar todas às vezes para o meio da quadra o mais rápido possível (WILLIAMS et al., 2002).

A frequência predominante das series temporais de deslocamento dos jogadores não reduziu do primeiro para o segundo set do jogo e mostra que jogadores de tênis de diferentes níveis não apresentam redução na capacidade de se deslocar ao longo do jogo. Este resultado concorda com o estudo de Pereira e colaboradores (PEREIRA et al., 2016) que reportou que jogadores profissionais de uma competição ATP-*Future* não reduzem o desempenho físico ao longo do jogo, de forma que as distâncias percorridas e, principalmente, as velocidades atingidas pelos jogadores, não se alteram ao longo do jogo. Também era esperado que conforme o desempenho físico e a velocidade de deslocamento reduzissem ao longo do jogo, que os jogadores adotassem novos comportamentos que pudessem interferir nos padrões de coordenação. Portanto é possível supor que tenistas de diferentes níveis de competição não sofrem redução de desempenho físico e isto permite que eles não precisem alterar a tática adotada para se poupar fisicamente.

4.1.7 Conclusão

O presente estudo aplicou a técnica do *vector coding* e análise espectral para investigar os padrões de deslocamento de jogadores de diferentes categorias e como estas variáveis se comportam ao longo do jogo. A técnica do *vector coding* foi utilizada para medir os padrões de coordenação interpessoal e permitiu identificar interações nunca reportadas durante jogos de tênis (fase liderada pelo sacador e fase liderada pelo devolvedor). Concluiu-se que os jogadores juvenis apresentam maior permanência no padrão “fase do sacador” durante os movimentos médio-

laterais e ântero-posteriores. Já os jogadores profissionais apresentam maior permanência na fase do devolvedor. Os resultados mostraram que os padrões de coordenação entre os jogadores não se alteram do primeiro para o segundo *set*. A análise espectral dos deslocamentos realizados pelos jogadores mostrou que os jogadores profissionais *ATP-Future* se deslocam de forma mais intensa pois os jogadores precisam se deslocar com maior velocidade, comparado aos juvenis. A dinâmica de deslocamento também não se alterou ao longo do jogo. Os resultados deste estudo forneceram informações valiosas aos treinadores a cerca dos fatores táticos que diferenciam jogadores de diferentes níveis de competição e permite que os jogadores juvenis sejam preparados de forma mais específica às demandas do profissionalismo.

4.2 Análise dos padrões de coordenação interpessoal de tenistas de diferentes categorias: Influência do saque e ações técnicas indefensáveis sobre a dinâmica do jogo.

4.2.1 Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar os padrões de coordenação interpessoal de jogadores de três diferentes categorias (Juvenil, ATP – *Future* e ATP – 250) durante jogos oficiais de tênis. Especificamente buscou-se analisar: (1) se jogadores de diferentes níveis de competição apresentam diferentes padrões de coordenação interpessoal quando iniciam a disputa do ponto com o primeiro e com o segundo saque; (2) se jogadores de diferentes níveis de competição apresentam diferentes padrões de coordenação quando o *rally* termina devido a uma ação indefensável ou um erro; (3) com qual frequência jogadores de diferentes categorias trocam de padrão de coordenação durante os *rallies*. Para isso as trajetórias dos jogadores (n = 28) foram obtidas utilizando um sistema de rastreamento automático de atletas. A técnica do *vector coding* foi aplicada para identificar os padrões de coordenação entre os deslocamentos laterais dos jogadores. Os resultados mostraram que não existe diferença nos padrões de coordenação para os *rallies* que se iniciaram com o primeiro e o segundo saque, independente da categoria. No entanto, foi verificado que, para todas as categorias, os jogadores apresentaram maior permanência no padrão “anti fase” quando o desfecho do *rally* foi um erro. Por fim, não foi verificado diferenças na quantidade de trocas de padrão de coordenação entre os *rallies* das três categorias. Pôde-se concluir com este estudo que as categorias analisadas apresentam diferentes comportamentos táticos que devem ser considerados para o aprimoramento de cada categoria e para a transição entre elas.

Palavras chave: Saque. *Winner*. Coordenação interpessoal. Categorias.

4.2.2 Abstract

The purpose of this study was to analyze the interpersonal coordination patterns of three different categories of players (Youth, *ATP-Future* and ATP-250) during official tennis matches. Specifically sought to analyze: (1) if players of different levels of competition present different interpersonal coordination patterns when they start the rally with the first and the second serve; (2) if players of different levels of competition present different coordination patterns when the rally ends due to an winner action or

an error; (3) how often players of different categories shift of coordination pattern during the rallies. For that, the trajectories of the players (n = 28) were obtained using an automatic tracking system for athletes. The vector coding technique was applied to identify the patterns of coordination between the lateral movements of the players. The results showed no difference in coordination patterns for rallies which began with the first and second serve, regardless of the category. However, it was found that, for all categories, players showed bigger permanency on "anti phase" pattern, when the rally's outcome was an error. Finally, it was not verified differences in the amount of coordination patterns exchange during the rallies of the three categories. It was concluded from this study that the three different categories analyzed presented different tactical behaviors that should be considered for the improvement of each category and for the transition among them.

Keywords: Serve. Winner. Interpersonal coordination. Categories.

4.2.3 Introdução

Uma quantidade significativa de pesquisas tem sido realizada utilizando ferramentas que permitem avaliar jogadores de tênis durante partidas oficiais fornecendo informações detalhadas sobre o desempenho dos jogadores e possibilitando que o treinamento seja aprimorado (FERNANDEZ-FERNADEZ et al., 2009; MURIAS et al., 2007; PEREIRA et al., 2016). Muitas destas pesquisas têm analisado variáveis relacionadas ao desempenho físico, tais como as distâncias percorridas e as velocidades atingidas pelos jogadores (FERNANDEZ-FERNADEZ et al., 2009; MURIAS et al., 2007; PEREIRA et al., 2016; WHITESIDE; BANE; REID, 2015). Uma parcela destes estudos foi realizada utilizando sistemas de rastreamento de atletas que permitem identificar a posição dos jogadores em função do tempo, ao longo de todo o jogo (FERNANDEZ-FERNADEZ et al., 2009; MARTÍNEZ-GALLEGO et al., 2013; PEREIRA et al., 2016). No entanto, identificar a posição e a relação temporal entre os jogadores pode fornecer informações adicionais sobre tática e padrões de jogo.

No tênis, a relação espaço-temporal entre os jogadores tem sido estudada através dos movimentos oscilatórios realizados em relação à marca central da linha de fundo da quadra, seja para rebater a bola ou para defender um espaço na quadra (CARVALHO et al., 2013; LAMES, 2006; PALUT; ZANONE, 2005). Em um estudo

pioneiro, Palut e Zanone (2005) utilizaram a transformada de Hilbert para obter a fase relativa entre as séries temporais dos deslocamentos médio-laterais realizados por jogadores universitários, durante jogos não oficiais. Os resultados mostraram que os jogadores adotaram dois padrões de coordenação interpessoal durante os jogos, “em fase” e “anti fase”, nos quais os jogadores se deslocam na mesma direção e em direções opostas, respectivamente. Além disso, durante os *rallies* do fundo da quadra estes padrões de coordenação apresentaram duas evoluções: ou eles se mantiveram estáveis “em fase” ou em “anti fase”, ou exibiram transições entre estes dois modos.

Em um estudo mais recente, os padrões de coordenação interpessoal durante 18 *rallies* entre mulheres e 12 entre homens selecionados dos torneios Aberto da França e Aberto da Austrália foram apresentados (LAMES, 2006). A transformada de Hilbert foi utilizada para calcular a fase relativa entre as séries temporais dos deslocamentos médio-laterais dos atletas. Foi verificado que ao fim dos *rallies* (causado por um golpe indefensável ou um erro) havia uma transição do padrão “em fase” para “anti fase”. No entanto, mesmo durante os *rallies* do fundo da quadra os jogadores também se movimentam no sentido ântero-posterior e, por este motivo, os autores também calcularam a fase relativa com os dados de velocidade dos atletas. Os resultados mostraram que os *rallies* apresentam dominância do padrão “em fase”. Isto é devido ao fato de que os jogadores alternam entre dois estados: baixa velocidade enquanto um realiza a ação técnica e o outro se posiciona para sua próxima rebatida, alta velocidade enquanto um jogador se aproxima da bola para sua próxima rebatida e o outro retorna de sua rebatida para uma posição neutra em quadra.

Em outro estudo, foi desenvolvido um método denominado índice de deslocamento direcionado à meta (ou índice GDD m.m) para capturar a relação espaço-temporal entre os jogadores durante jogos oficiais (CARVALHO et al., 2014). Este parâmetro é definido ao longo de tempo pelo produto das distâncias de ambos os jogadores a linha central da quadra e ao centro da rede. Os resultados mostraram que existem dois padrões de interação interpessoal durante o jogo: *rallies* na paralela (um jogador possui um índice positivo e o outro negativo) e na cruzada (ambos os jogadores possuem índices positivos ou negativos). Além disso, os autores reportaram duas maneiras para realizar uma transição entre os padrões:

variação na paralela (transição de um *rally* na cruzada para um *rally* na paralela) e abertura de ângulo (gerar um deslocamento lateral no adversário).

Embora os estudos prévios tenham descrito importantes interações entre os jogadores em ambiente competitivo que contribuíram para a compreensão do comportamento tático dos atletas, ainda existem alguns pontos que ainda não foram analisados e merecem uma investigação aprofundada. De acordo com Palut e Zanone (2005), no tênis, a competição entre dois jogadores faz com que cada jogador tente constantemente quebrar uma coordenação estável com o seu oponente com o objetivo de ganhar uma vantagem. Enquanto um jogador tenta perturbar a estabilidade de seus deslocamentos relativos, o outro jogador tenderia a restaurá-lo e, neste caso, um atraso na série temporal de um dos jogadores em relação ao outro pode significar que um jogador “controla” o comportamento do outro jogador, em uma configuração de ataque e defesa. Por outro lado, o jogador que é “controlado” deve resistir à superioridade tática, técnica e/ou física de seu oponente e tentar reverter à condição desfavorável, a ponto de assumir o domínio das ações e assim induzir o comportamento do adversário. Este relacionamento de atraso-liderança pode resultar em vitória para o jogador que controla/está atrasado (MCGARRY et al., 2002). A partir desta perspectiva, o atraso de fase pode ser uma ferramenta muito útil para investigar o domínio de um jogador sobre o outro durante o jogo (PALUT; ZANONE, 2005). Assim, a técnica do *vector coding* pode fornecer informações complementares sobre a interação dos jogadores em ambiente competitivo uma vez que permite, além da identificação dos padrões de coordenação interpessoal “em fase” e “anti fase”, determinar se há atrasos entre as séries temporais dos oponentes (VAN EMMERIK; MILLER; HAMILL, 2014).

Estudos recentes têm mostrado que jogadores de diferentes níveis de proficiência e tempo de prática apresentam diferentes capacidades de deslocamento (FERNANDEZ-FERNADEZ et al., 2009; HOPPE; BAUMGART; FREIWALD, 2015). Além disso, as habilidades técnicas também mudam de acordo com a categoria, de modo que jogadores mais experientes sacam com maior velocidade do que os aspirantes (SÖGÜT, 2016). Um saque veloz pode colocar o sacador em uma situação favorável, pois o mesmo tem a possibilidade de iniciar o controle do ponto, fazendo o adversário (jogador que devolveu) se deslocar para devolvê-lo (PEREIRA et al., 2016). Entretanto, as regras do jogo permitem ao jogador duas tentativas de saque para iniciar o ponto. Por esta razão os jogadores optam em realizar um saque

mais veloz, como descrito acima, na primeira tentativa. Se a primeira falha, o jogador opta por realizar um saque mais lento para evitar cometer mais um erro e, conseqüentemente, perder o ponto. Portanto, uma hipótese interessante do ponto de vista prático é a relação dos padrões de coordenação interpessoal com a condição inicial do *rally* (1° ou 2° saque). Espera-se encontrar que o primeiro saque proporcione, ao sacador, uma vantagem porque permite que o mesmo inicie o ponto com uma bola veloz e bem direcionada fazendo o devolvedor deslocar para devolver, e este comportamento se repita ao longo de todo o *rally*. Por outro lado, quando se trata do segundo saque, espera-se que o oposto aconteça. O jogador que devolve o saque consiga pressionar o adversário e desloca-lo em quadra.

Outro aspecto interessante a ser estudado sobre o jogo é a relação entre os padrões de coordenação e os desfechos do *rally* (golpe indefensável ou erro). Pode-se supor que em determinados momentos do jogo os atletas optam por utilizar padrões de jogo menos arriscados, como por exemplo, longas trocas de bola na cruzada, com o objetivo de aguardar até que o adversário cometa um erro. Entretanto, existem situações que o jogador tenta quebrar a estabilidade do jogo para gerar “pressão” sobre o adversário, utilizando o direcionamento e velocidade da bola para realizar uma ação técnica indefensável e, conseqüentemente, vencer o ponto. Portanto, identificar os padrões de coordenação que predominam durante os *rallies* que terminaram devido a um erro ou um golpe indefensável, pode fornecer importantes informações sobre a dinâmica do jogo.

Ainda em relação ao conceito de instabilidade e estabilidade dos padrões de coordenação e do jogo, identificar a frequência com que os jogadores de diferentes categorias trocam de padrão de coordenação durante os *rallies* pode fornecer informações complementares sobre a tática de jogo utilizada por jogadores de diferentes categorias. Baixa frequência de trocas de padrão durante o *rally* indica que o jogo permanece estável e os jogadores estão aguardando o erro do adversário, ou aguardando a melhor oportunidade para surpreender o adversário. Por outro lado, alta frequência de troca de padrão pode indicar um estilo de jogo mais ofensivo, no qual os jogadores constantemente mudam o padrão de jogo para forçar o adversário a errar ou criar oportunidade para realizar uma ação indefensável. Desta forma, espera-se que jogadores profissionais apresentem maior taxa de trocas de padrão de coordenação do que jogadores juvenis.

Portanto objetivo deste estudo foi analisar os padrões de coordenação interpessoal de jogadores de tênis de diferentes níveis de competição durante situações específicas de jogo: (a) *rallies* que terminaram em *winner* e erro; (b) *rallies* que iniciaram com o 1° e 2° saque; (c) quantidade de trocas de padrão de coordenação. Baseado nas características do jogo espera-se encontrar que o saque influencie nos padrões de coordenação interpessoal de forma que o sacador consiga deslocar o adversário (fase do devolvedor) em relação ao segundo. Também espera-se que os *rallies* que terminam em *winner* apresentem maior frequência do padrão fase “fase do sacador” ou “fase do devolvedor” e que os jogadores profissionais troquem de padrão de coordenação interpessoal com maior frequência.

4.2.4 Métodos

O Comitê de Ética da Universidade Estadual de Londrina aprovou esta pesquisa (protocolo 171.683). Este estudo foi uma análise transversal e descritiva de três competições de tênis. Todos os jogadores analisados (n=28) nesta pesquisa eram do gênero masculino e destros. Foram analisados cinco jogos de um campeonato mundial organizado pela ITF (*International Tennis Federation*) da categoria 18 anos, quatro jogos de um campeonato profissional *Future* organizado pela ATP (*Association of tennis professionals*) e cinco jogos de um campeonato profissional ATP-250. Todos os jogos analisados foram realizados em quadra de saibro.

Os jogos foram filmados de locais altos dos ginásios por duas câmeras digitais com frequência de aquisição de (30 Hz). Cada câmera enquadrava aproximadamente metade da quadra, com regiões de sobreposição entre elas. Após os jogos, as imagens foram transferidas para computadores e sincronizadas com a identificação de um evento que ocorreu nesta região de sobreposição, tal como a bola tocando o solo. As posições dos jogadores em função do tempo foram obtidas por meio dos procedimentos de rastreamento automático do sistema DVídeo (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a, 2006b). As trajetórias dos jogadores foram suavizadas utilizando um filtro *butterworth* passa baixa de terceira ordem com frequência de corte de 0,4 Hz. Por fim, as ações técnicas e eventos do jogo também foram registradas utilizando o software DVídeo.

Para analisar a coordenação interpessoal entre os deslocamentos laterais dos jogadores, foi utilizada a técnica do *vector coding* (SPARROW et al., 1987). Inicialmente, foi construído um diagrama de deslocamento relativo das duas series temporais (referentes a cada jogador), consistindo em S_1 no eixo x, representando os valores da série temporal do jogador que está sacando, e S_2 no eixo y, representando a serie temporal do jogador que está devolvendo. O acoplamento entre S_1 e S_2 é definido pela técnica do *vector coding* e foi quantificado por meio do ângulo de acoplamento (θ_{VC}) entre duas coordenadas consecutivas entre series temporais, conforme a seguir:

$$\theta_{VC}(l) = \tan^{-1} \left| \frac{S_2(l+1) - S_2(l)}{S_1(l+1) - S_1(l)} \right|, l = 1, 2, \dots, n - 1$$

(i) indica o ponto dentro da serie temporal e (n) o número total de amostras das séries temporais. A partir do ângulo de acoplamento, quatro padrões de coordenação foram identificados: “anti fase”, “em fase”, fase relativa ao jogador que está sacando e fase relativa ao jogador que está devolvendo. Os quatro padrões são encontrados na vertical, horizontal e nas diagonais a cada 45° . Quando os ângulos acoplados têm valor 45° e 225° , o acoplamento encontra-se “em fase”. “em fase” significa que ambos os jogadores estão se movendo na mesma direção simultaneamente, por exemplo, ambos os jogadores estão se movendo para a direita ou para a esquerda. Por outro lado, 135° e 315° a coordenação está em “anti fase”. Anti fase significa que os jogadores estão se movendo simultaneamente em direções opostas, por exemplo, quando um jogador está se movendo para a direita o outro se desloca para a esquerda. Quando os ângulos estão na horizontal (0° ou 180°) significa que somente o jogador que está sacando está se movendo em quadra, configurando assim a fase do jogador que está sacando. Quando os valores dos ângulos de acoplamento encontram-se na vertical (90° ou 270°), significa que somente o jogador que está devolvendo está se movendo em quadra, configurando assim a fase do jogador que está devolvendo.

Estes padrões foram adaptados de um estudo prévio que descreveu a coordenação da distribuição de jogadores de futebol em campo (MOURA et al., 2016). Os ângulos de acoplamento foram classificados em um dos quatro padrões de coordenação. Como é raro que os ângulos de acoplamento estejam precisamente na vertical, horizontal ou diagonal de 45° , o círculo trigonométrico foi dividido em faixas de 45° (Tabela 2). Então, para cada *rally* foi criado histogramas e

calculada a frequência relativa dos ângulos de acoplamento em cada um dos quatro padrões de coordenação.

4.2.4.1 Variáveis

Todas as variáveis foram calculadas para 1121 *rallies* considerando apenas o primeiro e segundo *set*. Os *rallies* analisados neste estudo foram aqueles nos quais aconteceram pelo menos três ações técnicas (um saque válido, uma devolução correta e uma terceira ação técnica) (PEREIRA et al., 2016). As frequências relativas ao tempo de *rally* em padrões de coordenação foram calculados para os *rallies* que iniciaram com o primeiro saque e para aqueles que iniciaram com o segundo saque.

Os padrões de coordenação também foram analisados para os *rallies* que terminaram devido a um golpe indefensável (tratado neste artigo como *winner*) ou a um erro, realizados pelo jogador que estava sacando ou o que estava devolvendo. Foi considerado *winner* o ponto no qual um dos jogadores realizou uma ação técnica qualquer (*forehand*, *backhand*, *slice* etc), com exceção do saque, e o adversário não conseguiu chegar a tempo até a bola para realizar a rebatida. Por outro lado foi considerado um erro aquela ação técnica realizada por um dos jogadores na qual a bola atingiu a rede ou caiu fora dos limites da quadra.

Por fim, para calcular a quantidade de trocas de padrão de coordenação que ocorreram durante os *rallies* dos jogos, foram utilizadas as faixas explicadas na tabela 2. Foi considerado troca de padrão quando o ângulo de acoplamento que está em um dado padrão de coordenação em um dado instante de tempo (ex: em fase) muda para um novo padrão no instante de tempo seguinte (ex: fase do jogador que está sacando). A quantidade de trocas de padrão de coordenação foi armazenada para cada *rally* do jogo e normalizada pelo tempo de *rally*.

4.2.4.2 Análises estatísticas

Antes de todas as análises os dados foram testados quanto a sua normalidade utilizando o teste de Lilliefors. A homogeneidade das variâncias foi testada utilizando o teste Levene. Como em todas as situações os pressupostos de normalidade e homogeneidade não foram assumidos foi realizada a transformação de Box-Cox para eliminar tais anomalias. Uma ANOVA *three-way* foi utilizada para comparar o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação

para os *rallies* que iniciaram com o primeiro ou com o segundo saque, de acordo com três fatores: padrão de coordenação (com quatro níveis: “em fase”, “anti fase”, fase do sacador e fase do devolvedor), saque que deu início ao *rally* (com dois níveis: primeiro ou segundo saque) e categorias (com três níveis: junior, profissional *Future* e profissional ATP-250).

Para comparar o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* que terminaram devido a um erro ou a uma bola indefensável, foi utilizada uma ANOVA *four-way* de acordo com quatro fatores: padrão de coordenação, desfecho do *rally* (com dois níveis: erro e *winner*), qual jogador realizou a ação (jogador que sacou ou o jogador que devolveu) e categorias.

Para comparar a quantidade de trocas de padrão de coordenação durante os *rallies* das três categorias foi aplicada uma ANOVA *one-way*. Em todas as análises, quando diferenças foram encontradas, o *post hoc* de Tukey foi utilizado. O nível de significância $p < 0.05$ foi adotado em todas as análises. As variáveis estão expressas como mediana e intervalo interquartil.

4.2.5 Resultados

A tabela 5 apresenta o percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação interpessoal durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque, nas três diferentes categorias. A análise estatística mostrou que existem diferenças entre as categorias ($F(1694,2)=17,06$; $p < 0,01$). Não foram encontradas diferenças entre os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque ($F(1694,1)=1,17$; $p=0,27$). No entanto, a análise estatística mostrou haver diferenças entre os padrões de coordenação ($F(1694,3)=31,15$; $p < 0,01$), com maiores frequências dos padrões “fase do devolvedor” e “anti fase”. A análise estatística mostrou não haver diferenças na interação entre os fatores categorias e saque ($F(1694,2)=2,08$; $p=0,1$), porém foi observado diferença significativa entre categoria e padrão de coordenação ($F(1694,6)=4,29$; $p < 0,01$). Por fim, não houve diferença na interação entre *set* e padrões de coordenação não ($F(1649,3)=0,6$; $p=0,6$). O *post hoc* revelou que os jogadores juvenis possuem maior permanência no padrão “em fase” para os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque, do que os jogadores a competição *ATP-Future*. Além disso, os jogadores juvenis apresentaram maior permanência no padrão fase do sacador para os *rallies*

que iniciaram com o segundo saque do que os jogadores da competição ATP-*Future*.

Tabela 5 - Percentual do tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque.

	1° Saque				2° Saque			
	Padrões de coordenação							
	Anti fase	Em fase	Fase do sacador	Fase do devolvedor	Anti fase	Em fase	Fase do sacador	Fase do devolvedor
Juvenil	19,6 (16,6) •#	18,5 (17,5) ✕	13,5 (15,9)	35,6 (25,5) •#	21,8 (21,0) •#	16,8 (17,3) ✕	17,4 (16,3) ✕	35,8 (26,4) •#
Professional <i>Future</i>	20,8 (18,7) •#	16,4 (20,7)	12,2 (16,2)	40,5 (29,3) •#	19,8 (19,0) •#	18,0 (23,3)	15,4 (18,3)	34,0 (32,0) •#
Professional ATP 250	22,3 (19,3) •#	17,0 (17,6)	14,0 (16,0)	38,1 (25,0) •#	24,0 (18,1) •#	19,2 (19,2) ✕	14,3 (16,4)	32,8 (21,2) •#

Foram considerados quatro padrões de coordenação: anti fase (AF), “em fase” (EF), fase do sacador (FS) e fase do devolvedor (FD). Os símbolos indicam diferenças significativas ($p < 0,05$): ✕ diferente da categoria Pro – *Future*; # diferente da Fase do sacador; • diferente do padrão “em fase”.

Fonte - O próprio autor

A tabela 6 apresenta o percentual de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* que terminaram devido a um erro ou a um *winner*. A análise estatística mostrou haver diferenças entre as categorias ($F(61319,2)=55,17$; $p < 0,01$). Diferenças entre os desfechos do *rally* foram encontradas ($F(61319,1)=123,6$; $p < 0,01$), de forma que todas as categorias apresentaram maior permanência no padrão “anti fase” quando um erro foi realizado. Também detectou-se diferenças nas condições de saque ($F(61319,1)=28,51$; $p < 0,01$) na qual as categorias ATP – *Future* e ATP-250 apresentaram maior “fase do devolvedor” quando o devolvedor cometeu um erro. O mesmo comportamento foi observado quando o sacador realizou um *winner*. Apenas a categoria juvenil apresentou maior fase do devolvedor quando o sacador cometeu um erro. Por fim, foi detectado diferença entre os padrões de coordenação ($F(61319,3)=741,12$; $p < 0,001$) com maior frequência do padrão “anti fase” e “fase do devolvedor”.

Tabela 6 - Percentual de tempo de permanência em cada padrão de coordenação durante os *rallies* que terminaram em golpe indefensável (*winner*) e erro, realizado pelo jogador que sacou e pelo que devolveu o saque.

Categoria	jogador	Padrões de Coordenação							
		Anti fase		Em fase		Fase do sacador		Fase do devolvedor	
		W	E	W	E	W	E	W	E
Juvenil	Jogador que sacou	17,4 (20,0)	19,6 (16,4) ↵	18,7 (19,3)	17,0 (14,0)	8,6 (11,7)	18,4 (15,0)	42,3 (25,7)	35,1 (24,6)
	Jogador que devolveu	18,3 (13,1) √	23,1 (16,2) ↵	20,7 (19,0)	17,0 (16,5)	20,0 (17,6)	17,0 (18,7)	30,2 (22,0) √	33,3 (24,3) √
ATP-Future	Jogador que sacou	18,5 (23,2)	21,0 (18,7) ↵	22,0 (22,3) *	18,0 (21,2) ↵	10,0 (14,0) *	20,0 (15,7) ↵	40,2 (34,4)	37,5 (24,4) ↵
	Jogador que devolveu	19,5 (19,0) *	20,2 (22,6) ↵*	13,5 (15,0) *	15,8 (23,1)	16,0 (15,0) *	9,4 (17,2)	37,0 (31,5) √	43,1 (36,3) √
ATP-250	Jogador que sacou	21,7 (17,2) #	24,4 (15,5) ↵#	12,4 (19,7) #	21,1 (15,3) #	9,0 (13,8) #	17,7 (12,4)	44,4 (29,8) #	32,0 (16,6) #*
	Jogador que devolveu	21,3 (17,5) #	24,4 (18,5) ↵#	18,5 (16,6) #	18,1 (17,8)	22,7 (26,3)	16,3 (17,3)	27,0 (25,4) √ #*	35,3 (17,6) √ #*

W = *winner*; E = erro. Os símbolos indicam diferenças significativas ($p < 0,05$): # diferente de ATP – Future; * diferente de juvenil; √ diferente de sacando; ↵ diferente de *winner*.

Fonte - O próprio autor

A figura 15 apresenta a quantidade de trocas de padrão de coordenação normalizadas pelo tempo de duração dos *rallies*. A análise estatística mostrou não haver diferença no número de trocas de padrão nas três categorias analisadas ($F(180,2)=0,53$; $p=0,58$).

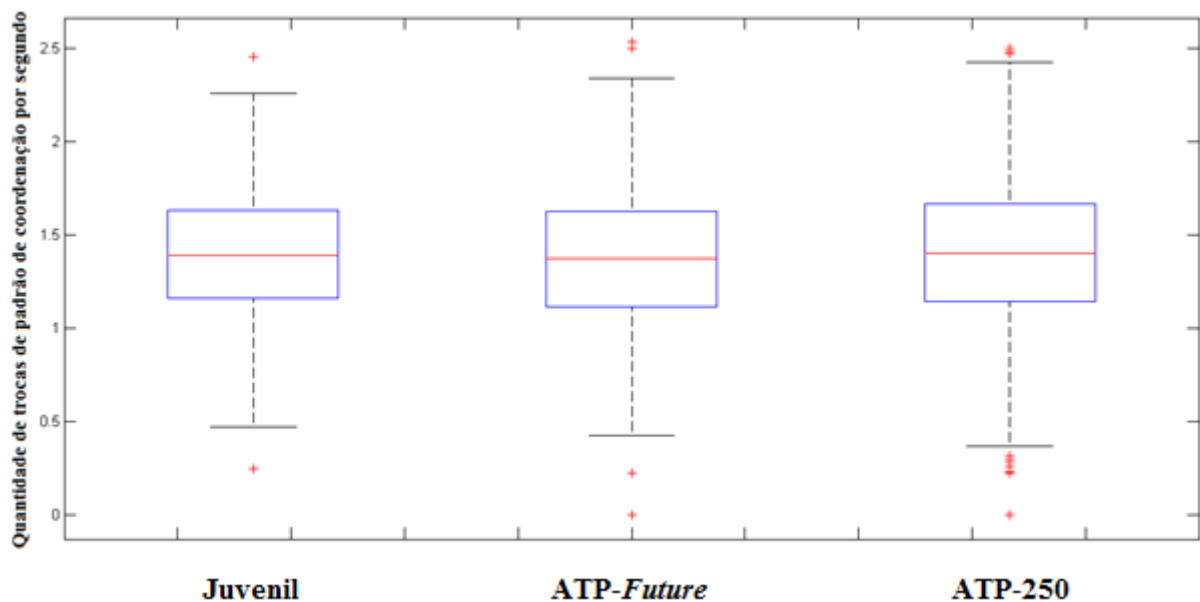


Figura 16 - Quantidade de trocas de padrão de coordenação por segundo dos *rallies* das três categorias.

Fonte - O próprio autor

4.2.6 Discussão

O objetivo do presente estudo foi analisar os padrões de coordenação entre jogadores de tênis de diferentes categorias durante situações específicas de jogo. Assim, buscou-se comparar os padrões de coordenação durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque, e durante os *rallies* que terminaram devido a um erro e devido a um golpe indefensável (*winner*). Além disso, também se analisou a quantidade de trocas de padrão de coordenação durante os *rallies* das três categorias. Os resultados deste estudo mostraram que: (1) não existem diferenças nos padrões de coordenação entre os *rallies* que iniciaram com o primeiro e os que iniciaram com o segundo saque; (2) não existe diferença entre a quantidade de trocas de padrão de coordenação durante os *rallies* das três categorias; (3) Nos *rallies* com desfecho em erro houve maior permanência do padrão “anti fase”, comparados aos *rallies* com desfecho em *winner*, independente da categoria; (4) tanto os *rallies* que terminaram em erro quanto os que tiveram desfecho com golpe indefensável do sacador, apresentaram maior permanência no padrão “fase do devolvedor”.

Os padrões de coordenação foram medidos e comparados durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro saque, e os que iniciaram com o segundo saque. Durante o jogo, o tenista tem duas chances para efetuar o saque e, por este motivo, os jogadores optam por realizar um saque mais veloz na primeira tentativa (WHITESIDE; BANE e REID, 2015), para tentar colocar o devolvedor em uma situação desfavorável. Se o jogador erra a primeira tentativa de saque, o mesmo opta por realizar um saque mais lento para evitar cometer mais um erro, e por esta razão, perder o ponto. Portanto, acertar o primeiro saque gera uma vantagem para o sacador porque o oponente precisa devolver um saque muito veloz, da melhor maneira possível, para que não seja atacado na próxima rebatida. Por outro lado, o segundo saque é mais lento do que o primeiro, e permite que o devolvedor tenha tempo para rebatê-lo e realizar uma devolução mais veloz e bem direcionada. Portanto esperava-se encontrar diferentes interações entre os jogadores durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque, de modo que durante os *rallies* de primeiro saque fosse observado maior “fase do devolvedor”, e no segundo saque, maior fase do sacador.

Os padrões de coordenação interpessoal “anti fase” e “fase do devolvedor” foram os que apresentaram maior tempo de permanência durante os *rallies* de

primeiro e de segundo saque. Estes resultados parecem indicar que mesmo o *rally* iniciando com o segundo saque, o devolvedor ainda se encontra em grande desvantagem. Em um estudo recente, Whiteside e colaboradores (WHITESIDE; BANE; REID, 2015) mostraram que em jogadores profissionais de elite a velocidade do primeiro saque é de $175,0 \pm 9,9$ km/h enquanto que do segundo saque é de $145,7 \pm 9,3$ km/h, indicando que, apesar de mais lento, o segundo saque ainda coloca o jogador que devolve em uma situação desfavorável, de forma que o sacador consegue movimentá-lo em quadra.

Diferenças entre categorias também foram encontradas durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e com o segundo saque. Os resultados mostraram que os jogadores juvenis apresentam maior permanência no padrão “em fase” do que a categoria *ATP-Future* para os *rallies* que iniciaram com o primeiro saque. Por outro lado, atletas da categoria *ATP – Future* apresentam maior permanência neste padrão durante os *rallies* que iniciaram com o segundo saque. Como o padrão “em fase” significa que os jogadores se movem simultaneamente na mesma direção e que isto configura um *rally* de bolas rebatidas na cruzada, estes resultados sugerem que os jogadores juvenis optam por um padrão de jogo mais seguro quando acertam o primeiro saque, ao invés de aproveitar a oportunidade para deslocar o adversário com bolas paralelas (“anti fase”), ou mesmo transitar entre diferentes padrões. Já a menor permanência no padrão “em fase” nos *rallies* que iniciaram com o segundo saque pode indicar que estes jogadores sofrem mais deslocamentos causados pelo adversário em jogadas na paralela, como pode ser visto na tabela 5. Os jogadores juvenis também apresentaram maior permanência na fase do sacador do que a categoria *ATP – Future* durante os *rallies* de segundo saque, que pode representar que estes jogadores são facilmente deslocados pelo adversário (jogador que devolveu). Este comportamento pode indicar que jogadores juvenis apresentam baixa qualidade técnica no segundo saque. Um segundo saque lento ou mal direcionado a quadra do adversário pode permitir que o mesmo devolva-o sem problemas e que, além disso, consiga deslocar o jogador que sacou desde o início do *rally*.

Os padrões de coordenação entre os jogadores também foram medidos para as situações do jogo nas quais o *rally* foi vencido por uma ação técnica indefensável ou por um erro de um dos jogadores. Durante os jogos da categoria juvenil foi verificado maior permanência no padrão “anti fase” quando o *rally* terminou por erro

do que quando terminou em *winner*, realizado tanto pelo jogador que sacou quanto pelo que devolveu (tabela 6). Este resultado está de acordo com a hipótese inicial deste estudo, uma vez que espera-se que o padrão “anti fase” exija grande proficiência técnica dos jogadores pois, para que este padrão se estabeleça, é necessário realizar bolas paralelas, que são de mais difícil execução. Quando um dos jogadores opta por realizar uma bola na paralela, o mesmo enfrenta dificuldades como: mudar a direção da bola (de cruzada para paralela), fazer com que a bola passe sobre o ponto mais alto da rede (15,24 cm mais alta) e que a bola percorra a menor trajetória até que a bola atinja a quadra do adversário (1,37 m mais curta) (ATP, 2016). Portanto, o padrão “anti fase” exige alta proficiência técnica e talvez, por este motivo, os jogadores juvenis cometam erros quando apresentam este padrão. No entanto, também se deve levar em consideração que quando um dos jogadores consegue mudar a direção da bola, que se encontra na cruzada (em fase), realizando um golpe paralelo (anti fase), o mesmo coloca o adversário em uma situação desfavorável, pois faz com que ele repentinamente tenha que se deslocar em outra direção para que possa rebater a bola. Este tipo de variação de jogo, se bem realizada, pode gerar uma ação indefensável ou forçar o adversário a cometer um erro. Este comportamento foi observado na categoria juvenil (tabela 3) no qual foi observada maior permanência no padrão “anti fase” quando as ações de *winner* foram realizadas pelo jogador que devolveu o saque. Este resultado mostra mais uma vez que os juvenis são pressionados pelo adversário quando estão sacando, e pode indicar uma possível deficiência no saque.

Além disso, maior permanência na fase do devolvedor foi encontrada na categoria juvenil quando o jogador que estava sacando cometeu um erro. O mesmo resultado também foi encontrado quando o jogador que estava sacando realizou um *winner*. Era esperado maior permanência na “fase do devolvedor” durante os *rallies* que o adversário estava sacando. Logo, este resultado pode indicar que os jogadores juvenis são irregulares e acabam cometendo erros até quando estão com a vantagem (sacando) e deslocando o adversário em quadra (fase do devolvedor).

As diferenças entre as categorias mostraram que os jogadores juvenis apresentam maior permanência no padrão “anti fase” quando o jogador que estava devolvendo cometeu o erro do que os jogadores ATP – *Future*. Por outro lado os jogadores profissionais ATP – *Future* apresentaram maior permanência em “anti fase” quando realizaram *winner*, corroborando a ideia de que os profissionais

possuem maior proficiência técnica e apresentam mais sucesso quando realizam bolas paralelas. Os juvenis também apresentaram maior permanência no padrão “em fase” quando o devolvedor realizou um *winner*, em relação à categoria ATP – *Future*. Por outro lado, os profissionais apresentaram maior padrão “em fase” quando estavam sacando e realizaram *winner*. Isto significa que, quando estão devolvendo, os juvenis optam mais por *rallies* na cruzada, e que os profissionais quando sacam utilizam o mesmo padrão de jogo. Isto mostra que os jogadores juvenis sempre optam por padrões de jogo mais seguros até quando realizam ações indefensáveis. Já em relação aos profissionais, parece que maior permanência no padrão “em fase” pode indicar que o devolvedor não consegue gerar perturbações no jogo, devido à alta qualidade do saque, e por esta razão o *rally* se desenvolve, em grande parte, com bolas cruzadas.

Os jogadores juvenis também apresentaram menor permanência na fase do sacador do que os profissionais do ATP – *Future*, tanto quando o devolvedor realizou um *winner* quanto quando o sacador realizou a mesma ação. Logo, é possível interpretar que os profissionais de elite, quando devolvem, conseguem deslocar o sacador em quadra, sobrepondo a vantagem que o saque lhes dá, e conseguem gerar ações indefensáveis para o sacador. Os jogadores juvenis também mostraram menor permanência na fase do devolvedor quando o mesmo cometeu um erro, do que os jogadores ATP – 250. Este resultado é muito interessante, pois mostra que quando um jogador profissional está devolvendo o saque, é necessário que o adversário realize ações técnicas que desloquem o devolvedor em quadra com maior magnitude do que um jogador juvenil, para forçá-lo a cometer um erro. Provavelmente este resultado está relacionado com a aptidão técnica dos profissionais, que resistem por mais tempo em uma situação desfavorável, como a fase do devolvedor, antes de cometer um erro. Da mesma forma, também foi verificado que os jogadores juvenis apresentam maior fase do devolvedor quando o sacador comete um erro. Este comportamento significa que o sacador comete erros quando o devolvedor consegue suportar a pressão gerada pelo primeiro, e aponta para uma estratégia defensiva dos juvenis que optam por se deslocar constantemente para rebater as bolas e aguardar o erro do adversário. Outro resultado interessante encontrado neste estudo mostra que os jogadores juvenis apresentam menor permanência na fase do devolvedor quando o sacador realiza um *winner*, em relação aos jogadores ATP – 250. Portanto, é possível que os

profissionais consigam deslocar mais seus adversários em quadra a tal ponto que o mesmo não consegue chegar a tempo para rebater a bola.

Em termos práticos, os resultados apontam que os jogadores juvenis apresentam diferentes comportamentos em relação às duas competições profissionais. Dentre elas, foi verificado que os jogadores adotam padrões de jogo mais seguros para os *rallies* que iniciaram com o primeiro saque. Além disso, os resultados parecem indicar que os jogadores sofrem ataques do devolvedor quando jogam com o segundo saque. Os juvenis também parecem apresentar menor proficiência técnica em relação aos golpes realizados do fundo da quadra (*forehand*, *backhand* e *slice*), pois os mesmos cometem erros quando o *rally* encontra-se em “anti fase”, ou seja, quando realizam golpes na paralela. Por fim, os jogadores desta categoria optam por padrões de jogo mais seguros constantemente e cometem erros até quando estão em situações favoráveis (deslocando o adversário em quadra). Estes achados podem auxiliar na preparação tática e técnica destes jogadores, de modo que os técnicos devem se atentar a qualidade do saque e investir em treinamento técnico e tático dos golpes realizados do fundo da quadra, para que os jogadores consigam cometer menos erros e também adotar padrões de jogo mais ofensivos.

A categoria ATP – *Future* também não apresentou diferença nos padrões de coordenação para os *rallies* de primeiro e segundo saque. No entanto, foi verificado que os jogadores desta categoria apresentam menor permanência no padrão “em fase”, comparado com a categoria ATP – 250, durante os *rallies* que iniciaram com o segundo saque. Este resultado aponta que os jogadores desta categoria, mais do que as outras duas, conseguem manter um padrão de jogo estável e seguro quando jogam com o segundo saque, trocando bolas cruzadas com o devolvedor. Ao contrário da categoria juvenil, os profissionais ATP – 250 apresentam melhor qualidade técnica no saque e, provavelmente, por esta razão impedem que o devolvedor o desloque em quadra.

Durante os *rallies* que terminaram em erro foi detectado que os jogadores apresentavam maior permanência no padrão “anti fase” quando cometeram erros, independentemente se estavam sacando ou devolvendo. Assim como a categoria juvenil, os jogadores profissionais da competição ATP – *Future* também cometem erros quando optam pelo padrão de trocas de bola na paralela. Este resultado é muito interessante porque mostra que mesmo para um uma categoria composta por

jogadores de alto nível técnico este padrão de jogo ainda é arriscado. Portanto, é aconselhável que os jogadores utilizem este padrão somente para realizar uma variação de jogo, para tentar um golpe vencedor ou forçar o adversário ao erro. Se nenhum destes desfechos ocorrerem com esta ação, é prudente fazer com que o *rally* retorne para um padrão mais estável no momento seguinte, pois sustentar o padrão “anti fase” (bolas paralelas) por mais tempo pode acarretar em um erro.

A categoria ATP – *Future* mostrou haver maior permanência no padrão fase do devolvedor quando o mesmo cometeu um erro. Este comportamento mostra que o jogador que está devolvendo não consegue suportar a pressão técnica e tática exercida sobre ele, e acaba cometendo um erro. Também foi identificado maior fase do devolvedor quando o sacador realizou um *winner*, e mostra que em nível profissional o saque proporciona uma vantagem tática durante o jogo, pois faz com que o jogador tenha dificuldade em devolvê-lo e realize uma devolução ineficiente, ou mesmo de forma que não ofereça perigo ao adversário. Logo, esta ação permite ao sacador realizar golpes potentes e bem direcionados que podem gerar ações indefensáveis.

Os jogadores da categoria ATP – *Future* mostraram menor permanência no padrão “anti fase” do que os ATP -250, tanto nas situações que o sacador, quanto quando o devolvedor cometeu um erro. Esta diferença de comportamento entre estas categorias pode evidenciar que os jogadores profissionais de alto nível (ATP – 250) optam pelo padrão “anti fase” com maior frequência, devido ao seu alto nível técnico, com o objetivo de quebrar a estabilidade do jogo e forçar o adversário ao erro. De forma complementar, e muito interessante, maior permanência no padrão “anti fase” foi observada quando os jogadores ATP – 250 realizam um *winner*, tanto sacando quanto devolvendo. Este resultado parece indicar que os profissionais ATP -250 optam com mais frequência do que as outras duas categorias por golpes realizados na paralela, o que sugere que esta categoria apresenta um padrão de jogo mais ofensivo, com o intuito de levar o adversário ao erro ou gerar ações indefensáveis.

Os jogadores ATP – *Future* também apresentaram menor permanência no padrão “em fase”, do que os profissionais de alto nível, quando um *winner* foi realizado pelo devolvedor. Este padrão de jogo parece sugerir que o devolvedor opta por realizar golpes cruzados, e pode indicar que este padrão de jogo mais seguro é adotado para tentar anular a vantagem que o saque gera ao adversário. Nesta

situação, um golpe indefensável pode surgir a partir de uma variação de jogo realizada pelo devolvedor que está trocando bolas com o sacador e repentinamente realiza um golpe paralelo. Este resultado já foi reportado em uma pesquisa prévia, e é denominada de variação na paralela (CARVALHO et al., 2014). De acordo com os autores, este evento foi responsável pela quebra de simetria espaço-temporal entre os jogadores, que levou ao fim do *rally*. De forma complementar, foi observado que a categoria ATP – 250 apresenta maior permanência no padrão “em fase” do que a categoria ATP – *Future* quando o sacador cometeu um erro. Em termos práticos, isto pode indicar que os profissionais de alto nível devolvem o saque de forma eficiente e que, além disso, ainda conseguem estabelecer um *rally* com trocas de bolas na cruzada levando o sacador a cometer um erro. Esta estratégia adotada pela categoria ATP-250 pode indicar que, devido à boa qualidade do saque, o jogador que está devolvendo não consegue ser ofensivo; ao contrário, opta por trocar bolas com adversário no padrão mais seguro possível e aguardar o erro do mesmo. Este padrão de jogo defensivo adotado pelo jogador que devolve o saque já foi reportado em uma pesquisa prévia (PEREIRA et al., 2016), que mostrou que jogadores profissionais percorrem uma menor distância quando estão sacando comparada à condição que devolvem. Este comportamento ocorre porque o jogador que saca tem a possibilidade de iniciar o comando do ponto realizando um saque potente e bem direcionado, enquanto o jogador que devolve deve suportar a pressão técnica e tática exercida pelo sacador. Por outro lado, a categoria ATP – *Future* apresentou maior padrão “em fase”, quando o sacador realizou um *winner*. Isto mostra que os jogadores da categoria *Future* optam por um padrão de jogo mais seguro quando estão sacando, ao invés de aproveitar a vantagem que o saque gera para realizar rebatidas menos conservadoras (ex. bolas paralelas) para tentar um golpe vencedor.

A categoria ATP – *Future* também apresentou maior permanência na fase do sacador do que a categoria ATP – 250, quando o jogador que sacou realizou um *winner*. Assim como mencionado anteriormente, os jogadores profissionais de elite sofrem menos deslocamentos quando estão sacando, provavelmente, porque sacam com maior eficiência do que as outras duas categorias, e até quando realizam golpes indefensáveis se. A categoria ATP – *Future* também apresentou maior permanência no padrão fase do devolvedor do que a categoria ATP – 250, tanto quando o devolvedor errou e também quando realizou um *winner*. Nesta situação, a maior permanência na fase do devolvedor indica que os jogadores da categoria ATP

– *Future* sofrem mais deslocamentos quando estão devolvendo o saque e, assim como mencionado previamente, parece indicar que os jogadores da categoria ATP – 250 devolvem o saque com maior eficiência, anulam a vantagem que o saque fornece ao adversário e por esta razão são menos deslocados em quadra. Por fim, também foi observado que a categoria ATP – 250 apresenta maior permanência na fase do devolvedor quando o jogador que sacou realizou um *winner*. Este resultado mostra que quando os profissionais de elite sacam, os mesmos conseguem deslocar o devolvedor a tal ponto que em um dado momento o mesmo não consegue chegar a tempo para realizar a rebatida.

Os resultados discutidos acima indicam várias diferenças entre os padrões de jogo de profissionais de dois diferentes níveis de competição. Diferente da categoria juvenil foi observado que quando estão sacando, atletas da categoria *Future* conseguem deslocar o devolvedor em quadra e gerar ações de *winner* ou forçá-lo a errar. No entanto, similar à categoria juvenil, a categoria *ATP-Future* ainda apresenta ações de erro quando o *rally* apresenta predominância no padrão “anti fase”. Por outro lado, a categoria ATP – 250 utiliza a padrão “anti fase” com maior frequência e consegue obter mais sucesso, realizando ações indefensáveis e forçando o adversário a errar. Os jogadores desta categoria também parecem apresentar maior habilidade para devolver o saque, pois quando devolvem utilizam mais do padrão “em fase” e conseguem realizar tanto golpes indefensáveis quanto levar o sacador ao erro. Durante a transição entre estas duas categorias os treinadores devem se atentar, principalmente, a estas características de saque e devolução apresentados pelos jogadores de elite.

A categoria ATP – 250, assim como as outras duas anteriores, não apresentaram diferenças nos padrões de coordenação durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e segundo saque. No entanto, diferenças foram encontradas para os *rallies* que terminaram em erro e *winner*. Assim como as outras duas categorias, (juvenil e ATP – *Future*) maior permanência no padrão “anti fase” foi observada tanto quando o sacador quanto quando o devolvedor cometeu um erro. Este resultado permite concluir que independente do nível de competição, o padrão “anti fase” deve ser utilizado pelos jogadores de forma cuidadosa, pois pode levar até os jogadores mais habilidosos e experientes a cometerem erros. Além disso, assim como nas outras categorias, foi encontrado que os jogadores da categoria ATP – 250 apresentam maior permanência no padrão fase do devolvedor,

quando o devolvedor comete um erro, do que quando o sacador realiza a mesma ação. Este padrão de jogo mostra que o sacador consegue deslocar o adversário em quadra forçando-o a cometer um erro. Diferentemente das outras duas categorias, atletas da ATP – 250 mostraram maior permanência na fase do devolvedor quando o sacador realizou um *winner*. Este comportamento significa que o jogador que sacou consegue fazer com que o devolvedor se desloque constantemente em quadra, e consegue aproveitar a oportunidade para realizar um golpe indefensável. Este resultado é uma das principais diferenças entre as categorias, pois mostra que os profissionais de elite conseguem ser mais ofensivos quando estão sacando.

A quantidade de trocas de padrão de coordenação também foi quantificada com o intuito de identificar qual categoria apresenta maior capacidade de trocar a direção das rebatidas e conseqüentemente o padrão de jogo adotado. Esperava-se encontrar que os profissionais, devido ao maior tempo de prática e nível técnico, conseguissem trocar de padrão de coordenação com maior frequência durante os *rallies*. No entanto, não foi verificada diferenças nas trocas de padrão para nenhuma das categorias. Este resultado parece indicar que o diferencial entre as categorias não é a capacidade de mudança de padrão, mas sim a permanência em padrões específicos durante o desenvolvimento do *rally*.

4.2.7 Conclusão

Esta pesquisa aplicou a técnica do *vector coding* para investigar os padrões de coordenação de jogadores de tênis de diferentes categorias; em particular como os jogadores se deslocam em quadra durante diferentes situações de jogo.

O *vector coding* foi aplicado para analisar os padrões de coordenação durante os *rallies* que iniciaram com o primeiro e segundo saque, e permitiu concluir que os jogadores adotam padrões de jogo similares, independente do saque. No entanto, as categorias apresentaram diferentes resultados, de forma que os jogadores da categoria ATP – 250 seguidos pela ATP – *Future*, mostraram maior permanência no padrão “em fase” no segundo saque, o que sugere que os jogadores profissionais optam por um padrão de jogo mais seguro quando utilizam o segundo saque que, geralmente, é mais lento. No entanto, os jogadores juvenis utilizam mais o padrão “em fase” quando jogam com o primeiro saque, que sugere que os atletas desta categoria não conseguem utilizar a vantagem que o saque lhes proporciona. Além disso, os juvenis apresentaram maior “fase do sacador” que significa que o atleta

que sacou esta sendo deslocado pelo adversário. Técnicos devem se atentar para a qualidade técnica do saque dos juvenis (velocidade da bola, efeito e direção) para que os jogadores juvenis consigam pressionar o adversário assim como os profissionais.

A mesma técnica também foi aplicada para analisar a coordenação interpessoal durante os *rallies* que terminaram em erro ou em *winner*. Nas três categorias analisadas os jogadores apresentaram maior permanência no padrão “anti fase” quando cometeram um erro, (tanto o sacador quanto o devolvedor) em comparação as ações de *winner*. Aparentemente o padrão “anti fase”, que corresponde a trocas de bola na paralela, é extremamente difícil de se realizar pois até jogadores de alto nível cometem erros quando optam por este padrão de jogo. Apesar de serem arriscadas, as ações técnicas direcionadas na paralela fazem com que o adversário tenha que se deslocar de um lado para outro da quadra, e se for bem realizada podem surpreender o adversário, resultando em um golpe indefensável. Entretanto, se o adversário chegar a tempo para devolver a bola e conseguir se defender com eficiência, aconselha-se retornar para o padrão “em fase” e aguardar uma nova oportunidade de atacar. Portanto, os técnicos devem instruir os jogadores de todas as categorias a utilizar este padrão de jogo com cuidado para evitar que cometam erros.

Por fim, a quantidade de trocas de padrão de coordenação durante os *rallies* das três diferentes categorias também foi analisada e permitiu concluir que o que diferencia as três categorias não é a capacidade de mudar a direção dos golpes e, conseqüentemente, o padrão de coordenação interpessoal, mas sim a permanência em padrões de coordenação específicos.

As informações obtidas com este estudo podem auxiliar técnicos a preparar seus jogares de acordo com as características táticas específicas de cada categoria. Além disso, compreender as demandas táticas de cada categoria pode auxiliar no processo de transição entre cada uma das etapas competitivas, e tornar mais rápido e menos problemático o processo de adaptação destes jogadores as competições de alto nível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O jogo de tênis é, por natureza, um esporte com características extremamente complexas, devido não somente as regras que o regem, mas principalmente pelas interações complexas que ocorrem entre os jogadores. Durante uma partida, os jogadores buscam constantemente realizar ações imprevisíveis aos adversários para que seus objetivos naquele instante sejam alcançados, sendo estes defensivos, como suportar o ataque do adversário e revertê-lo, ou ofensivos, como conseguir realizar uma ação indefensável.

Ao longo dos últimos anos, buscou-se na ciência ferramentas para que se pudesse cada vez mais aprimorar as condições físicas, técnicas, táticas dos atletas, que influenciam diretamente nos seus desempenhos durante os jogos. Portanto, é fato que dificilmente uma ou outra variável seja capaz de explicar, sozinha, o resultado de um jogo de tênis, uma vez que há inúmeros fatores que o influenciam. No entanto, técnicos e pesquisadores têm buscado na ciência maiores informações acerca das exigências físicas dos atletas durante a competição e sobre suas ações técnicas e táticas realizadas.

Os padrões de coordenação entre os jogadores é uma das variáveis táticas que podem ser analisadas durante o jogo. No primeiro estudo os objetivos foram aplicar a técnica do *vector coding* para medir a coordenação entre os jogadores e extrair informações adicionais, que as técnicas anteriormente utilizadas não permitiam. Com os principais resultados, pôde-se concluir que durante o jogo de tênis os jogadores apresentam comportamentos mais complexos do que reportado em estudos prévios (anti fase e em fase). A técnica do *vector coding* permitiu identificar duas novas interações entre os jogadores, denominadas fase do sacador e fase do devolvedor. Estes dois novos comportamentos identificados indicam a que um dos jogadores (sacador ou devolvedor) estão se deslocando em resposta aos golpes realizados pelo adversário, caracterizando uma situação na qual um jogador está sobrepondo o outro. No entanto, a hipótese de que os padrões de coordenação e a dinâmica de deslocamento se alteram ao longo do jogo foram negadas.

No segundo estudo, investigações mais aprofundadas foram realizadas para compreender como jogadores de tênis de diferentes categorias se comportam. Os objetivos foram investigar se jogadores de diferentes categorias apresentam diferentes comportamentos quando o *rally* inicia com o primeiro e com o segundo

saque, quando terminam devido a um erro ou um *winner* e se trocam de padrão de coordenação com diferentes frequências. Com os principais resultados pôde-se concluir que para todas as categorias o padrão anti fase está relacionado com erros realizados pelos jogadores. Além disso, não existe diferença na quantidade de trocas de padrão de coordenação nas três categorias nem diferenças nos padrões de coordenação durante os *rallies* de primeiro e segundo saque.

Os resultados encontrados neste estudo podem auxiliar técnicos e treinadores a aprimorar a preparação tática dos jogadores de acordo com a demanda de cada categoria aqui analisada. Neste sentido, os profissionais da área de Ciências do Esporte devem se atentar às características de cada nível e preparar o atleta para as situações que deverão ser enfrentadas durante a competição. Por outro lado, deve haver uma grande preocupação por partes desses profissionais em organizar estratégias de treinamento com a proposta de preparar estes atletas para a transição para um nível mais elevado, uma vez que há grandes diferenças na demanda tática de jogos de alto nível profissional. Talvez, estas diferenças, somadas a uma preparação ineficiente, expliquem o baixo índice de sucesso dos atletas que transitam no nível juvenil para o profissional.

6 REFERÊNCIAS

ATP. **The 2016 ATP ® Official Rulebook**. [s.l: s.n.].

CARVALHO, J. et al. Dynamics of players' relative positioning during baseline rallies in tennis. **Journal of Sports Sciences**, v. 31, n. 14, p. 1596–1605, 2013.

CARVALHO, J. et al. Interpersonal Dynamics in Baseline Rallies in Tennis. **International Journal of Sports Science & Coaching**, v. 9, n. 5, p. 1043–1056, 2014.

CORTELA, C. **PLANEAMENTO DE CARREIRA DESPORTIVA DE JOVENS TENISTAS PARA A ALTA COMPETIÇÃO**. [s.l.] Universidade de Coimbra, 2008.

CRESPO, M. [http://www.itftennis.com/shared/medialibrary/pdf/original/IO_7238_original.PDF].

CRESPO, M.; MILEY, D. **Advanced coaches manual**. London: International tennis federation ITF (ltda), 1998.

ELLIOTT, B. Biomechanics and tennis. **British journal of sports medicine**, v. 40, n. 5, p. 392–397, 2006.

FERNANDEZ-FERNADEZ, J. et al. A comparison of the activity profile and physiological demands between advanced and recreational veteran tennis players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 2, p. 604–610, 2009.

FERNANDEZ-FERNANDEZ, J. Intensity of tennis match play. **British journal of sports medicine**, v. 40, n. 5, p. 387–391, 2006.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. **Computer vision and image understanding**, v. 101, n. 2, p. 1–14, 2006a.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. **Image and Vision Computing**, v. 24, n. 4, p. 363–374, 2006b.

HAKEN, H. **Synergetics, an introduction: Non-equilibrium phase transitions and self-organisation in physics, chemistry and biology**. Berlin: Springer, 1983.

HOPPE, M.; BAUMGART, C.; FREIWALD, J. Do running activities of adolescent and adult tennis players differ during play? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 2015.

HUGHES, M.; BARTLETT, R. The use of performance indicators in performance analysis. **Journal of Sports Sciences**, v. 10, n. 20, p. 739–754, 2002.

KELSO, S. Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. **Speech research**, v. 246, n. 6, 1983.

LAMES, M. Modelling the interaction in game sports - Relative phase and moving correlations. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 5, n. 4, p. 556–560, 2006.

M.D. HUGHES, M. T. H. AND H. B. Computerized notational analysis and performance profiling in racket sports. In: A, LEES. D, CABELLO. G, T. (Ed.). . **Science and racket sports IV**. Madrid. p. 187–196.

MARTÍNEZ-GALLEGO, R. et al. Movement Characteristics of Elite Tennis Players on Hard Courts with Respect to the Direction of Ground Strokes. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 12, n. 2, p. 275–281, 2013.

MCGARRY, T. et al. Sport competition as a dynamical self-organizing system. **Journal of sports sciences**, v. 20, n. 10, p. 37–41, 2002.

MOURA, F. et al. Coordination analysis of players ' distribution in football using cross-correlation and vector coding techniques. **Journal of Sports Sciences**, p. 1–9, 2016.

MURIAS, J. et al. Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 1, p. 112–117, 2007.

O'DONOGHUE, P. Match analysis m racket sports. In: LEES, A. (Ed.). . **Science and racket sports III**. london: Routledge, 2003. p. 184–191.

O'DONOGHUE, P.; INGRAM, B. A notational analysis of elite tennis strategy. **Journal of sports sciences**, v. 19, n. 2, p. 107–115, 2001.

PALUT, Y.; ZANONE, P.-G. A dynamical analysis of tennis: concepts and data. **Journal of sports sciences**, v. 23, n. 10, p. 1021–1032, 2005.

PEREIRA, T. et al. Analysis of the distances covered and technical actions performed by professional tennis players during official matches. **Journal of sports sciences**, v. 414, n. March, p. 1–8, 2016.

REID, M. et al. Rankings in professional men's tennis : a rich but underutilized source of information underutilized source of information. **Journal of sports sciences**, v. 32, n. 32, p. 986–992, 2014.

REID, M.; DUFFIELD, R. The development of fatigue during match-play tennis. **British journal os sports medicine**, v. 48, n. 1, p. 1–7, 2014.

REID, M.; MORGAN, S.; WHITESIDE, D. Matchplay characteristics of Grand Slam tennis: implications for training and conditioning. **Journal of Sports Sciences**, v. 414, n. March, p. 1–8, 2016.

SÖĞÜT, M. Ball Speed during the Tennis Serve in Relation to Skill Level and Body Height. **Pamukkale Journal of Sport Sciences**, v. 7, n. 2, p. 51–57, 2016.

SPARROW, W. et al. Using relative motion plots to measure changes in intra-limb and inter-limb coordination. **Journal of Motor Behavior**, v. 19, n. 1, p. 115–129, 1987.

TAYLOR, M.; HUGHES, M. A comparison of patterns of play between the top under 18 junior tennis players in Britain and in the rest of the world. In: **Science and Racket Sports II**. London. p. 260–264.

UNIERZYSKI, P.; WIECZOREK, A. Comparison of tactical solutions and game patterns in the finals of two grand slam tournaments in tennis. In: **Science and racket sports III**. p. 200–205.

VAN EMMERIK, R.; MILLER, R.; HAMILL, J. Dynamical systems analysis of coordination. In: **Research methods in biomechanics**. Human Kinetics, 2014. p. 291–315.

VERLINDEM, M. et al. Effect of gender and tennis court surface properties upon strategy in elite singles. In: **Science and racket sports III**. London: Routledge, 2004. p. 193–199.

WHITESIDE, D.; BANE, M.; REID, M. **Differentiating top-ranked male tennis players from lower-ranked players using hawk-eye data: an investigation of the 2012 – 2014 Australian Open tournaments**. 33 International Conference on Biomechanics in Sport. **Anais...**2015

WILLIAMS, A. M. et al. Anticipation Skill in a Real-World Task: Measurement, Training, and Transfer in Tennis. **Journal of Experimental Psychology**, v. 8, n. 4, p. 259–270, 2002.