

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE FISIOTERAPIA

Amanda Mara de Assis Chagas

PREDIÇÃO DA AÇÃO: Uma abordagem teórica e experimental

Juiz de Fora

2018

Amanda Mara de Assis Chagas

PREDIÇÃO DA AÇÃO: Uma abordagem teórica e experimental

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Fisioterapia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Fisioterapia.

Orientador (a): Prof (a) Dra. Anaelli Aparecida Nogueira Campos – UFJF

Coorientador: Prof (o) Dr. Ghislain Jean Andre Saunier – UFPA

Juiz de Fora

2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Chagas, Amanda Mara de Assis

Predição da ação: uma abordagem teórica e experimental /
Amanda Mara de Assis Chagas. – 2018

38 f.: il

Orientadora: Anaelli Aparecida Nogueira Campos

Co-orientador: Ghislain Jean Andre Saunier

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Fisioterapia, 2018.

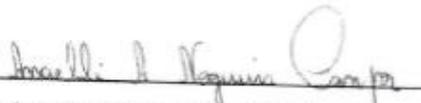
1. Cognição motora. 2. Observação da ação. 3. Sistema percepção-ação. 4. Doença de Parkinson I. Nogueira-Campos, Anaelli Aparecida, orient. II. Saunier, Ghislain Jean Andre, coorient. III. Título.

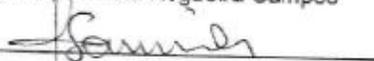
Amanda Mara de Assis Chagas

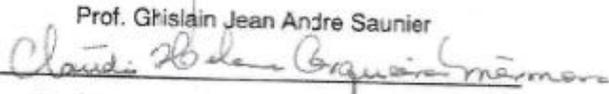
**“PREDIÇÃO DA AÇÃO: UMA ABORDAGEM TEÓRICA E
EXPERIMENTAL”**

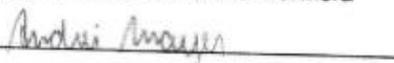
O presente trabalho, apresentado como pré-requisito para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, da Faculdade de Fisioterapia da UFJF, foi apresentado em audiência pública a banca examinadora e aprovado no dia 03 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA:


Prof^a Anaelli Aparecida Nogueira Campos


Prof. Ghislain Jean Andre Saunier


Prof^a Cláudia Helena Cercueira Mármora


Prof. Andrei Mayer de Oliveira

AGRADECIMENTOS

*“Tenham bom ânimo. O futuro é tão brilhante quanto sua fé.”
Pres. Thomas S. Monson*

À Deus, que está sempre em primeiro lugar. Sou grata a Ele por me permitir chegar até aqui, por me fortalecer nos momentos mais difíceis.

Minha sincera gratidão aos meus orientadores do Labneuro Anaelli e Ruben que compartilharam mais do que conhecimento científico, mas sim instruções para a vida as quais guardo comigo. Meu carinho e gratidão por vocês é infinita. Vocês são inspiração.

Aos meus orientadores deste trabalho de conclusão de curso Anaelli e Ghislain que se empenharam para que esse objetivo fosse cumprido. Obrigada por compartilharem o conhecimento de vocês.

Gratidão também aos meus amigos, Cláudia e Andrei obrigada por dedicarem tempo e carinho para algo que é tão importante para mim.

Agradeço em especial à Isabella Faria, que contribuiu de forma direta neste trabalho.

Ainda, agradeço à todos aqueles que de alguma forma contribuíram para tal.

Ao Renan, meu grande amor, que nunca mede esforços para que eu possa realizar meus sonhos. Obrigada por ser minha força.

Aos meus pais e irmã, que são tudo na minha vida. Sou grata pela paciência, amor e constantes orações.

Aos meus mestres e pacientes que se doaram para que eu pudesse chegar até aqui. Admiro cada um de vocês. Obrigada por tudo.

Aos meus amigos de jornada, que sempre tornaram o caminho mais leve, os quais me ensinaram a ser melhor. Vocês são os melhores.

Aos meus amigos do Labneuro, que tanto me ensinam e pelos quais tenho grande carinho e respeito. Principalmente à Isabela Faria que foi extremamente importante para que este trabalho acontecesse.

RESUMO

INTRODUÇÃO: A geração de movimentos voluntários implica em um controle preditivo, o qual assegura a antecipação dos eventos sensório-motores que advém da realização ou da observação do próprio movimento. Embora cada movimento encerre um objetivo final, este faz parte de um processo no qual o sistema motor encerra etapas dentro de um *continuum* no espaço-tempo. Nesse sentido, será que o sistema motor prediz o evento seguinte de uma ação a partir da observação da etapa que a antecede?

OBJETIVO: Este estudo tem como objetivo investigar a função preditiva do sistema motor em seres humanos. Espera-se desenvolver um protocolo experimental com vistas à investigação da predição implícita da continuidade de um movimento observado.

METODOLOGIA: Vídeos de ações manuais dirigidas a objetos foram apresentados. A seguir, os participantes reconstruíram as ações observadas de forma cronológica (do início para o fim da ação) ou inversa (do fim para o início da ação) baseados em quatro quadros extraídos dos mesmos vídeos. Dois tipos de ações foram usadas: biológicas (ações humanas) e não biológicas (movimento de objetos sem interferência humana). Os vídeos biológicos foram iniciados com a mão do ator na posição de repouso e o movimento ocorria em direção ao objeto (Experimento I), ou iniciava com a mão em contato com o objeto, com o movimento em direção à posição de repouso (Experimento II). O parâmetro mensurado neste protocolo foi a acurácia relacionada à reconstrução completa da ação.

RESULTADOS: No Experimento I, os participantes apresentaram menor acurácia para reconstruir a ação de forma cronológica, ou seja, do início para o fim da ação observada (mão partindo do repouso para o contato com o objeto). No Experimento II a acurácia foi menor quando os participantes reconstruíram as sequências de movimentos biológicos de forma inversa, ou seja, do final para o início da ação observada (mão partindo do repouso para o contato com o objeto). Em ambos os experimentos, esse efeito na reconstrução da ação foi evidente na condição biológica.

CONCLUSÃO: O protocolo proposto foi considerado eficiente para o estudo da função preditiva em seres humanos. Notamos também que a continuidade natural e esperada do movimento é também predita em um contexto de observação.

Propomos a extensão da utilização deste protocolo para a investigação da participação de estruturas subcorticais em funções preditivas do sistema motor.

Palavras-chave: Cognição Motora. Observação da ação. Sistema Percepção-ação. Doença de Parkinson.

ABSTRACT

INTRODUCTION: Voluntary movements imply in a predictive control that ensures the anticipation of sensory-motor consequences related to the execution and observation of actions. Notwithstanding each movement has a final goal, it is part of a *continuum* in space-time. Does the motor system predicts the next step of an action relying in its pure observation? **AIM:** The present study sought to investigate the predictive function of the motor system in humans. We also aimed to develop an experimental procedure that discloses the implicit predictions that arise during the observation of movements. **METHODS:** Videos of manual actions directed to objects were presented. Their task consisted in ordering four frames extracted from these videos. The ordering were chronological (from the beginning to the end of the action) or inverse (from the end to the beginning of the action). Two types of actions were presented: biological (human actions) and non-biological (movement of objects without the interference of a human being). Hand actions initiated from the resting position towards the object (Experiment I), or with the hand in contact to the object, moving to the resting position (Experiment II). **RESULTS:** In Experiment I participants presented lower accuracy in the biological condition when movements began from the resting position (chronologic condition). In experiment II the accuracy was also lower when movements began from the resting position, which represented the inverse condition as videos began with the hand in contact to the object. **CONCLUSION:** This protocol presented herein is useful to study the predictive role of the motor system in humans. We have also shown that the natural outcomes of movements are predicted during the observation of actions. We suggest its future application to investigate the role of basal nuclei in the predictive function of the motor system in humans.

Keywords: Motor cognition. Action observation. System of Perception-action. Parkinson Disease.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Representação esquemática da sequência dos estímulos nas condições biológica (a) e não biológica (b), referentes aos Experimentos I e II..... | 20 |
| Figura 2. Porcentagem de acurácia por condição experimental (biológica e não biológica)..... | 23 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DP: Doença de Parkinson

EMT: Estimulação Magnética Transcraniana

PEM: Potencial Evocado Motor

fMRI: Imaginamento por Ressonância Magnética Funcional

EMG: Eletromiografia

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| 1 INTRODUÇÃO | .11 |
| 1.1 Base neurofisiológica do sistema percepção-ação..... | 12 |
| 1.2 O sistema percepção-ação e a função preditiva do sistema motor..... | 13 |
| 2 OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 Objetivo Geral | 16 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 17 |
| 3 METODOLOGIA..... | 17 |
| 3.1 Participantes | 17 |
| 3.2 Estímulo..... | 17 |
| 3.3 Desenho experimental | 18 |
| 3.4 Análise estatística..... | 21 |
| 4 RESULTADOS | 22 |
| 5 DISCUSSÃO | 23 |
| 6 PERSPECTIVAS..... | 27 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 32 |
| REFERÊNCIAS | 33 |

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos são capazes de iniciar e gerenciar todas as suas ações com o meio, o que os tornam preditivos, além de seres puramente reativos. Esta capacidade de atuar preditivamente possibilita a preparação para respostas apropriadas e assegura a sobrevivência (JEANNEROD 1997). Ainda, evidências experimentais recentes sugerem que os princípios subjacentes à previsão das consequências sensório-motoras de uma ação podem também ocorrer durante a observação da mesma. Neste sentido, assume-se que na condição de observação da ação de *outrem* o sistema motor pode apresentar, em algumas áreas encefálicas, atividade neuronal sem a geração de movimentos. Essa atividade é compatível com situações nas quais ocorre de fato a movimentação ativa. Tal asserção está baseada na existência de células visuo-motoras responsivas à execução e observação da mesma ação em um circuito cortical parieto-frontal ou circuito percepção-ação. (RIZZOLATTI e SINIGAGLIA 2016).

As representações sensório-motoras ativadas ao longo desse circuito parecem se relacionar com a predição das consequências da ação executada ou observada (UMILTÀ et al, 2001). Inicialmente, a investigação desse circuito foi voltada para a análise de redes corticais. Uma vez que o controle motor depende da integração de uma vasta rede de neurônios corticais e subcorticais, atualmente, é consenso que estruturas subcorticais, como os núcleos da base, são parte integrante do circuito relacionado à observação da ação (MARCEGLIA et al, 2009; ALEGRE et al, 2010).

Os núcleos da base são estruturas subcorticais envolvidas no planejamento motor (VERBAAN et al, 2007; JANKOVIC 2008). A degeneração de neurônios dopaminérgicos presentes na substância negra, estrutura pertencente ao circuito fisiológico dos núcleos da base, está relacionada com o desenvolvimento da Doença de Parkinson (DP) (BERNHEIMER et al, 1973; BIRKMAYER e WUKETICH 1976). Os achados da literatura sobre a participação dos núcleos da base no processo de observação de ações (CASTIELLO et al, 2009; KLOETERS et al, 2016), e ainda na função preditiva dentro de um contexto de observação (GALEA et al, 2012; POLIAKOFF et al, 2010) são ainda inconclusivos.

Assim, o presente estudo propõe um novo protocolo onde, a função preditiva do sistema motor será avaliada a partir de uma abordagem experimental desenvolvida em um contexto de observação de ações. Este protocolo visa investigar se durante o curso de uma ação dirigida a um objeto, o *continuum* do movimento, ou seja, o movimento implícito seguinte e esperado como consequência imediata da ação observada, pode ser predito. Além disso, espera-se apresentar um protocolo elegível para o estudo de tal função em indivíduos acometidos com a DP, uma vez que a lesão apresentada pelos mesmos os torna um modelo para investigar a participação dos núcleos da base no sistema de predição. O estabelecimento do papel de estruturas subcorticais, como os núcleos da base, dentro do circuito percepção-ação, poderá ainda contribuir para o desenvolvimento de protocolos mais efetivos e direcionados que possam ser empregados no processo de reabilitação de pacientes, uma vez que a observação da ação parece ser uma estratégia de terapia complementar eficiente aos protocolos tradicionais de reabilitação motora.

1.1. Base neurofisiológica do sistema percepção-ação

A descoberta, no início dos anos 90, de neurônios que integram informações visuais com componentes motores (conhecidos como “neurônios visuomotores” ou “neurônios-espelho”), sugere a existência de redes neurais específicas, devotadas ao processamento neural subjacente a execução de movimentos corporais, que são recrutadas também durante a observação de tais movimentos, conhecido como o sistema percepção-ação (DI PELEGRINO et al, 1992; FADIGA et al, 1995).

Tradicionalmente, esse sistema foi descrito por meio do registro eletrofisiológico de células no córtex pré-motor (DI PELLEGRINO et al, 1992; GALLESE et al, 1996) e no córtex parietal posterior de macacos (FOGASSI et al, 2005), definindo assim, a existência de um circuito parieto-frontal. Em seres humanos, estudos de imageamento por ressonância magnética funcional (fMRI) e Estimulação Magnética Transcraniana (EMT) mostraram que áreas recrutadas durante a produção do movimento são ativadas durante a observação de ações realizadas por *outrem* (FADIGA et al, 1995; GRÈZES e DECETY 2001; BUCCINO et al, 2001). Por exemplo, em um estudo utilizando fMRI, Buccino e colaboradores (2001) mostraram que o padrão de ativação do circuito fronto-

parietal induzido pela observação de ações realizadas com a mão, o pé ou a boca, seguiam a organização somatotópica relacionada ao efetor com o qual a ação era realizada, sugerindo a existência em seres humanos de um sistema análogo ao sistema espelho descrito em primatas não humanos. Em seguida, outras regiões como Sulco Temporal Superior (PUCE e PERRETT 2003), córtex occipito-temporal lateral (LINGNAU e DOWNING 2015), a ínsula (DI CESARE et al, 2018), a área motora suplementar (HARI et al, 1998), o cerebelo (CALIGIORE et al, 2013), além dos núcleos da base (MARCEGLIA et al, 2009; ALEGRE et al, 2010) e áreas visuais parecem integrar esse sistema (LINGNAU e DOWNING 2015).

Postula-se que este sistema de percepção-ação permite a tradução de entradas sensoriais em um vocabulário motor (RIZZOLATTI e CRAIGHERO 2004). Nessa perspectiva, a percepção visual de um movimento resulta, automaticamente, numa simulação interna dos comportamentos motores realizados por outrem. Isto está em congruência com a “teoria da simulação”, a qual sugere que as simulações motoras realizadas pelo observador durante a observação da ação tem como base o seu próprio repertório motor (JEANNEROD et al, 2001; GALLESE e GOLDMAN 1998). A implicação de tal asserção é que as ações possuem uma representação endógena. Em outras palavras, os programas motores, ou modelos internos de ações (KILNER et al, 2007), são usados para a execução de uma ação e são recrutados por meio da observação (JEANNEROD 1994; PRINZ 1990; KILNER et al, 2007). Nesse sentido, as representações são preditivas, não apenas em relação à execução da ação em si, mas também em relação ao contexto criado pela ação (KILNER et al, 2007).

Por fim, a função primária proposta para esse sistema seria a sua relevância para a compreensão das ações de outros (UMILTÀ et al, 2001; IACOBINI et al, 2005), da intenção (BONINI et al, 2010; FOGASSI et al, 2005; MURATA et al, 2000), bem como imitação (BRIHMAT 2017), empatia (IACOBONI 2009), além de ser considerado como essencial para predição motora (KILNER et al, 2004; AGLIOTI et al, 2008).

1.2 O sistema percepção-ação e a função preditiva do sistema motor

Friston et al. (2003; 2005), propõem que o papel do sistema de percepção-ação em inferir os objetivos das ações observadas pode ser entendido dentro de uma estrutura de codificação preditiva. Com base nessa proposta, Kilner et al. (2007), abordam a aplicação de um modelo que inclui os sistemas motor e visual. Estes autores apresentam que o controle preditivo durante a observação de uma ação envolve o seguinte: primeiro leva-se em consideração a expectativa do objetivo da ação observada. Dado a geração dos seus comandos motores, seria possível a previsão da cinemática da ação observada com base em nosso próprio sistema motor e assim comparar a cinemática prevista com a cinemática esperada. O erro encontrado nessa comparação seria então usado para a atualização dos comandos motores do observador. Da mesma forma, o sistema usaria o erro de previsão do observador para gerar as atualizações a fim de dar ao observador uma inferência mais apurada da ação observada. Assim sendo, esses autores abordam a teoria do modelo interno para o movimento (MIALL 2003) no contexto da observação de ações. Classicamente, durante a geração de todo movimento voluntário há ativação dos modelos internos: modelo interno inverso, que se associa com a implementação dos comandos motores a partir do estado atual do sistema e das consequências desejadas para as ações; e, o modelo interno preditivo, o qual se apoia nos aspectos relacionados com a transformação sensório-motora requerida para a implementação de comandos motores (KAWATO 1999; WOLPERT e FLANAGAN 2001; WOLPERT e GHAHRAMANI 2000).

Um estudo clássico realizado por Umiltà et al. (2001) apresentou evidência na direção de que o sistema motor atua preditivamente durante a observação da ação. Esses autores demonstraram que os neurônios espelho respondiam durante a observação de uma ação, mesmo quando a parte final desta era parcialmente ocluída. Estes resultados sugerem que estas células codificam o objetivo final da ação e não simplesmente a ação em si. Ainda, corroborando com a ideia de que o sistema motor apresenta uma função preditiva, Urgesi et al. (2010) desenvolveram um protocolo utilizando imagens retiradas de vídeos e que representavam as fases inicial, intermediária e final de uma ação manual. Esta ação representava um movimento de prensão natural e esperado ou um movimento de prensão inesperado, no qual o posicionamento da mão apresentado não permitia a manipulação do objeto (ação *flick*). Tal estratégia foi usada para avaliar se o sistema

percepção-ação processa o curso temporal de uma ação observada, independente da configuração manual. O potencial evocado motor (PEM) do músculo primeiro interósseo dorsal (altamente envolvido na preensão) foi registrado por meio da Eletromiografia (EMG), enquanto pulsos de EMT foram aplicados durante a observação das imagens em todas as fases da ação. Os resultados mostraram que a facilitação do PEM é maior durante a observação da fase inicial e intermediária nos dois tipos de ação, comparado com a fase final. Isto indica que tal facilitação durante a tarefa de observação não se deveu a leitura direta da cinemática do movimento observado, mas a seu curso temporal, evidenciando assim a participação de um sistema de predição. Nesse sentido, esse estudo sugere ainda que a ligação do sistema de execução e observação da ação é preferencialmente ativado por uma simulação antecipatória do desdobramento de uma ação que ocorrerá no futuro. Isso indica que uma função importante do sistema percepção-ação é obter a partir do conhecimento motor dos observadores, previsões específicas sobre a implementação futura dos comportamentos de outros.

Estudos recentes mostram ainda que durante a observação de um movimento de alcance, os movimentos oculares não seguem o objeto durante todo o trajeto, ao observar outra pessoa ou ao realizar o movimento. Ao contrário disso, os movimentos oculares parecem estar sempre à frente (GREDEBACK e FALCK-YTTER 2015; SAILER, FLANAGAN, e JOHANSSON 2005; FLANAGAN e JOHANSSON 2003). Por meio de uma abordagem computacional que aborda a estrutura de codificação preditiva da observação da ação e o curso de movimentos oculares, Donnarumma et al. (2017) apresentaram um modelo sugerindo que a observação da ação não é algo puramente passivo, mas sim, uma tarefa ativa do sistema. Para isso, foi desenvolvido um modelo computacional capaz de analisar a cena de uma ação manual direcionada a objeto e predizer o seu final em situações incertas. Esse modelo usou parâmetros preditores conhecidos através de estudos com seres humanos (ex. cinemática das mãos durante o movimento; objeto a ser alcançado). Os resultados sugerem que os movimentos oculares durante a observação de uma ação, são direcionados para locais da cena que oferecem maior número de informações no decorrer do movimento. Isso dá possibilidade ao sistema de hipotetizar preditivamente, o desfecho da ação.

O presente estudo espera contribuir no avanço do entendimento sobre a função preditiva do sistema motor. Nesse contexto, objetiva-se o desenvolvimento de um protocolo para avaliar o *continnum* do movimento, ou seja, se o movimento implícito seguinte e esperado como consequência imediata de uma ação manual dirigida a um objeto é também predito. Para isso, vídeos apresentando movimentos dirigidos a objetos da vida diária (condição biológica) e vídeos contendo movimentos de objetos sem interação humana (vídeos não biológicos) serão apresentados e os participantes serão convidados a organizar imagens que correspondem ao mesmo movimento. Contudo, essa classificação deve ser feita em duas sequências temporais – cronológica (no curso natural da ação observada, ou seja, do início para o fim da ação observada) ou inversa (no curso contrário da ação observada, ou seja, do fim para o início da ação observada). Este tipo de abordagem metodológica que consiste na apresentação de movimentos biológicos e movimentos não biológicos para estudo de observação da ação vêm sendo amplamente utilizada (FADIGA et al, 1995; FAZZIO et al, 2009; LEGGIO et al, 2008; CATTANEO et al, 2012). Entretanto, a função de predição de uma ação ainda não foi explorada em um contexto de observação em que a continuidade natural e esperada de um movimento está implícito na cena assistida. Neste estudo estendemos a investigação sobre tal função. Embora, cada movimento humano encerre um objetivo final, este faz parte de um processo contínuo. A ideia de continuidade implica na análise do movimento como um circuito permanente onde cada realização convida à execução de uma nova etapa. Nossa hipótese é a de que uma vez concluído um movimento, o sistema motor gera uma representação do próximo evento, coerente com o anterior. Emitimos a hipótese de que o sistema deve incorporar o movimento seguinte nas predições sensório-motoras durante a observação da ação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo investigar a função preditiva do sistema motor em seres humanos.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver e testar um novo protocolo que seja elegível para avaliar a função preditiva do sistema motor em indivíduos saudáveis;
- Investigar se a continuidade natural e esperada de um movimento é previsto pelo sistema motor em um contexto de observação de uma ação dirigida a um objeto.

3 METODOLOGIA

3.1 Participantes

Neste estudo participaram quarenta e seis indivíduos jovens, universitários e saudáveis de ambos os sexos, entre 17-36 anos de idade ($21 \pm 3,21$). Destes, vinte e três eram destros (nove homens) e vinte e três canhotos (nove homens), com escolaridade > 12 anos. Esse estudo incluiu a realização de dois experimentos com o objetivo de avaliar o componente implícito da função preditiva do sistema motor. Entre os voluntários selecionados, vinte participaram do Experimento I e vinte e seis do II (ver descrição no item 1.2). Os participantes eram equivalentes em idade, sexo e dominância manual em ambos os experimentos. A dominância manual foi avaliada por meio do questionário de lateralidade de Oldfield (1971). Neste, os voluntários obtiveram um escore de $85,43 \pm 14,84$ para destros e $-83,04 \pm 22,45$ para canhotos. Nenhum participante apresentava patologia relacionada ao sistema nervoso central ou periférico. Todos possuíam visão normal ou corrigida. Nenhum dos voluntários conhecia o protocolo do estudo.

3.2 Estímulo

Dez vídeos foram produzidos no laboratório. Destes, cinco foram categorizados como “biológicos” e cinco como “não biológicos”. A categoria

biológico foi caracterizada por um movimento transitivo, onde uma ação foi realizada por um ator interagindo com um objeto usando uma das mãos, ora direita, ora esquerda. Os vídeos não biológicos consistiam em uma cena na qual um objeto se movia sem intervenção humana direta. Os vídeos biológicos eram: um ator colocando um lápis no copo, levando um copo à boca, levantando uma garrafa, colocando uma rolha na garrafa e colocando um boné; e os não biológicos eram: uma garrafa caindo, uma cadeira movendo, uma bola rolando, uma porta fechando e um bastão caindo. Os vídeos apresentaram uma média de duração de 2 segundos, 760 x 540 mm de dimensão e uma taxa de exibição de 29 quadros/segundo. Ambas as categorias de vídeos foram usadas nos dois Experimentos (I e II), diferindo apenas na forma de apresentação. No Experimento I os vídeos biológicos apresentavam o movimento do membro em direção a um objeto. Neste caso, a mão do ator iniciava com na posição de repouso (mão sobre a mesa) e o movimento ocorria em direção ao objeto. Os vídeos biológicos no Experimento I sempre terminavam com a mão do ator em contato com o objeto. No Experimento II os vídeos foram apresentados ao contrário. Desse modo, o movimento do membro começava a partir do contato com o objeto e terminava com a mão na posição de repouso (mão sobre a mesa). Isto nos permitiu modificar as características iniciais e finais da cena, sem modificar os demais aspectos dos vídeos. Quatro imagens foram retiradas de cada vídeo (biológico e não biológico), de modo que representassem todas as fases da ação. Todos os procedimentos acima descritos foram desenvolvidos nos Laboratórios de Neurofisiologia Cognitiva/UFJF e de Cognição Motora/UFPA a partir de uma adaptação do software Puzzle (FAZZIO et al, 2009).

3.3 Desenho experimental

Inicialmente os participantes foram orientados sobre o preenchimento de uma ficha de identificação e de questionários, a saber: escala de depressão de Beck (BECK 1961) cujo escore obtido foi de $7,96 \pm 4,77$, empatia (KOLLER 2001) com escore $67,23 \pm 4,58$ e Mini Exame do Estado Mental (FOLSTEIN, FOLSTEIN e MCHUGH 1975) de $29,68 \pm 0,56$. Para todos os questionários em questão, os escores indicados foram compatíveis com o padrão de normalidade esperado em cada avaliação.

A seguir, eles foram convidados a se sentarem em uma cadeira confortável posicionada à frente de um notebook (Toshiba Satellite A205) com tela de quinze polegadas. Todos permaneceram com as mãos apoiadas sobre as pernas durante todo o experimento. Um experimentador ficou posicionado em uma mesa atrás do participante. O mesmo experimentador nos dois experimentos, obedecia os comandos verbais dados pelos participantes durante a realização da tarefa. Este procedimento eliminou a variabilidade relacionada à habilidade manual dos participantes.

Em ambos experimentos, cada *trial* foi iniciado pela apresentação de uma tela preta com uma cruz branca centralizada. A seguir, um vídeo foi apresentado. Ao final do vídeo, uma mensagem foi exibida em uma tela preta, indicando a sequência temporal na qual os quadros deveriam ser organizados. Posteriormente, para cada vídeo os quatro quadros que correspondiam às imagens retiradas do mesmo vídeo (vídeo tópico 3.2) foram apresentados. A sequência temporal de organização dos quadros podia ser realizada no sentido cronológico cujo comando foi: “Organize os quadros do INÍCIO para o FIM da ação”, ou inversa com o comando: “Organize os quadros do FIM para o INÍCIO da ação”. Após a mensagem de comando ser lida em voz alta pelo experimentador, os quatro quadros, foram apresentados simultaneamente, de forma aleatória quanto a sua sequência correta, em quatro locais diferentes da tela do computador enumerados de um a quatro (sendo 1-superior esquerdo, 2-superior direito, 3-inferior esquerdo e 4-inferior direito) (Figura 1). Os indivíduos declaravam verbalmente a ordem em que os quadros deveriam ser organizados. O experimentador então organizava a sequência clicando, através de um *mouse*, em cada quadro indicado.

Cada vídeo foi apresentado duas vezes, não consecutivas, de forma que, em cada uma delas uma instrução quanto à forma de organização dos quadros foi dada (cronológica ou inversa). Sendo assim, cada participante assistiu um total de trinta vídeos totalizando dessa forma trinta *trials*. Entre eles, haviam 10 *trials* com vídeos biológicos com a forma de organização dos quadros cronológica (sendo 5 vídeos com o membro superior direito e 5 vídeos com o membro superior esquerdo) e 10 *trials* com vídeos biológicos com a forma de organização dos quadros inversa (sendo 5 vídeos com o membro superior direito e 5 vídeos com o membro superior esquerdo). Dentre os *trials* com vídeos não biológicos 5 *trials* foram com vídeos

não biológicos com a forma de organização dos quadros cronológica e 5 vídeos não biológicos com a forma de organização dos quadros inversa. A apresentação dos vídeos foi aleatória quanto à categoria (biológico e não biológico) e quanto à organização da sequência temporal dos quadros (cronológica e inversa).

O dado de acurácia foi automaticamente registrado em uma tabela de excel e analisados *a posteriori* nos dois experimentos. *Feedbacks* otimistas (ex. “Muito bem!”, “Continue assim!”, etc) sobre o desempenho do indivíduo na tarefa foram dados com intuito de manter o participante motivado. Além disso, os participantes foram informados que ao final do protocolo experimental seriam feitas perguntas em relação ao que eles haviam assistido. O objetivo deste procedimento foi manter a atenção dos participantes durante a realização do experimento. Nenhuma análise foi realizada com esses indicadores. Para familiarizar os participantes com a tarefa, foram feitos quatro *trials* teste antecedendo os Experimentos e todas as dúvidas foram esclarecidas antes da execução do protocolo experimental. A duração foi em média de quinze minutos em ambos experimentos.

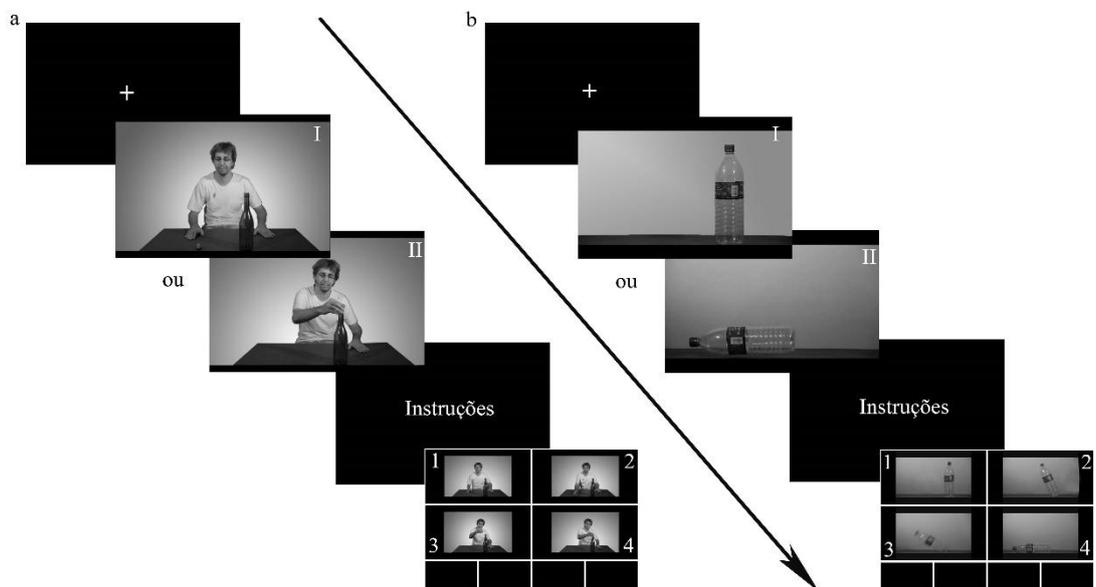


Figura 1. Representação esquemática da sequência dos estímulos nas condições biológica (a) e não biológica (b), referentes aos Experimentos I e II. Inicialmente uma tela preta com

uma cruz branca foi apresentada seguida da apresentação do vídeo. Para condição biológica: no Experimento I a ação iniciava com o ator com a mão na posição de repouso e no Experimento II o vídeo iniciava com a mão em contato com o objeto. Para condição não biológica: os vídeos iniciavam de forma oposta (ex. se no vídeo do Experimento I a garrafa caía, no vídeo do Experimento II ela se levantava), e isso variava de acordo com o movimento do objeto. Posteriormente era dada uma instrução: “Organize os quadros do INÍCIO para o FIM” (sequência temporal cronológica) ou “Organize os quadros do FIM para o INÍCIO” (sequência temporal inversa). Em seguida, os quatro quadros eram apresentados e os participantes declaravam verbalmente a ordem de organização baseado no vídeo assistido anteriormente. A tarefa era indicar a sequência correta se orientando pelos números de um a quatro na tela. O *trial* terminava automaticamente quando o último quadro era posicionado no lugar indicado.

3.4 Análise estatística

A acurácia foi o parâmetro analisado em ambos Experimentos. Este parâmetro corresponde a taxa de *trials* ordenados de forma correta. Um erro foi considerado quando o participante indicava a ordem, de pelo menos dois dos quatro quadros, de maneira incorreta.

A análise de variância (Two-way ANOVA) para medidas repetidas foi utilizada para acessar as diferenças de acurácia de acordo com a “LATERALIDADE DO PARTICIPANTE” (canhotos e destros) nas condições experimentais, a saber, “CONDIÇÃO” (Biológico e Não Biológico), “SEQUÊNCIA TEMPORAL” (Cronológica e Inversa) e “LATERALIDADE DO VÍDEO” (ator realizando a ação com o membro superior direito ou esquerdo). Este último fator foi considerado apenas na comparação dos vídeos biológicos.

Os dados foram analisados usando o programa estatístico *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS, versão 22.0) adotando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). O pós-teste de Tukey HSD foi aplicado, quando necessário. Por fim, os valores de n^2_p e β foram apresentados para descrever a estimativa de tamanho de efeito e a potência observada, respectivamente.

4 RESULTADOS

No *Experimento I*, os participantes obtiveram menor acurácia na condição biológica quando a organização da sequência temporal dos quadros era cronológica, ou seja, no mesmo sentido da ação mostrada no vídeo. A ANOVA para medidas repetidas revelou uma interação entre CONDIÇÃO x SEQUÊNCIA TEMPORAL DE ORGANIZAÇÃO DOS QUADROS [$F_{(1, 18)} = 8,61, p = 0.009; n^2p = 0.32; \beta = 0.79$]. O pós-teste indicou que os participantes apresentaram menor acurácia na condição biológica cronológica ($p = 0.007; 77,50 \pm 17,13$), quando comparado às demais condições – biológica inversa ($87,50 \pm 10,70$), não biológica cronológica ($p = 0.0006; 91,00 \pm 13,73$) e não biológica inversa ($p = 0.001; 90,00 \pm 12,14$). Não houve diferença estatística entre as condições não biológicas ($p = 0.07$). O efeito descrito não foi dependente da lateralidade do participante (CONDIÇÃO x LATERALIDADE [$F_{(1, 18)} = 0,14, p = 0.91; n^2p = 0.001; \beta = 0.51$]; TEMPO x LATERALIDADE [$F_{(1, 18)} = 1,84, p = 0.19; n^2p = 0.09; \beta = 0.25$]). Ainda, a acurácia na condição biológica não foi dependente da lateralidade do vídeo ($F_{(1, 21)} = 3,41, p = 0.79$).

No *Experimento II*, os participantes obtiveram menor acurácia na condição biológica quando a organização da sequência temporal dos quadros era inversa à mostrada no vídeo. A ANOVA para medidas repetidas revelou uma interação entre CONDIÇÃO x SEQUÊNCIA TEMPORAL DE ORGANIZAÇÃO DOS QUADROS ($F_{(1, 24)} = 5,72, p = 0.025; n^2p = 0.19; \beta = 0.63$). O pós-teste indicou que os participantes apresentaram menor acurácia na condição biológica inversa ($p = 0,009; 64,79 \pm 19,32$), quando comparado às demais condições – biológica cronológica ($77,44 \pm 19,34$), não biológica cronológica ($p = 0.01; 90 \pm 13,06$) e não biológica inversa ($p = 0.01; 89,23 \pm 19,22$). Houve efeito principal para CONDIÇÃO, indicando que a acurácia na condição biológica foi menor que para a não biológica ($p = 0,000025$). Contudo, não efeito estatisticamente significativo para lateralidade do participante (CONDIÇÃO x LATERALIDADE [$F_{(1, 24)} = 0,84, p = 0.37; n^2p = 0.03; \beta = 0.14$]; TEMPO x LATERALIDADE [$F_{(1, 24)} = 0,79, p = 0.03; n^2p = 0.03; \beta = 0.14$]). A acurácia na condição biológica não foi dependente da lateralidade do vídeo ($F_{(1, 25)} = 0,48, p = 0.49$). (Figura 2).

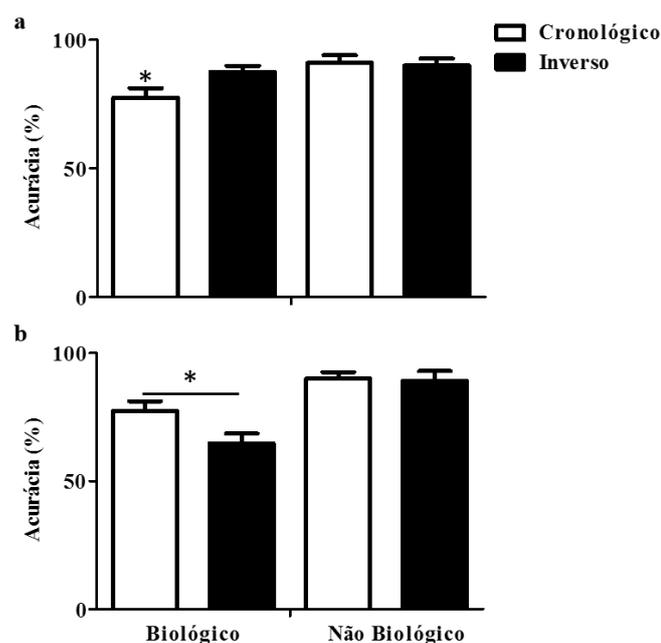


Figura 2: Porcentagem de acurácia por condição experimental (biológica e não biológica). a) Experimento I e b) Experimento II. As barras brancas indicam a sequência temporal de organização dos quadros na ordem cronológica e as pretas na ordem inversa. (*) $p < 0.05$.

5 DISCUSSÃO

Neste estudo, um novo protocolo para avaliar a função preditiva do sistema motor foi desenvolvido. Em especial, esse protocolo visou investigar durante o curso de uma ação dirigida a um objeto, o *continuum* do movimento, ou seja, se o movimento seguinte e esperado como consequência imediata da ação observada, podia ser predito. Para tal, dois experimentos foram realizados. Nestes, vídeos nos quais uma ação manual dirigida a um objeto foi apresentada. Contudo, o início e o final da ação foram manipulados entre os experimentos. No Experimento I, a ação iniciava com a mão do ator na posição de repouso, sem contato com o objeto (sobre a mesa), e o vídeo terminava quando a mão do ator fazia contato com o objeto. No Experimento II, a ação do ator iniciava com a mão em contato com o objeto e seguia em direção ao repouso. Isto fez com que a ação observada fosse sempre a mesma, mas as etapas subsequentes e esperadas no curso da ação se diferenciavam. Os resultados indicaram que o protocolo proposto foi efetivo para avaliar a função preditiva do sistema motor em jovens saudáveis. Em particular, foi demonstrado que o indivíduo é capaz de prever o movimento seguinte, ou seja, o movimento esperado no curso da ação observada.

No Experimento I, onde a ação representada iniciava a partir da posição de repouso e terminava no contato do ator com o objeto, foi descrito que a acurácia era menor para a condição biológica, quando os quadros foram organizados na sequência temporal cronológica comparada à inversa. Em outras palavras, os indivíduos foram mais precisos para classificar o movimento no curso contrário da ação, no qual a mão partia do objeto para a posição de repouso. Assim, tal achado pode sugerir que é mais esperado que a mão retorne para a posição de repouso, predizendo assim o seu retorno natural em consequência do ato observado – a mão alcança o objeto e deve retornar à posição inicial. De fato, não é mesmo esperado que a mão permaneça realizando apreensão com o objeto. Esta ideia pode ser concebida uma vez que o sistema motor atua sempre preditivamente, estimando as consequências sensório-motoras de todos os atos motores voluntários (WOLPERT 2014), inclusive quando esse ato é observado (KILNER et al, 2004; URGESI et al, 2010; DORANNUMMA et al, 2017). Isto se apoia no modelo apresentado por Kilner et al. (2007), no qual o sistema atua de maneira preditiva, fazendo estimativas sensório-motoras durante a observação de um movimento. Alternativamente, isso poderia ser resultado de um efeito gerado pela visualização da última cena do vídeo. Neste caso, a cena da mão no objeto, que é a última parte do vídeo observada. Como na condição biológica inversa os indivíduos devem reconstruir o movimento do fim para o início, a visualização mais recente da cena que eles devem usar para tal reconstrução (mão no objeto) pode ter facilitado assim a classificação nessa condição. Assim, como o intervalo era muito rápido (menor que um minuto) entre a visualização da última cena e a apresentação dos quadros, um efeito de memória de trabalho não pôde ser excluído (BADDELEY 2011).

A fim de confirmar a hipótese inicial do trabalho a respeito da função preditiva do sistema motor e diante de tal questão, o Experimento II foi realizado. Neste, os vídeos eram os mesmos do Experimento I, mas os aspectos relacionados ao curso da ação foram modificados. Para isso, os vídeos foram apresentados de forma contrária, ou seja, partindo de uma posição de interação da mão com o objeto para a posição de repouso (mão sobre a mesa). O interessante é que os resultados foram opostos àqueles descritos no Experimento I. Desse modo, no Experimento II foi descrito uma menor acurácia também para a condição biológica, mas quando os quadros eram organizadas na sequência temporal inversa. Portanto, embora agora a

última cena do vídeo observada antes da organização seja a mão do ator na posição de repouso, a acurácia não foi maior para a organização dos quadros na sequência temporal inversa. Desse modo, o efeito descrito no presente estudo não parece ser unicamente determinado pelos sistemas de memória ultra-rápida (BADDELEY 2011). De fato, esse resultado vai de encontro com o possível efeito da memória de trabalho tendo em vista que, nesse caso, a condição cronológica apresentou maior acurácia. Nota-se assim que o julgamento é realizado com maior acurácia, tal como no Experimento I, na condição que representa a continuidade da ação, predizendo o movimento seguinte e esperado. Neste caso, o retorno da mão para a posição de repouso, tendo em vista que dentro do contexto dos vídeos observados, após o repouso não se espera nenhum outro movimento. Desse modo, os resultados do presente estudo dão suporte à hipótese de que o sistema motor prediz o movimento esperado no curso da ação observada dentro de uma expectativa de fluxo contínuo de movimento. Além disso, indicam que o protocolo aqui desenvolvido e testado pode ser aplicado para avaliar a função preditiva do sistema motor. Protocolos de observação da ação para avaliação do sistema preditivo são largamente empregados (DONNARUMMA et al, 2017; CATTANEO et al, 2012; LEGGIO et al, 2008). Porém, até o presente momento, não foi avaliado se o movimento seguinte e esperado como consequência imediata de uma ação manual dirigida a um objeto é também predito pelo sistema. Em particular, em um contexto de observação em que a continuação natural e esperada do movimento está implícito na cena assistida. Assim, pode-se assumir que as predições do sistema motor ocorrem de maneira ainda mais precisa, ocorrendo mesmo sem a presença direta de pistas visuais. Isto está de acordo com as teorias propostas para o movimento voluntário, as quais consideram o comportamento dinâmico do corpo em relação ao meio (KAWATO 1999; WOLPERT et al, 1995). Em outras palavras, tomemos o exemplo de uma ação dirigida a um objeto. O desejo de manipular um objeto colocado sobre uma mesa e movê-lo em direção do próprio corpo prevê a implementação de um modelo no sistema nervoso que deve transformar a representação sensorial das posições relativas do corpo, do braço e do objeto em comandos motores para alcançar o objetivo de modo adequado. A partir disso, um modelo preditivo deve determinar as mudanças geradas pelos comandos motores, ou seja, determina o novo estado do corpo, predizendo as consequências sensório-motoras do movimento, caso o mesmo ocorra (DESMURGET e GRAFTON 2000;

KAWATO 1999; WOLPERT e FLANAGAN 2001; WOLPERT et al, 1995). Isto parece ocorrer também quando uma ação é observada (KILNER et al, 2007). O presente estudo propõe que as previsões de tal ação incluem o *continuum* do movimento, os quais devem ser estimados para garantirem o desfecho final de retorno à posição de repouso do membro que ocorre após a interação com um determinado objeto.

Por fim, é importante abordar o fato de que para a condição não biológica, a acurácia foi maior comparada a condição biológica cronológica (Experimento I) e cronológica e inversa (Experimento II). Em geral, a condição não biológica é usada na forma de controle (FAZZIO et al, 2009; FADIGA et al, 1995; CATTANEO et al, 2012). Fazio et al. (2009) não descreveram diferenças entre as condições biológica e não biológica para indivíduos saudáveis em um paradigma experimental bastante similar. Os autores discutem que essas condições se distinguem em termos de recrutamento do sistema motor, isto é, para se reconstruir uma ação biológica, o observador deve se apoiar nas próprias representações motoras com base no sistema percepção-ação (KILNER et al, 2007). Por outro lado, isto seria desnecessário para organizar as ações não biológicas. Contudo, também há evidências de que ações humanas e ações dirigidas a objetos podem não ser condições fundamentais para recrutar o sistema motor (FADIGA et al, 1995; KRASKOV et al, 2014).

Com o objetivo de avaliar o controle preditivo pelo cerebelo, Leggio et al. (2008) utilizaram uma tarefa de reconstrução de sequências através de cartas. Nesse caso três conteúdos foram abordados: sentenças que descreviam verbalmente ações com uma sequência lógica e temporal precisa; conjuntos de desenhos semelhantes a desenhos animados que mostravam sequências comportamentais; e sequência de figuras abstratas. Os autores descreveram que para organizar as cartas de forma correta (cronológica), é preciso extrair elementos que permitam prever a próxima carta na sequência do conjunto, ou seja, é necessário um aspecto preditivo do sistema. Os resultados mostraram uma maior acurácia para indivíduos saudáveis, quando comparado aos pacientes com lesão cerebelar, em todas as condições experimentais.

Cattaneo et al. (2012) também propuseram um protocolo para avaliar a função preditiva em pacientes com lesão cerebelar e descreveram que o

conhecimento necessário para realizar cada condição é diferente entre os casos de ações biológica e não biológica. Na condição não biológica é necessário conhecimentos de leis físicas como (por ex., a lei da gravidade), enquanto que na biológica os critérios para reconstruir a sequência temporal da ação se apoiam em leis motoras incorporadas ao sistema, ou seja, dependentes da própria experiência motora, e não adquiridas pelo raciocínio lógico. Nesse estudo, os resultados indicaram um menor desempenho na organização mediante a observação de ação biológica, quando comparada a não biológica para indivíduos com lesões cerebelares. Para indivíduos saudáveis não houve diferença entre as condições.

No nosso caso, diferente dos estudos anteriores, incluímos a organização dos vídeos na sequência temporal inversa e cronológica. Essa estratégia foi adotada para garantir a especificidade do sistema no protocolo proposto. A acurácia foi similar nas duas formas de organização dos quadros na condição não biológica, ao contrário do que foi descrito na condição biológica. Desse modo, no presente, o efeito foi dependente da condição em que ações humanas foram observadas.

6 PERSPECTIVAS

A partir do presente resultado prevemos a realização de experimentos com indivíduos acometidos pela Doença de Parkinson a fim de contribuir para o entendimento sobre a participação dos núcleos da base no sistema percepção-ação.

Os núcleos da base são estruturas subcorticais que estão envolvidas no controle do movimento, no aprendizado associativo, no planejamento motor, (JANKOVIC 2008) assim como na memória e emoção (VERBAAN et al, 2007). Inicialmente, a compreensão do sistema percepção-ação estava restrita principalmente a uma rede cortical de áreas, porém, atualmente há um consenso que as estruturas subcorticais, como os núcleos da base, poderiam desempenhar algum papel nessa função (MARCEGLIA et al, 2009; ALEGRE et al, 2010; CASTIELLO et al, 2009). Este consenso, apoia-se em estudos que mostram as conexões de componentes dos núcleos da base com o córtex, como exemplo o núcleo subtalâmico que está diretamente conectado com o córtex frontal (motor e pré-motor) através da via hiperdireta que fornece uma particular entrada excitatória monossináptica das áreas motoras e pré-motoras para esses núcleos. Ainda, existe a

projeção córtico-estriado-pálido-subtalâmico (o circuito "indireto") (NAMBU 2004). Levando em conta essas conexões pode-se hipotetizar que a atividade cortical desencadeada no sistema percepção-ação durante a observação do movimento pode, portanto, propagar-se facilmente aos núcleos da base.

A degeneração de neurônios dopaminérgicos presentes na substância negra, estrutura pertencente ao circuito dos núcleos da base, está relacionada com o desenvolvimento de uma doença progressiva denominada Doença de Parkinson (BERNHEIMER et al, 1973; BIRKMAYER e WUKETICH 1976). As alterações clínicas comumente apresentadas por esses pacientes são tremores no repouso, rigidez, bradicinesia e instabilidade postural (KANDEL 2000), além de alterações cognitivas diversas (SCHAPIRA et al, 2017). Apesar de suas limitações, os pacientes com DP mantêm uma capacidade suficiente de aprendizado motor, embora diminuída assim como o desempenho motor em comparação com sujeitos normais (ABBRUZZESE 2016). Tendo em vista as características das lesões dessa doença, esses pacientes se tornam um modelo válido para um estudo relacionado com a função dos núcleos da base.

Nesse sentido, estudos com pacientes com a DP tem sido amplamente realizados por meio do emprego de protocolos experimentais de observação de ações (POLIAKOFF et al, 2007; TREMBLAY et al, 2008; CASTIELLO et al, 2009; MARCEGLIA et al, 2009; ALEGRE et al, 2010; ALBERT et al, 2016). Alguns estudos mostraram que os pacientes com DP apresentam diminuição da atividade no sistema motor durante a observação motora (THOBOIS et al, 2000) porém, aumentam a atividade nas áreas visuais (HELMICH et al, 2007). Poliakoff et al. (2007), por exemplo, em estudo com tarefa de observação da ação mostrou diminuição na atividade do sistema motor de pacientes com DP em contextos de imitação.

Castiello et al. (2009) analisaram a cinemática do movimento (duração e pico de velocidade do movimento) em um contexto de imitação da ação. As análises mostraram um melhor desempenho na realização do movimento em parkinsonianos após a observação do ator com DP, o que não foi observado na população saudável. Esses resultados paradoxais de melhora de performance podem significar que, embora uma ação com menor velocidade (como a bradicinesia existente em pacientes com DP) seja observada, a observação dessa ação reestabelece um nível

adequado de prontidão para iniciar e executar a ação em DP. Corroborando esse achado, Albert et al. (2016) ainda em um contexto de imitação relata que, apesar do prejuízo na ativação do sistema motor, ao apresentar movimentos mais lentos aos DP (comparado à bradicinesia existente nos mesmos) eles eram menos prejudicados na tarefa.

Tremblay et al. (2008), por sua vez, utilizou tarefas de observação da ação, imagética motora e imitação da ação e descreveram uma facilitação córtico-espinhal, nas condições de observação e imagética para indivíduos saudáveis comparados a indivíduos com DP. Sugerindo assim um déficit desses pacientes no recrutamento do sistema motor durante a preparação para uma ação.

Em tarefas com registro da atividade através de eletrodos implantados para Estimulação Cerebral Profunda, Marceglia et al. (2009) e Alegre et al. (2010), de forma similar, registraram a atividade do núcleo subtalâmico (escolhido pela sua ligação com o córtex) e tiveram como resultado, a mudança na atividade das ondas cerebrais analisadas no contexto de observação comparado à execução do movimento, concluindo assim que o núcleo subtalâmico têm um papel fundamental não só na execução do movimento, mas também na observação da ação para o fornecimento de informações relacionadas ao contexto motor cooperando com a pré-ativação do sistema.

No que diz respeito a predição da ação, em um estudo de ressonância magnética funcional, Husárová et al. (2013), investigaram as diferenças de conectividade efetiva entre o cerebelo, núcleos da base e área motora suplementar, comparando sujeitos saudáveis e paciente com DP. Para isso empregaram uma tarefa em que os voluntários deveriam interceptar um alvo que se movimentava de um lado a outro em uma tela de computador (devagar, acelerando e desacelerando) usando uma ‘bola de fogo’ de um canhão situada na porção inferior da tela. Esse teste exigia do participante predizer o tempo do encontro da ‘bola de fogo’ com seu alvo. Os resultados mostraram que, no que diz respeito a taxa de acerto, os DP obtiveram menor desempenho comparado ao grupo controle. Na análise dos erros, em particular, pacientes com DP tendem ao erro precoce como uma estratégia para adaptar seu comportamento após um erro, aumentando assim a probabilidade de cometê-lo. Ainda, a conectividade entre as estruturas foi avaliada em relação à tarefa de acerto (interceptação bem-sucedida do alvo) e foi observado que ambos

os grupos possuíam semelhança na conectividade. No entanto, os pacientes com DP apresentaram conexão inibitória entre a área motora suplementar e o cerebelo, diferente do grupo controle. Esses achados nos mostram que diferenças funcionais podem representar o primeiro passo da reorganização cortical que visa manter um desempenho normal no cérebro afetado pela doença.

Schiffer et al. (2015), propuseram um protocolo que consiste em testar a capacidade de prever ações, usando as próprias representações internas (segmentação da ação). As ações apresentadas nos vídeos eram complexas e envolviam uma cena da vida diária, por exemplo, colocar os pratos no lava-louças. O protocolo utilizado previa que os participantes (com DP e saudáveis) deveriam declarar em que momento dos vídeos assistidos, uma ação terminava. A acurácia dos indivíduos na tarefa foi medida. Os pacientes com DP foram testados em um momento ON e OFF da medicação. Não houve diferenças significativas entre os grupos, e nem entre as condições ON e OFF da medicação. Assim, parece que a capacidade de reconstrução da ação observada é preservada nos indivíduos acometidos pela DP. Pelo menos, em uma tarefa em que a sequência temporal completa da ação é observada e o julgamento feito é explícito.

Galea et al. (2012), por outro lado, mostraram que pacientes com DP no momento OFF da medicação apresentam um déficit na reprogramação da ação após um erro de predição quando avaliados em um teste de probabilidade. Nesse estudo, não foi utilizada observação da ação para composição do protocolo. Diferente disso, o protocolo consistia em testes de observação de símbolos em uma condição previsível ou imprevisível. A tarefa era pressionar, dentre os botões disponíveis, aquele com o símbolo correspondente. Após a resposta do participante mediante aquele estímulo, era dado um feedback do seu desempenho e dessa forma poderia então responder novamente, caso estivesse errado. Para o teste de probabilidade foram usados erro, acerto, a condição (esperado ou inesperado) e o tempo de reação (tempo entre o participante ser informado do erro e o momento de sua nova resposta). É proposto que as entradas sensoriais no paciente com DP sejam afetadas, o que provocaria uma 'falha' no processamento da informação e logo uma maior probabilidade de erro de predição.

Outra forma de estudo com protocolo de predição é mostrada por Helmchen et al. (2012). Nesse estudo, foi investigado se os pacientes com DP eram capazes

de antecipar a ação antes que um gatilho externo aparecesse e também se eram capazes de prever a velocidade do movimento de objetos quando em cenas de curta duração. As análises mostraram uma diminuição do número de movimentos oculares que acompanhavam os objetos, assim como diminuição nos movimentos antecipatórios dos olhos em paciente com DP comparados a sujeitos saudáveis.

Em conjunto, os achados da literatura até o presente apresentam evidências, embora às vezes contraditórias, do envolvimento dos núcleos da base na função de preditiva. Contudo, os achados não se baseiam em um protocolo de observação da ação dirigida a objeto com vistas à manipulação de tal função. Assim, em consonância com o estado da arte atual a respeito da presente temática e com os resultados aqui apresentados, visamos a realização de uma avaliação fina e sistemática da função preditiva do sistema motor na população de parkinsonianos. O nosso protocolo diferencia-se dos até então propostos, por apresentar uma tarefa na qual a predição é avaliada em um contexto de observação em que a continuação natural e esperada do movimento está implícita à cena observada. Nesse caso a compreensão da cena observada atuará como componente facilitador da realização da tarefa de organização dos quadros.

Dessa forma, um experimento é proposto, onde pacientes com DP serão recrutados e o protocolo utilizado no Experimento I será empregado (vide tópico 3.2). Tais pacientes serão recrutados no momento ON e OFF da medicação. Essa conduta, além de permitir testar se o protocolo proposto é efetivo para essa população, também tem o objetivo de investigar se a medicação para controle da DP altera a função de predição de uma ação.

O estabelecimento do papel de estruturas subcorticais, como os núcleos da base no sistema percepção-ação, assim como o estabelecimento de protocolos mais precisos, pode contribuir para o processo de reabilitação de pacientes, uma vez que a observação da ação parece ser uma estratégia de terapia complementar eficiente aos protocolos de reabilitação motora tradicionais. Caligiore et al. (2017) após uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema mostrou que a terapia de observação da ação é altamente efetiva para pacientes com DP. Da mesma forma, Agosta et al. (2017) mostrou que observar ações tem um efeito mais duradouro na melhoria da função motora, marcha e qualidade de vida em pacientes com DP em relação à fisioterapia isolada. Ainda, Jaywant et al. (2016) relatou que os participantes após

terapia de observação da ação mostravam melhora da mobilidade, sugerindo que o treinamento por meio de observação, juntamente com a fisioterapia motora, é promissor na reabilitação na marcha em DP.

Desse modo, torna-se emergente um maior esclarecimento sobre o tema visando assim maiores e melhores evidências neurofisiológicas que contribuam para o tratamento de pacientes com Doença de Parkinson.

7 CONCLUSÃO

O protocolo proposto foi considerado eficiente para o estudo da função preditiva em seres humanos. Notamos que a continuidade natural e esperada do movimento é também predita em um contexto de observação. É ainda sugerido, futuro uso desse protocolo para investigar a participação dos núcleos da base na função preditiva do sistema motor.

REFERÊNCIAS

- ABBRUZZESE, G.; MARCHESI, R.; AVANZINO, L.; PELOSIN, E. Rehabilitation for Parkinson's disease: Current outlook and future challenges. **Parkinsonism and Related Disorders**, v. 30, p. 1-5, 2015.
- AGLIOTI, S. M.; CESARI, P.; ROMANI, M.; URGESI, C. Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. **Nature Neuroscience**, v. 11, n. 9, p. 1109-1116, 2008.
- AGOSTA, F.; GATTI, R.; SARASSO, E.; VOLONTÉ, M. A.; CANU, E.; MEANI, A.; SARRO, L.; COPETTI, M.; CATTRYSSE, E.; KERCKHOFS, E.; COMI, G.; FALINI, A.; FILIPPI, M. Brain plasticity in Parkinson's disease with freezing of gait induced by action observation training. **Journal of Neurology**, v. 264, n. 1, p. 88-101, 2017.
- ALBERT, N. B.; PEIRIS, Y.; COHEN, G.; MIAL, R. C.; PRAAMSTRA, P. Interference effects from observed movement in Parkinson's disease. **Journal of Motor Behavior**, v. 42, n. 2, p. 145-149, 2016.
- ALEGRE, M.; RODRÍGUEZ-OROZ, M. C.; VALENCIA, M.; PÉREZ-ALCÁZAR, M.; GURIDI, J.; IRIARTE, J.; OBESO, J. A.; ARTIEDA, J. Changes in subthalamic activity during movement observation in Parkinson's disease: Is the mirror system mirrored in the basal ganglia? **Clinical Neurophysiology**, v. 121, p. 414-425, 2010.
- BADDELEY, A.; ANDERSON, M. C.; EYSENCK, M. W. **Memory** (eds.). Prion Books, 2001.
- BECK, A. T.; WARD, C. H.; MENDELSON, M.; et al. An inventory for measuring depression. **Archives of General Psychiatry**, v. 4, p. 561-571, 1961.
- BERNHEIMER, H.; BIRKMAYER, W.; HORNYKIEWICZ, O.; JELLINGER, K.; SEITELBERGER, F. Brain dopamine and the syndromes of Parkinson and Huntington Clinical, morphological and neurochemical correlations. **Journal of the Neurological Sciences**, v. 20, n. 4, p. 415-455, 1973.
- BIRKMAYER, W.; WUKETICH, S. Time course of nigrostriatal degeneration in Parkinson's disease. **Journal of Neural Transmission**, v. 38, p. 277-301, 1976.
- BONINI, L.; ROZZI, S.; SERVENTI, F. U.; SIMONE, L.; FERRARI, P. F.; FOGASSI, L. Ventral premotor and inferior parietal cortices make distinct contribution to action organization and intention understanding. **Cerebral Cortex**, v. 20, p. 1372-1385, 2010.
- BRIHMAT, N.; TARRI, M.; QUIDÉ Y.; ANGLIO, K.; et al. Action, observation or imitation of virtual hand movement affect differently regions of the mirror neuron system and the default mode network. **Brain Imaging Behavioral**, 2017.
- BUCCINO, G.; BINKOFSKI, F.; FINK, G. R.; FADIGA, L.; FOGASSI, L.; GALLESE, V.; SEITZ, R. J.; ZILLES, K.; RIZZOLATTI, G.; FREUND, H. J. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. **European Journal of Neuroscience**, v. 13, n. 2, p. 400-404, 2001.

CALIGIORE, D.; MUSTILE, M.; SPALLETTA, G.; BALDASSARRE, G. Action observation and motor imagery for rehabilitation in Parkinson's disease: A systematic review and an integrative hypothesis. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v.72, p. 210–222, 2017.

CALIGIORE, D.; PEZZULO, G.; MIAL, R. C.; BALDASSARRE, G. The contribution of brain sub-cortical loops in the expression and acquisition of action understanding abilities. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 37, p. 2504-2515, 2013.

CASTIELLO, U.; ANSUINI, C.; BULGHERONI, M.; SCARAVILLI, T.; NICOLETTI, R. Visuomotor priming effects in Parkinson's disease patients depend on the match between the observed and the executed action. **Neuropsychologia**, v. 47, n. 3, p. 835-842, 2009.

CATTANEO, L.; FASANELLI, M.; ANDREATTA, O.; BONIFATI, D. M.; BARCHIESI, G.; CARUANA, F. Your Actions in My Cerebellum: Subclinical Deficits in Action Observation in Patients with Unilateral Chronic Cerebellar Stroke. **Cerebellum**, v. 11, p. 264–271, 2012.

DESMURGET, M.; GRAFTON, S. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 4, n. 11, p. 423-431, 2000.

DI CESARE, G.; MARCHI, M.; ERRANTE, A.; FASANO, F.; RIZZOLATTI, G. Mirroring the Social Aspects of Speech and Actions: The Role of the Insula. **Cerebral Cortex**, v. 28, n. 4, p. 1348-1357, 2018.

DI PELLEGRINO, G.; FADIGA, L.; FOGASSI, L.; GALLESE, V.; RIZZOLATTI, G. Understanding motor events: a neurophysiological study. **Experimental Brain Research**, v. 91, n. 1, p. 176-180, 1992.

DONNARUMMA, F.; COSTANTINI, M.; AMBROSINI, E.; FRISTON, K.; PEZZULO, G. Action perception as hypothesis testing. **Cortex**, v. 89, p. 45-60, 2017.

FADIGA, L.; FOGASSI, L.; PAVESI, G.; RIZZOLATTI, G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. **Neuropsychologia**, v. 73, n. 6, p. 2608-2611, 1995.

FAZZIO, P.; CANTAGALLO, A.; CRAIGHERO, L.; D'AUSILIO, A.; ROY, A. C.; POZZO, T.; CALZOLARI, F.; GRANIERI, E.; FADIGA, L. Encoding of human action in Broca's area. **Brain**, v. 132, p. 1980-1988, 2009.

FLANAGAN, J. R.; JOHANSSON, R. S. Action plans used in action observation. **Nature**, v. 424, p. 769-771, 2003.

FOGASSI, L.; FERRARI, P. F.; GESIERICH, B.; ROZZI, S.; CHERSI, F.; RIZZOLATTI, G. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. **Science**, v. 308, p. 662–667, 2005.

FOLSTEIN, M. F.; FOLSTEIN, S. E.; MCHUGH, P. R. 'Mini-mental state': a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. **Journal of Psychiatric Research**, v. 12, n. 3, p. 189-198, 1975.

FRISTON, K. J. A theory of cortical responses. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 360, p. 815–836, 2005.

FRISTON, K. J. Learning and inference in the brain. **Neural Network**, v. 16, p. 1325–1352, 2003.

GALEA, J. M.; BESTMANN, S.; BEIGI, M.; JAHANSHAHI, M.; ROTHWELL, J. C. Action reprogramming in parkinson's disease: response to prediction error is modulated by levels of dopamine. **The Journal of Neuroscience**, v. 32, n. 2, p. 542-550, 2012.

GALLESE, V.; FADIGA, L.; FOGASSI, L.; RIZZOLATTI, G. Action recognition in the premotor cortex. **Brain**, v. 119, n. 2, p. 593-609, 1996.

GALLESE, V.; GOLDMAN, A. Mirror-neurons and the simulation theory of mind reading. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 2, p. 493–501, 1998.

GREDEBACK, G.; FALCK-YTTER, T. Eye movements during action observation. **Perspectives on Psychological Science**, v. 10, p. 591-598, 2015.

GRÈZES, J.; DECETY, J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. **Human Brain Mapp**, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2001.

HARI, R.; FORSS, N.; AVIKAINEN, S.; KIRVESKARI, E.; SALENIUS, S.; RIZZOLATTI, G. Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 95, n. 25, p. 15061-15066, 1998.

HELMCHEN, C.; POHLMANN, J.; TRILLENBERG, P.; LENCER, R.; GRAF, J.; SPRENGER, A. Role of anticipation and prediction in smooth pursuit eye movement control in Parkinson's disease. **Movement Disorders**, v. 27, n. 8, p. 1012-1018, 2012.

HELMICH, R. C.; LANGE, F. P.; BLOEM, B. R.; TONI, I. Cerebral compensation during motor imagery in Parkinson's disease, **Neuropsychologia**, v. 45, p. 2201–2215, 2007.

HUSÁROVÁ, I.; MIKL, M.; LUNGU, O. V.; MARECEK, R.; VANICEK, J.; BARES, M. Similar circuits but different connectivity patterns between the cerebellum, basal ganglia, and supplementary motor area in early parkinson's disease patients and controls during predictive motor timing. **Journal Neuroimaging**, v. 23, p. 452-462, 2013.

IACOBONI, M. Imitation, empathy, and mirror neurons. **Annual Review of Psychology**, v. 60, p. 653-70, 2009.

IACOBONI, M.; MOLNAR-SZAKACS, I.; GALLESE, V.; BUCCINO, G.; MAZZIOTTA, J. C.; RIZZOLATTI, G. Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. **PLOS Biology**, v. 3, p. 79, 2005.

JANKOVIC, J. Parkinson's disease: Clinical features and diagnosis. **Journal of Neurology, Neurosurgery e Psychiatry**, v. 79, p. 368–376, 2008.

JAYWANT, A.; SHIFFRAR, M.; ROY, S.; CRONIN-GOLOMB, A. Impaired Perception of Biological Motion in Parkinson's Disease. **Neuropsychology**, v. 30, n. 6, p. 720–730, 2016.

JEANNEROD, M. The Cognitive Neuroscience of Action. **Trends in cognitive Science**, v. 1, n. 6, 1997.

JEANNEROD M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. **Neuroimage**, v. 14, p. 103–109, 2001.

JEANNEROD, M. The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 17, p. 187–202, 1994.

KANDEL, E.; SCHWARTZ, J.; JESSELL, T.; SIEGELBAUM, S.; HUDSPETHN, A. Principles of neural science. In: Kandel, E.; Schwartz, J.; Jessel, T. (eds). **The basal ganglia**. McGraw-Hill, Montréal, 2000. p. 851–867.

KAWATO, M. Internal models for motor control and trajectory planning. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 9, n. 6, p. 718-745, 1999.

KILNER, J. M.; FRISTON, K. J.; FRITH, C. D. Predictive coding: An account of the mirror neuron system. **Cognitive Processing**, v. 8, p. 159-166, 2007.

KILNER, J. M.; VARGAS, C.; DUVAL, S.; BLAKEMORE, S. J.; SIRIGU, A. Motor activation prior to observation of a predicted movement. **Nature Neuroscience**, v. 7, n. 12, p. 1299-1301, 2004.

KLOETERS, S.; HARTMANN, C. J.; PUNDMANN, V. D.; SCHNITZLER, A.; SÜDMEYER, M.; LANGE, J. Impaired perception of human movements in parkinson's disease. **Behavioural Brain Research**, v. 15, n. 317, p. 88-94, 2016.

KOLLER, S. H.; CAMINO, C.; RIBEIRO, J. Adaptação e Validação Interna de Duas Escalas de Empatia para Uso no Brasil. **Estudos de Psicologia**, v. 18, p. 43-53, 2001.

KRASKOV, A.; PHILIPP, R.; WALDERT, S.; VIGNESWARAN, G.; QUALLO, M. M.; LEMON, R. N. Corticospinal mirror neurons. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 369, n. 1644, 2014.

LEGGIO, M. G.; TEDESCO, A. M.; CHIRICOZZI, F. R.; CLAUSI, S.; ORSINI A.; MOLINARI, M. Cognitive sequencing impairment in patients with focal or atrophic cerebellar damage. **Brain**, v. 131, p. 1332-1343, 2008.

LINGNAU, A.; DOWNING, P. E. The lateral occipitotemporal cortex in action. **CellPress**, v. 19, n. 5, 2015.

MARCEGLIA, S.; FIORIO, M.; FOFFANI, G.; MRAKIC-SPOSTA, S.; TIRITICCO, M.; LOCATELLI, M.; CAPUTO, E.; TINAZZI, M.; PRIORI, A. Modulation of beta oscillations in the subthalamic area during action observation in Parkinson's disease. **Neuroscience**, v. 161, p. 1027–1036, 2009.

MIALL, R. C. Connecting mirror neurons and forward models. **Neuroreport**, v. 14, n. 17, p. 2135–2137, 2003.

MURATA, A.; GALLESE, V.; LUPPINO, G.; KASEDA, M.; SAKATA, H. Selectivity for the shape, size, and orientation of objects for grasping in neurons of monkey parietal area AIP. **Neuropsychologia**, v. 83, p. 2580–2601, 2000.

NAMBU, A. A new dynamic model of the cortico-basal ganglia loop. **Progress in Brain Research**, v. 143, p. 461-466, 2004.

OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v. 9, n. 1, p. 97-113, 1971.

POLIAKOFF, E.; GALPIN, A.; DICK, J.; MOOREC, P.; TIPPER, S. P. The effect of viewing graspable objects and actions in Parkinson's disease. **Sensory and Motor Systems**, v. 18, p. 483-487, 2007.

POLIAKOFF, E.; GALPIN, A. J.; DICK, J.; TIPPER, S. P. Does Parkinson's disease affect judgement about another person's action? **Experimental Brain Research**, v. 204, p. 327–331, 2010.

PRINZ, W. A common-coding approach to perception and action. In: O. Neumann e W. Prinz (eds.). **Relationships between perception and action: Current approaches**. Berlin, New York: Springer, 1990, p. 167-201.

PUCE, A.; PERRETT, D. Electrophysiology and brain imaging of biological motion. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 358, p. 435-445, 2003.

RIZZOLATTI, G.; CRAIGHERO, L. The mirror-neuron system. **Annual Review of Neuroscience**, v. 27, p. 169–192, 2004.

RIZZOLATTI, G.; SINIGAGLIA, C. The mirror mechanism: a basic principle of brain function. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 17, n. 12, p. 757-765, 2016.

SAILER, U.; FLANAGAN, J. R.; JOHANSSON, R. S. Eye-hand coordination during learning of a novel visuomotor task. **The Journal of Neuroscience**, v. 25, p. 8833-8842, 2005.

SCHAPIRA, A. H. V.; CHAUDHURI, K. R.; JENNER, P. Non-motor features of Parkinson disease. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 18, n. 7, p. 435-450, 2017.

SCHIFFER, A. M.; NEVADO-HOLGADO, A.; JOHNEN, A.; SCHÖNBERGER, A. R.; FINK, G. R.; SCHUBOTZ, R. Intact action segmentation in Parkinson's disease: Hypothesis testing using a novel computational approach. **Neuropsychologia**, v. 78, p. 29–40, 2015.

THOBOIS, P. F. S.; DOMINEY, J.; DECETY, P.; POLLAK, M. C.; GREGOIRE, D.; LE BARS, L. E.; BROUSSOLLE, E. Motor imagery in normal subjects and in asymmetrical Parkinson's disease A PET study. **Neuropsychologia**, v. 55, p. 996–1002, 2000.

TREMBLAY, F.; LÉONARD, G.; TREMBLAY, L. Corticomotor facilitation associated with observation and imagery of hand actions is impaired in Parkinson's disease. **Experimental Brain Research**, v. 185, p. 249–257, 2008.

UMILTÀ, M. A.; KOHLER, E.; GALLESE, V.; FOGASSI, L.; FADIGA, L.; KEYSERS, C.; RIZZOLATTI, G. I know what you are doing: a neurophysiological study. **Neuron**, v. 31, n. 1, p. 155-165, 2001.

URGESI, C.; MAIERON, M.; AVENANTI, A.; TIDONI, E.; FABBRO, F.; AGLIOTI, S.M. Simulating the Future of Actions in the Human Corticospinal System. **Cerebral Cortex**, v. 20, p. 2511-2521, 2010.

VERBAAN, D.; MARINUS, J.; VISSER, M.; VAN ROODEN, S. M.; STIGGELBOUT, A. M.; MIDDELKOOP, H. A. M.; et al. Cognitive impairment in Parkinson's disease. **Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry**, v. 78, n. 11, p. 1182-1187, 2007.

WOLPERT, D. M. Computations in Sensorimotor Learning. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 79, p. 93-98, 2014.

WOLPERT, D. M.; FLANAGAN, J. R. Motor prediction. **Current Biology**, v. 11, p. 729-732, 2001.

WOLPERT, D. M.; GHAHRAMANI, Z. Computational principles of movement neuroscience. **Nature Neuroscience**, v. 3, p. 1212-1217, 2000.

WOLPERT, D. M.; GHAHRAMANI, Z.; JORDAN, M. An internal model for sensorimotor integration. **Science**, v. 269, p. 1880-1882, 1995.