



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Sincronia Inter-Cerebral em Interações Cooperativas e Competitivas: Uma Revisão Sistemática em Estudos de *Hyperscanning*

Tânia Maria Porcaro Muratori

Mestrado em Ciências em Emoções

Orientadora:

Doutora Rita Isabel Jerónimo, Professora Auxiliar,
Iscte - Instituto Universitário de Lisboa

Co-Orientadora:

Doutora Diana Prata, Professora Auxiliar Convidada,
Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências

Novembro, 2021

Departamento de Psicologia Social e das Organizações

Sincronia Inter-Cerebral em Interações Cooperativas e Competitivas: Uma Revisão Sistemática em Estudos de *Hyperscanning*

Tânia Maria Porcaro Muratori

Mestrado em Ciências em Emoções

Orientadora:

Doutora Rita Isabel Jerónimo, Professora Auxiliar,
Iscte - Instituto Universitário de Lisboa

Co-Orientadora:

Doutora Diana Prata, Professora Auxiliar Convidada,
Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências

Novembro, 2021

Resumo

A interação social está no cerne dos comportamentos, mas os seus mecanismos neurais subjacentes continuam insuficientemente compreendidos. Pouco se sabe sobre sincronia inter-cerebral e seu significado nas interações cooperativas e competitivas. Essa limitação decorre de constrangimentos metodológicos. O *hyperscanning* foi proposto como um paradigma capaz de enfrentar este desafio. Esta revisão teve dois objetivos: verificar padrões de sincronia inter-cerebral nos estudos de *hyperscanning* durante cooperação e competição, e explorar fatores que influenciam esses padrões. Esta revisão foi conduzida sob as diretrizes PRISMA. Foi realizada pesquisa para artigos em inglês, publicados de 2002 a 2021 nas bases: *Web of Science*, *PubMed*, *Scopus*, *PsycINFO* e *PsycARTICLES*. Foram incluídos estudos empíricos, publicados em periódicos revisado por pares, apresentando interações entre indivíduos neurotípicos. Dos 30 estudos selecionados foram extraídos os dados: paradigma, equipamento, método de análise, resultados, tarefa, amostra, composição sexual das equipas, conexão prévia, contato visual, e correlação entre medidas comportamentais e neurofisiológicas. Um aumento da sincronia inter-cerebral foi encontrado, em pelo menos uma condição experimental, em todos estudos que avaliaram cooperação. A competição apresentou aumento da sincronia em pouco mais da metade dos estudos. Os estudos que avaliaram o efeito do sexo, familiaridade e contato visual encontraram resultados distintos entre condições. Os resultados ilustram que o *hyperscanning* é uma abordagem capaz de proporcionar avanço na compreensão das interações, através de um maior conhecimento de como, onde e quando ocorrem sincronizações inter-cerebrais. Contudo, mais estudos que explorem variáveis que afetam a sincronia, e que adotem tarefas mais complexas e naturalista são ainda necessários.

Palavras-chave: interação social; sincronia inter-cerebral; *hyperscanning*; cooperação; competição.

Classificação nas categorias definidas pela *American Psychological Association (PsycINFO Classification Categories and Codes)*: 2300 Psicologia experimental humana; 2360 Motivação & Emoção; 2520 Neuropsicologia e Neurologia; 2560 Psicofisiologia; 3040 Percepção Social e Cognição.

Abstract

Social interaction is at the heart of behaviors, but its underlying neural mechanisms remain poorly understood. Little is known about inter-brain synchrony and its significance in cooperative and competitive interactions. This limitation is due to methodological constraints. Hyperscanning was proposed as a paradigm capable of facing this challenge. This review had two objectives: to verify patterns of inter-brain synchrony in hyperscanning studies during cooperation and competition, and to explore factors that influence these patterns. This review was conducted under PRISMA guidelines. A search was carried out for articles in English, published from 2002 to 2021 in the following databases: Web of Science, PubMed, Scopus, PsycINFO and PsycARTICLES. Empirical studies, published in peer-reviewed journals, showing interactions between neurotypical individuals were included. From the 30 selected studies, data were extracted: paradigm, equipment, method of analysis, results, task, sample, sexual composition of the teams, prior connection, eye contact, and correlation between behavioral and neurophysiological measures. An increase in inter-brain synchrony was found, in at least one experimental condition, in all studies that evaluated cooperation. Competition showed increased synchrony in just over half of the studies. Studies that looked at the effect of sex, familiarity, and eye contact found different results among the conditions. The results illustrate that hyperscanning is an approach capable of providing advances in the understanding of interactions, through greater knowledge of how, where and when inter-brain synchronizations occur. However, more studies that explore variables that affect synchrony, and that adopt more complex and naturalistic tasks are still needed.

Key words: social interaction; inter-brain synchrony; hyperscanning; cooperation; competition.

Classification as defined by the American Psychological Association (PsycINFO Classification Categories and Codes): 2300 Human experimental psychology; 2360 Motivation & Emotion; 2520 Neuropsychology and Neurology; 2560 Psychophysiology; 3040 Social Perception and Cognition.

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
CAPÍTULO 1. Introdução	1
1.1. Sincronia Inter-Cerebral	1
1.2. <i>Hyperscanning</i>	2
1.3. Estruturas da Interação	5
1.4. Cooperação e Competição	8
1.5. Fatores que Influenciam a Sincronia Inter-Cerebral	10
1.6. Objetivos	12
CAPÍTULO 2. Métodos	15
2.1. Estratégias de Pesquisa	15
2.2. Critério de Seleção	15
2.3. Revisão Sistemática	17
2.4. Avaliação de Qualidade	17
CAPÍTULO 3. Resultados	19
3.1. Visão Geral	19
3.2. Cooperação Cognitiva	24
3.3. Cooperação Motora	26
3.4. Competição Cognitiva	29
3.5. Competição Motora	30
CAPÍTULO 4. Discussão	33
4.1. Interações Cooperativas e Competitivas	33
4.2. O Papel do Sexo dos Elementos das Equipas	34
4.3. O Papel da Familiaridade entre os Elementos das Equipas	34
4.4. O Papel do Contato Visual entre os Elementos das Equipas	35
4.5. Interações Cognitivas e Motoras	35
4.6. Regiões Corticais Envolvidas	36
4.7. Considerações Metodológicas	38
4.8. Limitações Metodológicas dos Estudos Revisados	39
4.9. Limites desta Revisão	41
4.10. Direções Futuras	42
CAPÍTULO 5. Conclusão	45

Referências Bibliográficas	47
Anexo. Pontuação da avaliação da qualidade de todos os estudos revisados de acordo com os critérios do Quadro 2.2	59

Índice de Quadros e Figuras

Figura 1.1. <i>Diferentes abordagens no estudo da neurociência da cognição social</i>	3
Figura 2.1. <i>Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos estudos</i>	16
Quadro 2.2. <i>Lista de pontuação de 12 itens com a percentagem de estudos que alcançaram a mais alta pontuação em cada item</i>	18
Quadro 3.1. <i>Descrição dos estudos incluídos</i>	20
Figura 3.2. <i>Frequência com que foi encontrado o aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos que avaliaram a cooperação cognitiva</i>	24
Figura 3.3. <i>Frequência com que foi encontrado o aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos que utilizaram a cooperação motora</i>	27
Figura 3.4. <i>Frequência com que foi encontrado aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos de competição cognitiva</i>	29
Figura 3.5. <i>Frequência com que foi encontrado aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos que investigaram a competição motora</i>	31

CAPÍTULO 1

Introdução

A interação social está no cerne dos comportamentos humanos, e é parte fundamental da vida cotidiana (Dumas, Kelso, & Nadel, 2014). Interação social pode ser definida como ações individuais simultâneas ou sequenciais, que afetam os resultados imediatos e futuros dos outros indivíduos envolvidos na situação (Johnson & Johnson, 2005). Apesar dos comportamentos e cérebros humanos serem moldados e funcionarem em interação contínua com outros humanos (Hari & Kujala, 2009), por dificuldades metodológicas relacionadas com a dinâmica complexa das situações de interação, os mecanismos neurais subjacentes ao comportamento interativo continuam sendo uma das áreas ainda pouco compreendidas na neurociência (Kelsen, Sumich, Kasabov, Liang, & Wang, 2020).

Muito se sabe hoje a respeito da identificação de um conjunto de regiões que compõem o nosso cérebro social, como amígdala, córtex orbitofrontal, córtex pré-frontal medial e sistema de neurônios espelho, mas pouco ainda se sabe sobre como essas regiões do cérebro funcionam, e como as informações são transferidas entre os cérebros dos indivíduos em interações dinâmicas em tempo real. De acordo com os paradigmas experimentais clássicos, a cognição social foi sendo explorada medindo as atividades cerebrais dos sujeitos durante o desempenho individual ou durante interações por turnos com medições sequenciais (não simultâneas), em ambientes artificiais, que não permitiam a encenação ecológica de trocas sociais da vida real (Czeszumski et al., 2020). Muitos estudos examinaram a cognição social de uma perspectiva da percepção, apresentando aos participantes isolados, fotos ou vídeos socialmente relevantes (Pfeiffer, Timmermans, Vogeley, Frith, & Schilbach, 2013). Este tipo de investigação decorre do pressuposto de que os processos sociais que nos permitem interagir com os outros são internalizados e, portanto, poderiam ser compreendidos pela investigação de cérebros individualmente (Konvalinka & Roepstorff, 2012). Entretanto, os avanços tecnológicos permitiram um novo paradigma experimental, que consiste em estudar os cérebros de duas pessoas ou mais, simultaneamente, interagindo em dinâmicas mútuas reais, em vez de apenas examinar cérebros individuais em contextos pseudossociais, o que trouxe novos avanços na investigação da cognição social (Schilbach et al., 2013).

1.1. Sincronia Inter-Cerebral

A neurociência de segunda pessoa, que é baseada na suposição de que a cognição social durante a interação social é, fundamentalmente, diferente da cognição durante a observação social (neurociência de terceira pessoa), sugere que a mesma distinção, provavelmente, se aplica ao mecanismo neural subjacente (Czeszumski et al., 2020). Um dos conceitos centrais emergentes da abordagem da neurociência de segunda pessoa tem sido a premissa da sincronia inter-cerebral (IBS: *Inter-Brain Synchrony*), i.e., a atividade cerebral síncrona em todos os participantes envolvidos numa interação social, resultante da harmonização dos sinais cerebrais entre pessoas interagindo em ambientes mediados socialmente (Redcay & Schilbach, 2019). Hoje, a neurociência dedica-se a explorar o significado funcional da IBS nas dinâmicas interpessoais em tempo real, diferentemente dos primeiros estudos em cognição social, em que eram usados designs *off-line*, e os sujeitos eram isolados um do outro sem realmente tomarem parte nas interações sociais, devido às limitações tecnológicas (Czeszumski et al., 2020).

1.2. *Hyperscanning*

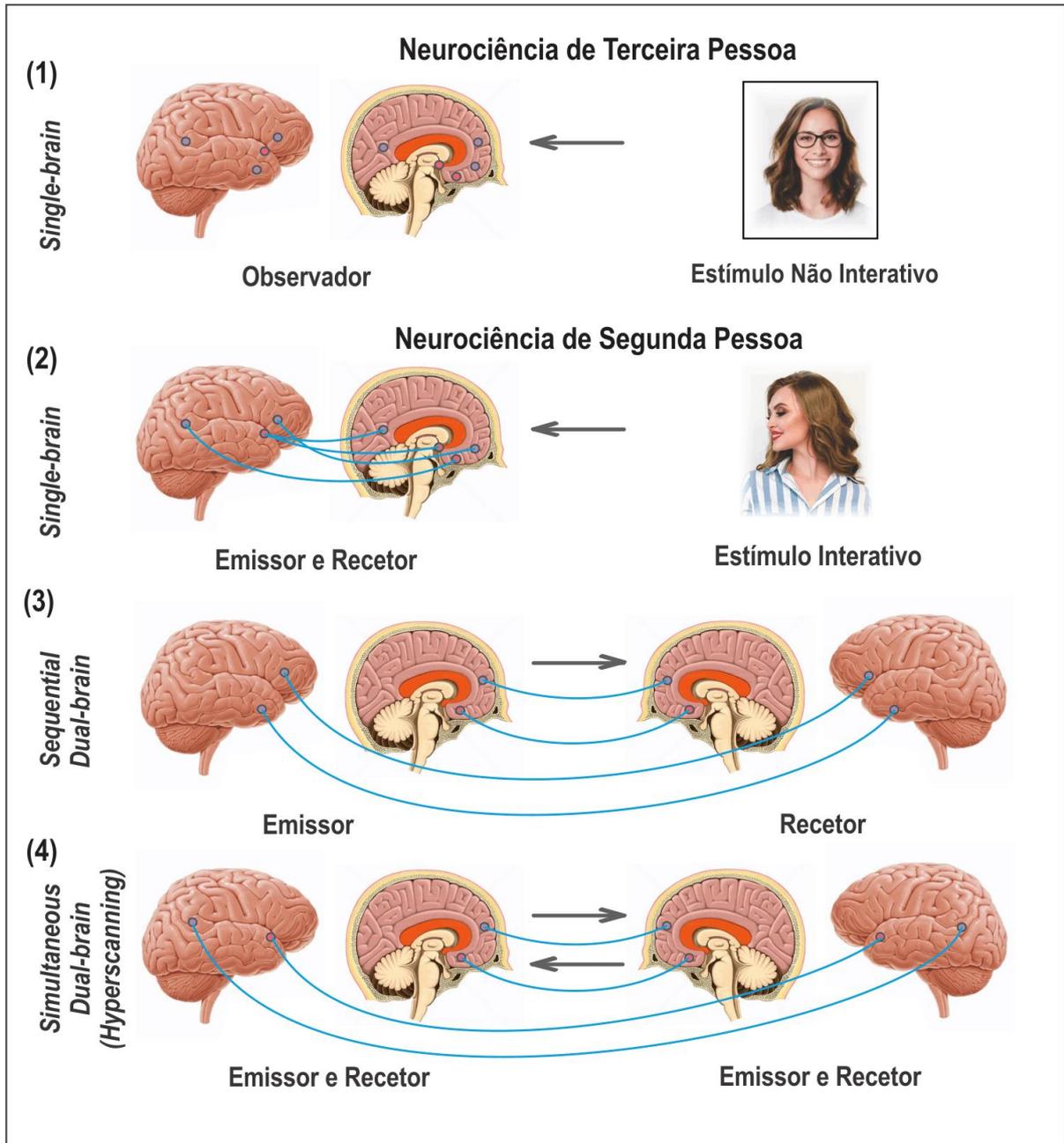
Os chamados experimentos *Dual-brain*, diferentemente da abordagem *Single-brain*, oferecem a possibilidade de recolher dados do cérebro de duas pessoas durante um encontro social, o que permite um exame de como cada cérebro pode influenciar o outro durante a interação social. As abordagens *Dual-brain* incluem estudos simultâneos (*Hyperscanning* ou *Simultaneous Dual-brain*) e sequenciais (*Pseudo-hyperscanning* ou *Sequential Dual-brain*) (Redcay & Schilbach, 2019) (Figura 1.1).

No âmbito da abordagem *Dual-brain*, o *hyperscanning* consiste em registar as atividades cerebrais de vários sujeitos a interagir simultaneamente, e foi proposto, primeiramente, por Montague et al. (2002). O termo *hyperscanning* refere-se, especificamente, ao registo simultâneo da atividade hemodinâmica ou elétrica dos cérebros de vários sujeitos envolvidos em interações sociais para, através de técnicas de análise específicas, calcular a IBS. As técnicas de *hyperscanning* oferecem, portanto, uma nova abordagem para dar conta da complexidade da ação conjunta, nomeadamente, da espontaneidade, reciprocidade e multimodalidade da ação conjunta (Kelsen et al., 2020).¹

¹ Distintamente do *hyperscanning*, que mede as atividades cerebrais dos participantes simultaneamente, o *pseudo-hyperscanning* é uma mensuração semelhante, mas mede as atividades cerebrais de um participante de cada vez. Nestes estudos, os cérebros dos participantes são visualizados em momentos diferentes, mas as atividades neurais podem ser comparadas (Redcay & Schilbach, 2019).

O *hyperscanning* fornece, assim, uma visão sobre como as informações são transferidas entre os parceiros sociais, e como os parceiros sociais podem construir representações compartilhadas. Esta abordagem examina como a ativação dentro de um cérebro pode prever a ativação do cérebro de um parceiro social. É o único método, potencialmente, capaz de examinar a dinâmica emergente entre indivíduos a interagir em tempo real (Liu et al., 2018).

Figura 1.1. *Diferentes abordagens no estudo da neurociência da cognição social.*



Legenda: Figura adaptada de Redcay e Schilbach (2019). **(1)** Na abordagem de terceira pessoa, a atividade de um único cérebro é visualizada, enquanto o participante, no papel de observador, capta passivamente um estímulo não interativo (Schilbach et al., 2013). As marcações no cérebro representam

as atividades cerebrais medidas no participante. (2) A abordagem *Single-brain* de segunda pessoa permite a interação recíproca entre os participantes, mas apenas a reação do cérebro de um participante é medida (Czeszumski et al., 2020). (3) No método *Sequential Dual-brain*, o padrão de atividade neural do emissor pode ser comparado com o do recetor para determinar como a atividade cerebral de um participante influencia a do outro, unidireccionalmente, durante o envio ou recebimento de sinais. Nestes estudos sequenciais, a atividade cerebral do recetor é medida num momento posterior (Redcay & Schilbach, 2019). (4) A abordagem *Simultaneous Dual-brain* pode medir, em tempo real, a IBS dos participantes engajados na interação social (Kelsen et al., 2020). As linhas entre as imagens cerebrais representam as IBS durante o envio e recebimento de sinais ou mensagens do outro participante.

As técnicas mais populares de medir as atividades cerebrais no *hyperscanning* são a eletroencefalografia (EEG), magnetoencefalografia (MEG), imagem por ressonância magnética funcional (fMRI) e espectroscopia de infravermelho próximo funcional (fNIRS). Cada uma destas técnicas tem suas vantagens e desvantagens. Principalmente, quando se trata de *hyperscanning*, as particularidades específicas de cada técnica, como resolução temporal e espacial, bem como mobilidade, são valiosas. O EEG e fNIRS são os métodos mais comumente utilizados em ambientes ecológicos, dadas as vantagens na resolução temporal, logística, viabilidade e custo (Babiloni & Astolfi, 2014). Estas diferentes técnicas utilizam distintos métodos de análise para calcular a IBS. Os estudos com EEG empregam, principalmente, medidas de Valor de Bloqueio de Fase (PLV) (e.g., Barraza, Pérez, & Rodríguez, 2020; Hu et al., 2018; Yun, Watanabe, & Shimojo, 2012). Já em estudos com fMRI, a similaridade de sinais entre cérebros pode ser estimada através da Dependência Linear e do Coeficiente de Correlação Pearson (e.g., Abe et al., 2019; Xie et al., 2020), e os estudos com fNIRS, comumente, empregam medidas de Coerência de Transformada de Wavelet (WTC) (e.g., Li et al., 2020; Lu & Hao, 2019; Nguyen et al., 2020) (Czeszumski et al., 2020).

Embora a abordagem do *hyperscanning* tenha a vantagem de ser capaz de investigar e relacionar as respostas neurais entre os diferentes cérebros que interagem, ela apresenta desafios metodológicos significativos em termos de análise de dados e implementação de tarefas experimentais adequadas. Além disso, precisa ser descartada a possibilidade de que a IBS observada seja devida à apresentação síncrona de estímulos para ambos os participantes, em vez de estar relacionada à dinâmica da interação em si (Redcay & Schilbach, 2019).

As investigações de *hyperscanning*, durante a interação social, demonstram o envolvimento de áreas cerebrais pertencentes à rede da Teoria da Mente (ToM) (e.g., junção temporoparietal,

córtex pré-frontal dorsomedial, córtex pré-frontal ventromedial e precuneus), à rede dos neurônios espelho (e.g., lóbulo parietal inferior, córtex pré-motor ventral, giro frontal inferior e córtex somatossensorial), e à rede da recompensa (e.g., área tegmental ventral, núcleo accumbens, estriado ventral e córtex pré-frontal medial), que formam, em conjunto, uma rede de interação social integrada (Redcay & Schilbach, 2019). Embora os dados ainda sejam limitados, o *hyperscanning* sugere diferenças na organização dessas redes e/ou diferentes computações dentro dessas redes durante a interação social (Czeszumski et al., 2020).

Os estudos de *hyperscanning* investigaram situações em que os participantes se envolviam nas mais diversas tarefas interativas, como, por exemplo, jogos econômicos na tomada de decisão social (e.g., Astolfi et al., 2011; King-Casas et al., 2005), comunicação (e.g., Jiang et al., 2012), tarefas de premir tecla e movimento dos dedos sincronizados (e.g., Cui, Bryant, & Reiss, 2012; Holper, Scholkmann, & Wolf, 2012; Yun et al., 2012), e tarefa de olhar (e.g., Saito et al., 2010). Embora estes estudos tenham trazido uma perspectiva verdadeiramente de segunda pessoa para a neurociência social, ainda apresentavam limitações nos tipos de interações examinadas, muitas das quais não eram características da maioria das interações sociais cotidianas. Com o tempo, o número de estudos de *hyperscanning* proliferou, e os paradigmas experimentais empregados aumentaram em diversidade e complexidade para examinar a IBS enquanto os sujeitos interagem por meio de estratégias complexas, que requerem elementos de cooperação, competição e decepção (e.g., Balconi, & Vanutelli, 2017; Balconi, Pezard, Nandrino, & Vanutelli, 2017; Toppi et al., 2016) em uma variedade de ambientes ecológicos, incluindo cenários educacionais, criativos e de resolução de problemas (e.g., Dikker et al., 2017; Maysless, Hawthorne, & Reiss, 2019; Xue, Lu, & Hao, 2018).

1.3. Estruturas da Interação

De acordo com Liu e Pelowski (2014), ao interagir com outras pessoas em um contexto social, o comportamento humano é, normalmente, afetado por dois fatores: (1) a estrutura das interações, que são de dois tipos: (a) interação motora simultânea, que exige sincronia corpomovimento entre duas pessoas, e (b) interação cognitiva, que se baseia na sincronia da mentalidade, isto é, manter representações mentais da própria intenção e da dos outros simultaneamente; e (2) a estrutura dos objetivos, sendo de dois tipos: (a) cooperação, na qual os indivíduos facilitam a realização de metas dos outros, e (b) competição, na qual os indivíduos obstruem as realizações dos outros.

Para compreender claramente os mecanismos inter-cerebrais subjacentes ao comportamento interativo humano, é importante esclarecer a estrutura das interações (motora ou cognitiva), a estrutura dos objetivos (cooperação ou competição) nos estudos de *hyperscanning* (Liu & Pelowski, 2014). Diferentes estruturas das interações e dos objetivos podem envolver processos neurais distintos, exigindo, assim, uma interpretação cuidadosa. Esta distinção clara dos estudos quanto às estruturas é importante para a interpretação e compreensão da IBS revelada nas várias tarefas experimentais (Liu, Duan, Dai, Pelowski, & Zhu, 2021).

As tarefas mais usadas em estudos de *hyperscanning* para avaliar interações motoras, que exigem sincronizações mútuas entre duas pessoas, são jogos simples de premir botão (e.g., Baker et al., 2016; Barraza et al., 2020; Cui et al., 2012). Este paradigma convencional é usado para estudar a sincronização motora e seus fundamentos neurais, como a IBS, e exige que os participantes executem apenas um toque de botão sincronizado temporalmente após um intervalo predefinido de tempo. Como resultado destes estudos, foi encontrado um melhor desempenho na tarefa, relacionado a uma maior IBS em áreas frontais do cérebro, bem como a uma conexão social mais forte entre os participantes (e.g., Funane et al., 2011; Hu, Hu, Li, Pan, & Cheng, 2017; Mu, Guo, & Han, 2016; Pan, Cheng, Zhang, Li, & Hu, 2017). Em contraste com essas configurações experimentais minimalistas, vários estudos aplicaram o *hyperscanning* em tarefas motoras mais complexas, como tocar música em conjunto (e.g., Lindenberger, Li, Gruber, & Müller, 2009; Müller, Sänger, & Lindenberger, 2013), tarefa de imitação do toque do dedo (e.g., Holper et al., 2012), tarefa conjunta de produção de força (e.g., Abe et al., 2019) e sincronização inconsciente do movimento da ponta do dedo (e.g., Yun et al., 2012).

A sincronização motora pode ir além de uma mera ação compartilhada e pode impactar diretamente as ligações entre o eu e os outros no cérebro. À medida que os indivíduos se movem em sincronia, isso pode contribuir para a perda de nitidez da fronteira entre o eu e o outro, devido ao recrutamento de regiões empregadas no processamento de suas próprias ações e das ações dos outros, ou à avaliação dos sentimentos e estados psicológicos próprios e dos outros (Reddish, Fischer, & Bulbulia, 2013). Cada uma dessas possibilidades, ou alguma combinação, forneceria uma visão fascinante sobre nosso funcionamento social, e propensão para trabalhar em grupos, ligando nossos comportamentos e cérebros, bem como, revelaria como a IBS pode ser experimentalmente e comportamentalmente aplicada para facilitar certos resultados (Liu et al., 2021).

Como tarefa mais exigente, as performances musicais oferecem condições experimentais interessantes, uma vez que combinam cooperação e sincronização de ação interpessoal, bem

como interação contínua (Acquadro, Congedo & De Riddeer, 2016). Uma variedade de estudos investigou a sincronização neural durante performances musicais cooperativas (e.g., Babiloni et al., 2011; Novembre, Sammler, & Keller, 2016; Osaka, Minamoto, Yaoi, Azuma, & Osaka, 2014; Osaka et al., 2015). O estudo de Müller et al. (2013) investigou a improvisação musical em díades de violonistas, evidenciando um aumento da IBS durante a improvisação conjunta, mas não durante a improvisação individual, enquanto o outro participante apenas ouvia. Osaka et al. (2014) compararam a IBS dos participantes durante um cantarolar cooperativo de uma música com um cantarolar independente. Os resultados indicaram aumento da IBS durante a condição cooperativa, mas não na condição independente.

As tarefas cognitivas, as quais demandam representações mentais da própria intenção e da dos outros simultaneamente, com o recrutamento de regiões empregadas em processos de empatia ou Teoria da Mente, são mais exigentes e naturalistas (Gilam & Hendler, 2016), como tarefas de jogos *Puzzle* (e.g., Fishburn et al., 2018), jogos de atenção conjunta (e.g., Balconi & Vanutelli, 2018; Liu, Saito, Lin, & Saito, 2017), jogos de cartas (e.g., Zhang, Liu, Pelowski, Jia, & Yu, 2017), interações da Teoria dos Jogos (Jogo Dilema do Prisioneiro, e.g., Hu et al., 2018; Jogo do Ultimato, e.g., Tang et al., 2016), e até tarefas de cálculos matemáticos (e.g., Sun et al., 2020), tarefas de *brainstorming* (e.g., Lu & Hao, 2019; Lu, Teng, & Hao, 2020) e tarefas de resolução de problemas (e.g., Duan et al., 2020; Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Xue et al., 2018).

Ao estudar os mecanismos neurais subjacentes a essas habilidades cognitivas, a pesquisa de *hyperscanning* fornece oportunidades para investigar os efeitos inter-cerebrais que as acompanham em situações bem próximas a da vida real, como em simulações de voo com duplas de pilotos e copilotos (e.g., Astolfi et al., 2011a, 2012; Toppi et al., 2016). Os resultados mostraram maior IBS nos córtex parietal durante as fases mais exigentes da simulação, o que pode ser atribuído à maior carga cognitiva, bem como no córtex frontal, o que é compatível com o aumento de recursos empregados para processamento de informações (Toppi et al., 2016). Uma aplicação também inovadora foi proposta por Balconi e Venturella (2017), que propuseram um estudo sobre a dinâmica cerebral que ocorre durante uma avaliação de funcionários em duplas de gerente-colaborador. Os resultados evidenciaram um aumento da IBS durante as trocas intersubjetivas construtivas, bem como nos momentos de compartilhamento dos objetivos da empresa em relação ao período de repouso. Tais exemplos são relevantes na medida em que aproximam a neurociência das situações da vida real, onde o desempenho depende de uma boa dinâmica cooperativa/competitiva.

1.4. Cooperação e Competição

A cooperação e a competição são dois modelos comuns e opostos de troca interpessoal, pelo que deveriam ser, preferencialmente, explorados medindo as reações dos sujeitos durante o desempenho em interações multissujeito, através do registo simultâneo das atividades cerebrais dos múltiplos participantes (Decety, Jackson, Sommerville, Chaminade, & Meltzoff, 2004). Neste tipo de interação, os indivíduos podem facilitar, no caso da cooperação, ou obstruir, no caso da competição, a realização dos objetivos dos outros. No entanto, as duas modalidades compartilham algumas características importantes. Em primeiro lugar, do ponto de vista evolutivo, ambos são reconhecidos como padrões de comportamento humano dedicados à sobrevivência, embora de maneiras diferentes (Balconi & Vanutelli, 2017). Em segundo lugar, ambos requerem capacidades de monitorização e mentalização, para atribuir estados mentais, como pensamentos, crenças e desejos, aos outros (Flavell, 1999) e, assim, antecipar e prever as intenções dos outros e ajustar a própria ação concordantemente (Decety & Sommerville, 2003).

A tomada de decisão interativa é uma das atividades mais onipresentes nos seres humanos, e é definida como o processo dinâmico de fazer escolhas dependendo dos comportamentos de decisão anteriores do parceiro e de outras pistas sociais em tarefas interativas (Nummenmaa, Lahnakoski, & Glerean, 2018). O processo de tomada de decisão sempre requer alto grau de envolvimento cognitivo entre os indivíduos interativos. Tal atividade envolve comportamentos direcionados a objetivos, cognição social e habilidades da Teoria da Mente (Gilam & Hendler, 2016). O *hyperscanning* em contextos de jogos fornece evidências abundantes para o processo neural de tomada de decisão interativa durante as interações sociais (e.g., Balconi & Vanutelli, 2016; Hu et al., 2018; Jahng, Kralik, Hwang, & Jeong, 2017; King-Casas et al., 2005; Liu et al., 2016, 2017).

Pesquisas oriundas da tradição da Teoria dos Jogos são relevantes na medida em que fornecem uma ferramenta padronizada para comparar diretamente a cooperação e a competição (e.g., Tang et al., 2016; Shaw et al., 2018). Estudos, que utilizam o paradigma do jogo Dilema do Prisioneiro (e.g., Astolfi et al., 2009, 2010, 2011; Babiloni et al., 2007; Fallani et al., 2010), são ainda importantes na medida em que esta é uma tarefa de cooperação/competição, que requer a decisão ou de cooperar ou competir, permitindo o estudo de ambas as condições dentro da mesma configuração. Além do jogo Dilema do Prisioneiro, os estudos de *hyperscanning* utilizaram também outros tipos de jogos, que também possibilitam a tomada de decisão ou de cooperar ou de competir, como por exemplo, jogo da galinha (Astolfi et al., 2010), jogos de

disco de interação por turnos (Liu, Saito, & Oi, 2015; Liu et al., 2017), “jogo Jenga” (Liu et al., 2016) e jogo de ping-pong (Sinha, Maszczyk, Wanxuan, Tan, & Dauwels, 2016). O estudo de Liu et al. (2016) avaliou díades engajadas na interação cooperativa e obstrutiva enquanto jogavam o “jogo Jenga”, observando um aumento da IBS na região posterior do giro frontal médio e superior direito durante a interação cooperativa e obstrutiva em comparação com a linha de base. Liu et al. (2017) avaliaram a IBS de participantes a jogar um jogo de disco de tomada de turnos em um computador, evidenciando um aumento da IBS através do sulco temporal superior posterior direito dos pares de participantes em ambas as condições de cooperação e competição, e a condição de competição também envolveu um aumento da IBS significativo no lóbulo parietal inferior direito em relação à linha de base.

Contudo, a maioria dos estudos, que envolveu competir ou cooperar com um parceiro, gerava ganho monetário pessoal (e.g., King-Casas et al., 2005; Tomlin et al., 2006), em vez das recompensas sociais inerentes à interação social diária. Estudos com cenários mais próximos do mundo real, que incluíssem interações sociais dinâmicas e irrestritas, forneceriam uma caracterização mais abrangente e ecologicamente válida dos processos neurais da interação social (Czeszumski et al., 2020).

Embora a maioria dos estudos recentes de *hyperscanning* tenha revelado uma sincronização intrigante, permanece difícil explicar exatamente como e porquê a IBS ocorre. As interpretações da IBS ainda são limitadas, o seu significado não é claro, e nem quais são os requisitos mínimos para essa sincronia (Liu & Pelowski, 2014). Ainda surge o questionamento se a IBS reflete a similaridade funcional em tarefas comuns ou uma constituição neural básica de interação interpessoal. É possível que as IBS observadas reflitam apenas semelhanças na estrutura temporal da percepção e ação dos indivíduos, e não uma interação interpessoal cooperativa/competitiva. Também ainda não está claro se a IBS causa a sincronização efetiva do movimento entre os pares (Liu et al., 2021).

De acordo com Hu et al. (2018), duas hipóteses foram propostas para explicar o surgimento da IBS na interação social: (1) a hipótese da interação cooperativa, e (2) a hipótese da tarefa semelhante. Uma linha de evidências demonstrou que as atividades neurais de dois indivíduos são mais sincronizadas quando realizam interações cooperativas, como cantar (Osaka et al., 2015), contar (Mu et al., 2016), pressionar a tecla (Cheng, Li, & Hu, 2015; Cui et al., 2012; Pan et al., 2017), comunicação do grupo (Jiang et al., 2012; Nozawa, Sasaki, Sakaki, Yokoyama, & Kawashima, 2016), jogos (Liu et al., 2016) e tocar guitarra (Lindenberger et al., 2009; Müller et al., 2013; Sängler et al., 2012; Sängler, Müller, & Lindenberger, 2013). Essas descobertas sugerem que a IBS pode ser derivada da interação interpessoal coerente e, portanto, representa

uma tendência a cooperar entre si (hipótese de interação cooperativa). No entanto, outra linha de evidência mostrou que a sincronia entre cérebros pode ser induzida por algumas atividades de não cooperação ou não interação, por exemplo, assistir a filmes (Nummenmaa et al., 2012), ouvir música (Abrams et al., 2013), e coordenação do ritmo da fala (Kawasaki, Yamada, Ushiku, Miyauchi, & Yamaguchi, 2013). Os participantes desses estudos realizaram a mesma tarefa de forma independente, onde praticamente não existiam interações. A IBS, portanto, pode apenas refletir a similaridade funcional de tarefas comuns (hipótese de tarefa semelhante) (Hu et al. (2018).

Para esclarecer essa questão, há a carência de pesquisas maiores, mais focadas na cooperação e competição, e também mais ecologicamente válidas, especialmente devido ao aspecto social e multiparticipante. Atualmente, a maioria dos estudos é conduzida em laboratório e com tarefas bastante simples. Essas configurações podem ser bastante artificiais, omitindo as condições e atividades pelas quais a sincronia pode normalmente surgir (Liu et al., 2021; Mogan, Fischer, & Bulbulia, 2017).

1.5. Fatores que Influenciam a Sincronia Inter-Cerebral

Embora a neurociência de segunda pessoa tenha trazido maior validade ecológica para o estudo da interação social, os estudos de *hyperscanning* até agora, frequentemente, têm negligenciado os fatores que influenciam a IBS, como a dimensão das relações entre os indivíduos que compõem as duplas ou trios de participantes nos experimentos (Liu et al., 2021). Contudo, de acordo com McAssey, Helm, Hsieh, Sbarra e Ferrer (2013), a conexão psicofisiológica entre dois indivíduos é um elemento intrínseco da ligação afetiva. Na verdade, quando interagimos com outra pessoa em relações afetivas ou familiares, nossos cérebros e corpos não podem mais ser considerados independentes, mas devem ser vistos como parte de um novo ambiente com a outra pessoa, no qual nos tornamos acoplados por meio de uma adaptação mútua e contínua (Konvalinka & Roepstorff, 2012). Além da sincronização neural, tal processo dinâmico e interativo também mostrou resultar em um alinhamento de comportamento (Konvalinka, Vuust, Roepstorff, & Frith, 2010), postura (Shockley, Santana, & Fowler, 2003), sistemas autonômicos como a respiração (Giuliano, Skowron, & Berkman, 2015) e ritmos cardíacos (Konvalinka et al., 2011; Müller & Lindenberger, 2011). Por essas razões, é importante que os paradigmas de *hyperscanning* considerem também os componentes afetivos e de familiaridade entre os participantes em cenários cooperativo e competitivo e, possivelmente, combinem outras medidas autonômicas ou comportamentais (Keysers & Gazzola, 2010).

Alguns poucos estudos tem buscado esclarecer como os relacionamentos românticos afetam a sincronização interpessoal do cérebro (e.g., Duan et al., 2020; Pan et al., 2017). Os estudos de Duan et al. (2020) e Pan et al. (2017) indicaram que os amantes tiveram mais vantagens na interação cooperativa. Além disso, nos cérebros de amantes, de facto, encontraram uma IBS significativamente aumentada em comparação com estranhos. Entre os parceiros, a proximidade social modula o sistema de recompensa, quando os parceiros compartilham ganhos monetários ou compartilham a atenção (Kinreich, Djalovski, Kraus, Louzoun, & Feldman, 2017).

A incerteza sobre a intenção das outras pessoas influencia as interações interpessoais. A interação face a face reduz essa incerteza ao fornecer pistas sociais, como expressão facial, gestos corporais e *feedback* rápido em tempo real (Okdie, Guadagno, Bernieri, Geers, & Mclarney-Vesotski, 2011). Assim, a interação face a face facilita a intencionalidade compartilhada, na qual as pessoas compartilham estados psicológicos (cognitivos, afetivos e motivacionais) entre si, levando a uma melhor compreensão e interações sociais colaborativas (Hill, Bartol, Tesluk, & Langa, 2009). Uma ligação pode ser estabelecida durante uma comunicação não verbal por meio do contato visual (Hirsch, Zhang, Noah, & Ono, 2017).

Tang et al. (2016) mostraram que as interações face a face, em comparação com as de face bloqueada, provocaram maior intencionalidade compartilhada entre parceiros, resultando em menos rejeição, e julgamentos de intenções mais rápidos, facilitando a cooperação. Foi encontrado também maior IBS durante a tomada de decisão com troca econômica em pares a interagirem face a face, em comparação com face bloqueada. No entanto, até agora poucos estudos mensuraram a IBS em interações face a face comparativamente com face bloqueada, de modo a avaliar os efeitos do contato visual sobre as sincronizações neurais (Liu et al., 2021).

Outra questão tem intrigado os investigadores em relação aos fatores que influenciam a IBS. Vários pesquisadores (e.g., Baker et al., 2016; Cheng et al., 2015; Li et al., 2020; Lu et al., 2020) têm procurado entender como o sexo influencia o comportamento social humano e a IBS durante interações cooperativas/competitivas. As diferenças sexuais na interação têm sido explicadas pela teoria autoconstrutiva, a qual sugere que os indivíduos do sexo feminino são interdependentes, e os do sexo masculino são independentes, o que faz com que os femininos sejam mais colaborativos, afiliados e emocionalmente solidários do que os masculinos, e apresentem maiores níveis de prossocialidade, como empatia, altruísmo e emoções positivas (Pan et al., 2017). Embora mais de 50 anos de pesquisa tenham revelado diferenças no comportamento de cooperação/competição de homens e mulheres (Li et al., 2020), as correlações neurais subjacentes dessas diferenças sexuais não foram bem explicadas, ficando

por saber de que modo a composição sexual de uma dupla interagindo influencia o cérebro durante a cooperação/competição (Baker, et al., 2016). Descobertas recentes (e.g., Li et al., 2020; Lu et al., 2020) sugerem que a IBS durante a cooperação pode ser mediada pela composição sexual do par interagindo. Por exemplo, Li et al. (2020) utilizaram uma tarefa de construir blocos para investigar o efeito da composição sexual na IBS durante a cooperação, avaliando interações de díades do mesmo sexo e mistas. Os resultados mostraram uma IBS significativamente mais forte na região frontal inferior na cooperação do que no repouso. Entretanto, apenas as díades masculino-masculino mostraram aumento da IBS na região frontal inferior esquerda. Além do que, a IBS em díades masculino-masculino foi significativamente maior do que nas díades masculino-feminino e feminino- feminino.

De facto, os pesquisadores têm a hipótese de que pressões evolutivas díspares experimentadas entre machos e fêmeas podem ter resultado em diferenças relacionadas ao sexo na cooperação entre humanos modernos (Baker et al., 2016). Diferentes processos neurais estão por trás da cooperação em interações diádicas entre sexo misto e do mesmo sexo, o que levanta questões empíricas importantes sobre a influência do sexo nas assinaturas neurais, o que deveria ser mais explorado nos estudos de *hyperscanning* (Liu et al., 2021).

1.6. Objetivos

A presente revisão teve dois objetivos principais: (1) verificar as semelhanças e diferenças entre os padrões de IBS nos estudos de *hyperscanning* com paradigmas de cooperação e competição durante (a) a interação com movimento simultâneo do corpo (sincronicidade motora), e (b) a interação com representações mentais da própria intenção e da dos outros simultaneamente (sincronicidade cognitiva); e, paralelamente, (2) explorar os fatores que influenciam os padrões de IBS durante as interações sociais de cooperação e competição.

Assim, esta revisão sistemática debruça-se sobre as seguintes questões: (1) Há similaridades/disparidades entre os padrões de IBS obtidos através do *hyperscanning*, em condições de cooperação e de competição durante (a) a interação simultânea motora; e (b) a interação cognitiva entre duas ou mais pessoas? (2) Há fatores (conexão social prévia entre os participantes, composição sexual da equipa e contato visual durante a tarefa) que podem influenciar os padrões de IBS durante as interações sociais de cooperação e competição?

Para responder a estas questões, a presente revisão analisou os padrões de IBS encontrados na literatura, comparando os quatro paradigmas: (1) cooperação cognitiva; (2) cooperação motora; (3) competição cognitiva; e (4) competição motora.

Esta revisão vem acrescentar a este campo de estudo, pois, diferentemente, de revisões anteriores, (Dumas, Lachat, Martinerie, Nadel, & George, 2011; Koike, Tanabe, & Sadato, 2015; Liu & Pelowski, 2014), esta revisão explora as potencialidades do *hyperscanning* para o estudo das interações sociais, fazendo a distinção e análise das similaridades/disparidades entre as interações cooperativas e competitivas, e também entre as tarefas cognitivas e motoras, comparando tanto as variações nos níveis da IBS, como também as regiões cerebrais nelas implicadas. Também, de forma mais completa, engloba estudos com todas as técnicas de mensuração das atividades cerebrais utilizadas no *hyperscanning* (EEG, MEG, fMRI e fNIRS). Além disso, esta revisão é inovadora na medida em que explora os fatores que influenciam a IBS, e verifica a correlação entre medidas comportamentais e neurofisiológicas.

CAPÍTULO 2

Métodos

2.1. Estratégias de Pesquisa

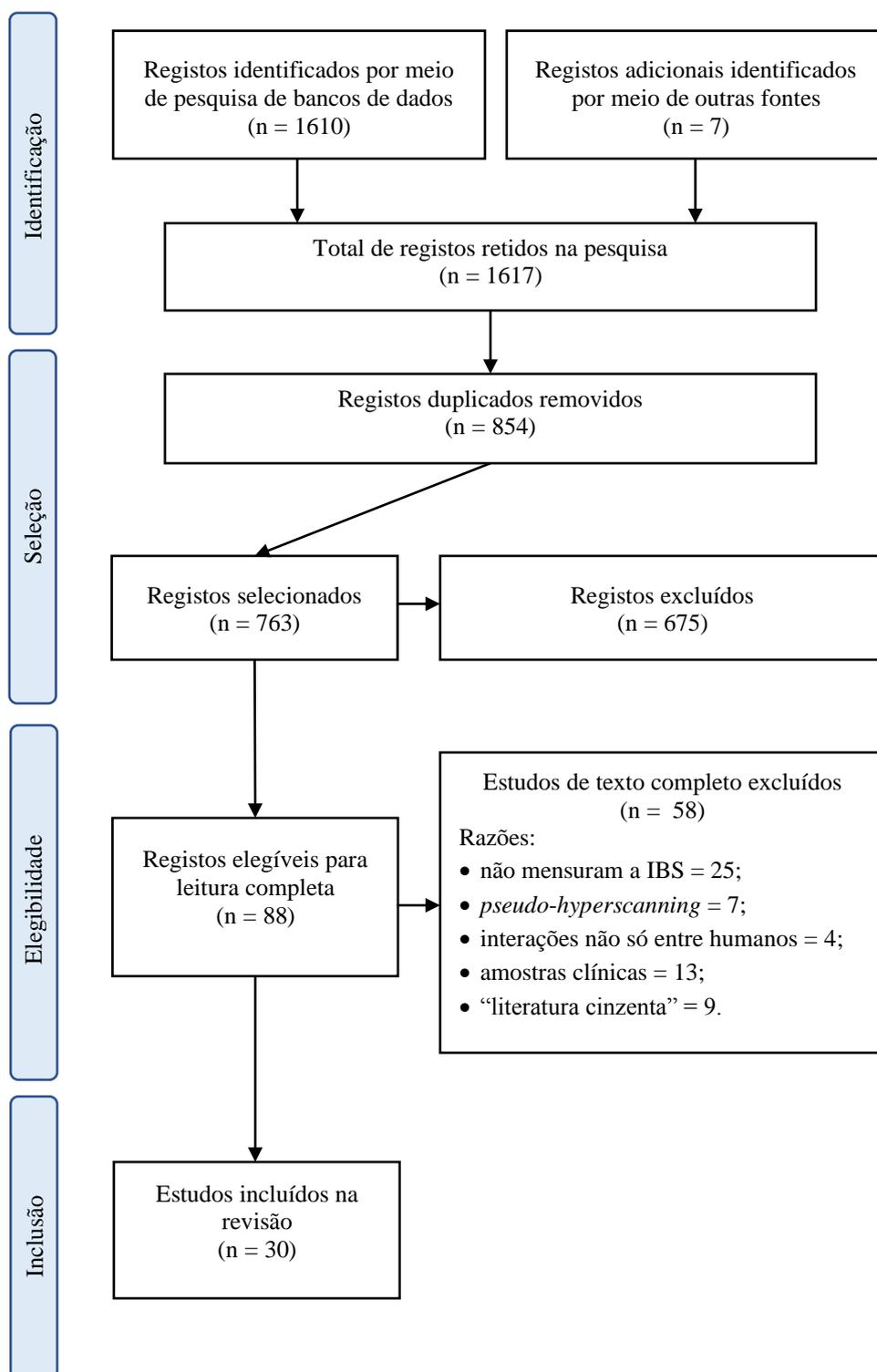
Esta revisão sistemática da literatura foi conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA (Liberati et al., 2009). Uma pesquisa bibliográfica foi realizada no período de 14 de dezembro de 2020 a 07 de fevereiro de 2021 para artigos publicados de 2002 a 07 de fevereiro de 2021 nas seguintes bases de dados/agregadores de recursos: Web of Science, PubMed, Scopus, PsycINFO, PsycARTICLES, Cochrane e EBSCOhost. Também foi feita uma busca complementar no Google Scholar. A pesquisa bibliográfica foi definida para artigos publicados a partir de 2002, porque este foi o ano em que surgiu o primeiro artigo de *hyperscanning*, publicado em periódico com revisão por pares.

A estratégia de pesquisa usada em cada base de dados foi: (*hyperscanning*) AND (*synchrony OR synchronization OR coherence OR phase OR conectivity OR hyperconnectivity OR coupling*) AND (*inter-brain OR interpersonal OR interencephalic OR brain-to-brain*) AND (*cooperation OR cooperative OR competitive OR competition OR collaboration OR obstructive*). A língua de estudo foi restrita ao inglês. Além disso, as listas de referências de todos os estudos incluídos e das revisões excluídas foram pesquisadas, manualmente, em busca de publicações adicionais. Os resultados da pesquisa, incluindo o processo de seleção, são apresentados na Figura 2.1 de acordo com as diretrizes PRISMA.

2.2. Critério de Seleção

Os artigos foram selecionados em duas etapas. Primeiramente, após a eliminação dos duplicados, o título, o resumo e as palavras-chave de cada artigo foram examinados. Caso o artigo fosse inadequado para inclusão com base no título e/ou resumo e/ou palavras-chave, o artigo era excluído. Em seguida, os textos completos dos estudos potencialmente pertinentes foram recuperados, e avaliados quanto à elegibilidade, considerando os critérios estabelecidos. Dos 1617 artigos identificados, 7 foram encontrados por meio de buscas manuais de referências, 854 foram excluídos por duplicação, e outros 675 foram excluídos com base no título e/ou resumo e/ou palavras-chave. Restaram 88 registros elegíveis para leitura completa, dos quais 58 foram excluídos por razões diversas, detalhadas no fluxograma, resultando em 30 artigos incluídos nesta revisão (Figura 2.1).

Figura 2.1. Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos estudos.



Para serem incluídos na revisão, os estudos foram obrigados a: 1) serem escritos em inglês; 2) serem estudos empíricos quantitativos originais; 3) serem publicados em periódicos com

revisão por pares; 4) investigarem interações apenas entre humanos; e 5) incluam apenas amostras de indivíduos neurotípicos.

Os estudos, que abordavam o *hyperscanning*, mas não mensuravam a IBS e/ou não abordavam cooperação ou competição foram excluídos. Foram também excluídos artigos com as seguintes características: 1) amostras clínicas; 2) “literatura cinzenta” (*gray literature*) (e.g., teses e dissertações, anais de conferências, boletins informativos, comunicações informais e relatórios técnicos); 3) revisões e meta-análises; e 4) estudos com abordagem de *pseudo-hyperscanning*.

2.3. Revisão Sistemática

Com o intuito de identificar as características e classificar os 30 estudos incluídos, foi conduzida uma análise metódica de texto completo de cada estudo, extraíndo as seguintes variáveis: (1) autores e data de publicação do artigo, (2) paradigma utilizado, (3) equipamento (4) método de análise da IBS, (5) resultados (padrões de IBS encontrados), (6) regiões cerebrais da IBS, (7) tipo de tarefa, (8) tamanho da amostra, (9) composição sexual das equipas, (10) conexão prévia das equipas, (11) contato visual durante tarefa, e (12) correlação entre medidas comportamentais e neurofisiológicas.

Foram descritos os resultados que sobreviveram a uma significância estatística limiar de $p < .05$ após correção para múltiplas comparações (FDR corrigidos). Após a descrição dos resultados, as principais observações foram apresentadas e, então, discutidas. Finalmente, foram feitas algumas considerações metodológicas com discussão de possíveis limitações apresentadas pelos estudos revisados, como também foram expostas as limitações desta revisão, direções futuras para novos estudos e a conclusão.

2.4. Avaliação de Qualidade

Para avaliar a qualidade dos artigos selecionados, cada estudo foi avaliado em uma lista de pontuação de 12 requisitos de qualidade (Gurung & Prata, 2015; Martins, Mehta & Prata, 2017). A conformidade geral dos estudos com cada critério, isto é, a percentagem de estudos que alcançaram a pontuação mais alta em cada item é apresentada no Quadro 2.2.

Para a apreciação dos estudos, foram extraídas informações do artigo principal ou do material online suplementar. Para cada item, uma pontuação de 0-3 dependia de haver forte (3), alguma (2), pouca (1) ou nenhuma evidência (0) de que o critério havia sido cumprido. A soma

das pontuações dos 12 itens, dividida pela pontuação máxima possível, foi então usada como uma indicação da qualidade de cada estudo (baixa $\leq 69\%$, média 70 -79% e alta $\geq 80\%$). Houve 27 estudos com pontuação “alta”, 2 com pontuação “média” e 1 com pontuação “baixa” de acordo com os critérios (Quadro 3.1). Informações detalhadas sobre o processo de avaliação, como a pontuação total e item por item de cada estudo está disponível no Anexo.

Quadro 2.2. *Lista de pontuação de 12 itens com a percentagem de estudos que alcançaram a pontuação mais alta em cada item.*

Critérios de avaliação de qualidade	% de conformidade
1. A hipótese e os objetivos do estudo foram claramente descritos?	100
2. Foi atribuída uma tarefa válida para provocar os efeitos desejados nos participantes?	80
3. Existe uma descrição clara dos critérios de inclusão e exclusão dos participantes?	93
4. Foram feitos esforços para garantir a falta de viés genotípico ou fenotípico entre os participantes (ou seja, nenhuma condição médica psiquiátrica ou neurológica presente)?	37
5. Foram feitas tentativas para contabilizar os fatores demográficos entre os participantes (ou seja, idade, gênero, lateralidade, QI, nível de educação, tabagismo, abuso de álcool/drogas, etc.)?	87
6. Houve um número adequado de participantes? O tamanho da amostra foi justificado?	67
7. A tarefa e procedimentos foram claramente descritos?	97
8. Havia grupos com composições diferentes para comparação?	27
9. Os parâmetros para aquisição e apreensão de dados foram delineados?	90
10. A metodologia estatística está claramente definida?	97
11. Foi definido um limite de significância estatística aceitável (ou seja, $p < .05$ após correção para comparações múltiplas)?	100
12. Os tamanhos de efeito foram relatados para resultados significativos?	47

CAPÍTULO 3

Resultados

3.1. Visão Geral

Trinta estudos foram incluídos nesta revisão (Figura 2.1). Os estudos incluídos estão sistematizados no Quadro 3.1. A maioria (96,7%) foi publicada após 2011, sendo 73,3% deles publicados entre 2017 e 2021. Uma grande parte dos estudos (43,3%) foi realizada na Ásia, 26,7% na Europa, 26,7% nos Estados Unidos, e 3,3% na América do Sul.

O equipamento predominantemente utilizado foi o fNIRS (73,3%), o EEG foi usado por 20,0% dos estudos, e o fMRI por 6,7%. Nenhum estudo incluído utilizou o MEG.

Do total, 23 estudos (76,7%) investigaram apenas cooperação, 2 (6,6%) só competição, e 5 (16,7%) estudaram tanto a cooperação como a competição dentro da mesma configuração. Em relação à estrutura das interações, 17 estudos (56,7%) usaram tarefas cognitivas, e 13 (43,3%) motoras.

Um aumento da IBS foi encontrado, em pelo menos uma condição experimental, em todos os 28 estudos que avaliaram a cooperação (para mais detalhes ver subsecção: Interações cooperativas e competitivas na discussão). Em contrapartida, nas 7 vezes que a competição foi avaliada, o aumento da IBS foi mais difícil de encontrar, tendo sido encontrado em pouco mais da metade desses estudos (57,1%).

Todos os 6 (18,8%) estudos que avaliaram o efeito da composição sexual das equipas na IBS, utilizando grupos de constituições sexuais diferentes, encontraram resultados distintos (em termos de força e região da IBS) para os diferentes grupos.

Do total dos estudos incluídos na revisão, 15,6% compararam os resultados obtidos entre grupos com diferentes graus de familiaridade (comparando amantes ou pais-filhos ou amigos com estranhos). Todos encontraram resultados distintos para equipas diferentes entre si. O efeito do contato visual estabelecido durante a tarefa entre os membros da equipa, comparando resultados de face a face com de face bloqueada, foi computado apenas em 1 estudo, o qual encontrou resultados diferentes para as duas condições.

Os paradigmas utilizados pelos estudos foram quatro: (1) cooperação cognitiva (42,9%); (2) cooperação motora (37,1%); (3) competição cognitiva (11,4%); e (4) competição motora (8,6%).

Quadro 3.1. *Descrição dos estudos incluídos*

Descrição de estudos que obtiveram aumento da IBS em cooperação/competição em todas as condições experimentais											
Primeiro autor et al., ano	Técnica de <i>hyper scanning</i>	Análise da IBS	Resultado: Variação da IBS (<i>p</i> -value)	Regiões da IBS	Tarefa	Tamanho amostra	Composição sexual	Conexão prévia	Contato visual	Correlação entre medidas comportamentais e neuro-fisiológicas	Qualidade (alta, média ou baixa)
Cooperação cognitiva											
Fishburn et al., 2018	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05)	PFC bilateral	Jogo de quebra-cabeça (Tangrams)	20 tríades	M-F-F; F-M-M; M-M-M e F-F-F	Não	Sim	CP	Alta
Hu et al., 2018	EEG	PLV	↑ IBS na alta coop. (<i>p</i> < .05)	CFC e CPC	Jogo Dilema do Prisioneiro	15 díades	F-F	Não	Sim	CP	Alta
Li et al., 2020	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. mais forte em M-M do que M-F (<i>p</i> < .05), e F-F (<i>p</i> < .01)	IIFG	Jogo de construir blocos	45 díades	M-F; M-M e F-F	Não	Sim	Não	Alta
Lu et al., 2019	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05)	dIPFC	Tarefa de brainstorming	22 tríades	F-M-M	Não	Sim	CP	Alta
Lu et al., 2020	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05), mais forte em F-F	rTPJ	Tarefa de brainstorming	66 díades	M-F; M-M e F-F	Não	Sim	CP	Alta
Nguyen et al., 2020	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05) em mãe-filho	PFC bilateral e TPJ	Tarefa de resolução de problema	42 díades	mãe-filho; mãe-filha	Díades mãe - filho e díades aleatórias	sim	CP	Alta
Nguyen et al., 2021	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .001), mais forte em pai-filho	dIPFC bilateral e lTPJ	Tarefa de resolução de problema	68 díades	pai-filho/a; mãe-filho/a	Sim	Sim	CP	Alta
Sciaraffa et al., 2021	EEG	PDC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05)	PFC bilateral	Jogo de construir	14 díades	M-F; M-M e F-F	NI	Sim	CP	Alta

Primeiro autor et al., ano	Técnica de <i>hyper scanning</i>	Análise da IBS	Resultado: Variação da IBS (<i>p</i> -value)	Regiões da IBS	Tarefa	Tamanho amostra	Composição sexual	Conexão prévia	Contato visual	Correlação entre medidas comportamentais e neuro-fisiológicas	Qualidade (alta, média ou baixa)
Tang et al., 2016	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .01), mais forte em face a face	rTPJ	Jogo do Ultimato	101 díades	M-M e F-F	Não	Face a face e face bloqueada	CP em face a face	Alta
Xie et al., 2020	fMRI	Dependência linear e Coef. de correlação Pearson	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05)	rTPJ e IIFG	jogo Pictionary	12 tríades	NI	NI	Não	CP	Alta
Cooperação motora											
Abe et al., 2019	fMRI	Dependência linear e coef. de correlação Pearson	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05)	rTPJ	Tarefa conjunta de produção de força	19 díades	M-M e F-F	Não	Não	CP	Alta
Balconi et al., 2017	fNIRS	Coefficiente de Correlação Parcial	↑ IBS na alta coop. (<i>p</i> < .001)	dIPFC	Tarefa de premir teclas simultaneamente	13 díades	M-M e F-F	Não	Não	CP	Alta
Dommer et al., 2012	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .001)	PFC	Jogo de memorização computadorizado	15 díades	NI	NI	Sim	Não	Média
Hu et al., 2017	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05)	ImFC	Tarefa de premir teclas simultaneamente	35 díades	NI	Sim, exceto dois participantes	Não	CP	Alta
Lindenberger et al., 2009	EEG	PLV	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .01)	FC e CG	Tocar curta melodia em uníssonos	8 díades	NI	NI	Sim	Não	Baixa
Miller et al., 2019	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05), mais forte em mãe-filho	PFC	Tarefa de premir teclas simultaneamente	28 díades	mãe-filho e mãe-filha	Sim	Não	NI	Alta
Yun et al., 2012	EEG	PLV	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .001)	FC, ACC, PHG e CG	Sincronia do movimento dos dedos indicadores	10 díades	M-M	NI	Sim	CP	Alta

Primeiro autor et al., ano	Técnica de <i>hyper scanning</i>	Análise da IBS	Resultado: Variação da IBS (<i>p</i> -value)	Regiões da IBS	Tarefa	Tamanho amostra	Composição sexual	Conexão prévia	Contato visual	Correlação entre medidas comportamentais e neuro-fisiológicas	Qualidade (alta, média ou baixa)
Competição cognitiva											
Zhang et al., 2017	fNIRS	WTC	↑ IBS na comp. (<i>p</i> < .05)	mPFC e dlPFC e lTPJ	Jogo de cartas estilo “stud poker”	30 díades	M-M e F-F	NI	Sim	NI	Alta
Cooperação e competição cognitivas											
Liu et al., 2016	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. e comp. (<i>p</i> < .01)	dmPFC (coop.) e FC (coop. e comp.)	Jogo Jenga	9 díades	M-F; M-M e F-F	NI	Sim	NI	Média
Liu et al., 2017	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. e comp. (<i>p</i> < .05)	rTPJ (coop. e comp.) e rIPL (comp.)	Jogo de disco em computador	22 díades	M-M	Sim	Sim	CP na comp.	Alta
Cooperação e competição motoras											
Barraza et al., 2020	EEG	PLV	↑ IBS na coop. e comp. (<i>p</i> < .01)	IFTC (coop.) e FPC (coop. e comp.)	Tarefa de premir teclas simultaneamente	40 díades	M-F	Não	Sim	CP	Alta
Descrição de estudos que obtiveram aumento da IBS em cooperação/competição em pelo menos uma condição experimental											
Cooperação cognitiva											
Duan et al., 2020	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. só em amantes (<i>p</i> < .01)	lPFC e rTPJ	Tarefa de resolução de problema	42 díades	M-F	Casal de amantes e de estranhos	Sim	CP em amantes	Alta
Sun et al., 2020	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. só em PE-A (<i>p</i> < .05)	dlPFC	Cálculos matemáticos	34 díades	M-M e F-F	Não	Não	CP em PE-A	Alta
Xue et al., 2018	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. só em baixa-baixa criatividade (<i>p</i> < .05)	dlPFC e rTPJ	Tarefa de resolução de problema	30 díades	NI	Não	Sim	CP em baixa-baixa criatividade	Alta

Primeiro autor et al., ano	Técnica de <i>hyper scanning</i>	Análise da IBS	Resultado: Variação da IBS (<i>p</i> -value)	Regiões da IBS	Tarefa	Tamanho amostra	Composição sexual	Conexão prévia	Contato visual	Correlação entre medidas comportamentais e neuro-fisiológicas	Qualidade (alta, média ou baixa)
Cooperação motora											
Baker et al., 2016	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. só em F-F e M-M (<i>p</i> < .05)	rTC e rIPFC	Tarefa de premir teclas simultaneamente	111 díades	M-F; M-M e F-F	Não	Não	CP em F-F e M-M	Alta
Cheng et al., 2015	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. só em F-M (<i>p</i> < .05)	PFC	Tarefa de premir teclas simultaneamente	45 díades	M-F; M-M e F-F	Não	Sim	CP em M-F	Alta
Pan et al., 2017	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. só em amantes (<i>p</i> < .05)	rSFC	Tarefa de premir teclas simultaneamente	49 díades	M-F	Casal de amantes e de estranhos	Não	CP em amantes	Alta
Cooperação e competição motoras											
Cui et al., 2012	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. (<i>p</i> < .05), e não na comp.	rSFC (coop.)	Tarefa de premir teclas simultaneamente	11 díades	M-F; M-M e F-F	Sim (8 pares); e Não (3 pares)	Sim	CP na coop.	Alta
Reindl et al., 2018	fNIRS	WTC	↑ IBS na coop. em pai/mãe-filho/a (<i>p</i> < .001), e não na comp.	PFC (coop.)	Tarefa de jogo de computador	54 díades	M-F; M-M e F-F	Pai/mãe-filho/a e criança-estranho	Não	CP na coop. entre pai/mãe-filho/a	Alta

Descrição de estudos que obtiveram redução da IBS durante interações de cooperação/competição

Competição cognitiva

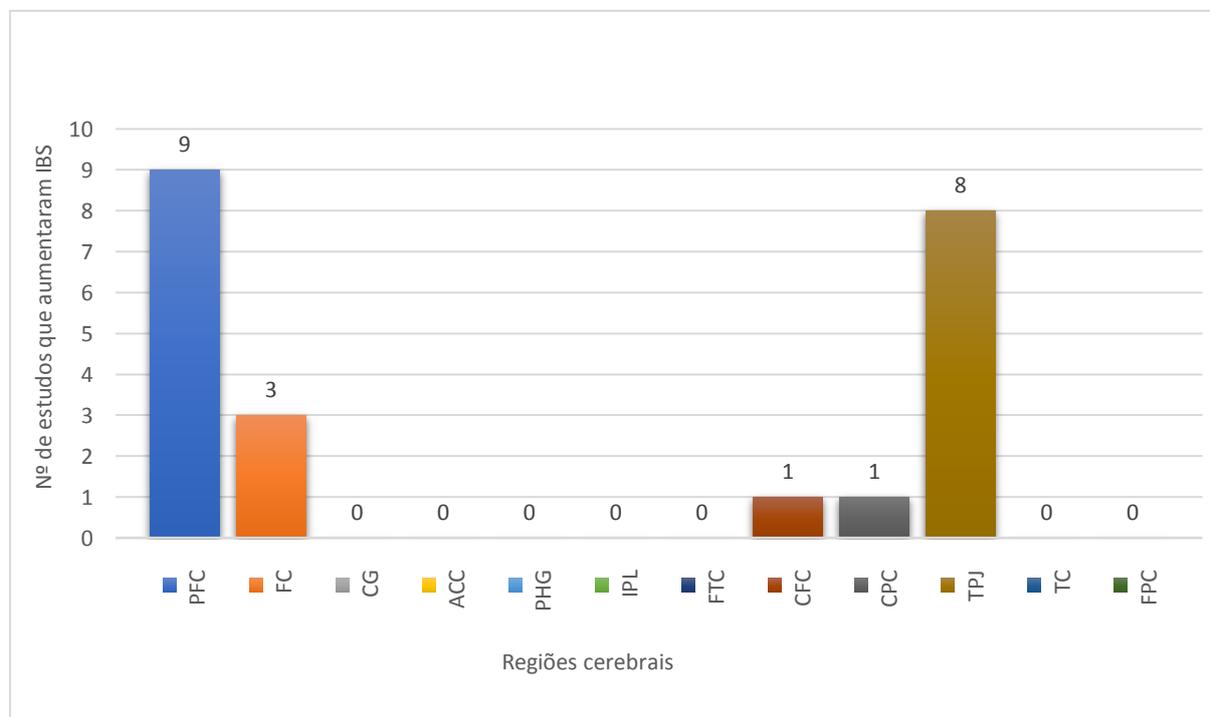
Balconi et al., 2018	EEG	PDC	↓ IBS na comp. (<i>p</i> < .05)	PFC bilaterais	Tarefa de atenção computadorizada	15 díades	M-M e F-F	Não	Não	CN	Alta
----------------------	-----	-----	----------------------------------	----------------	-----------------------------------	-----------	-----------	-----	-----	----	------

Legenda: ↑ = aumento; ↓ = redução; NI = não informado; coop. = cooperação; comp. = competição; Sincronia inter-cérebro (IBS); correlação positiva (CP); correlação negativa (CN); Córtex centrofrontal (CFC); Córtex centroparietal (CPC); Córtex cingulado anterior (ACC); Córtex frontal (FC); Córtex frontal médio esquerdo (ImFC); Córtex frontal superior direito (rSFC); Córtex fronto-parietais (FPC); Córtex fronto-temporais esquerdos (lFTC); Córtex pré-frontal (PFC); Córtex pré-frontal dorsolateral (dIPFC); Córtex pré-frontal dorsomedial (dmPFC); Córtex pré-frontal esquerdo (lPFC); Córtex pré-frontal inferior direito (rIPFC); Córtex pré-frontal medial (mPFC); Córtex temporal direito (rTC); Córtex temporo-parietal direito (rTPC); Giro Central (CG); Giro frontal inferior (IFG); Giro frontal inferior esquerdo (lIFG); Giro parahipocampal (PHG); Junção temporo-parietal direita (rTPJ); Junção temporo-parietal esquerda (lTPJ); Lóbulo parietal inferior direito (rIPL); feminino-feminino (F-F); masculino-feminino (M-F); masculino-masculino (M-M); professor experiente-aluno (PE-A); Eletroencefalografia (EEG); Espectroscopia de Infravermelho Próximo Funcional (fNIRS); Imagem por Ressonância Magnética Funcional (fMRI); Coeficiente de Correlação Parcial (PDC); Coerência de Transformada de Wavelet (WTC); Valor de Bloqueio de Fase (PLV). Todos os *p* foram corrigidos FDR.

3.2. Cooperação Cognitiva

Quinze estudos avaliaram a IBS envolvida na cooperação cognitiva, sendo que todos encontraram incremento da IBS em uma ou mais regiões em pelo menos uma condição experimental. As regiões corticais com aumento da IBS incluem: córtex pré-frontal (Duan et al., 2020; Fishburn et al., 2018; Liu et al., 2016; Lu & Hao, 2019; Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Sciaraffa et al., 2021; Sun et al., 2020; Xue et al., 2018), córtex frontal (Li et al., 2020; Liu et al., 2016; Xie et al., 2020), córtex centroparietal (Hu et al., 2018), córtex centroparietal (Hu et al., 2018) e junção temporoparietal (Duan et al., 2020; Liu et al., 2017; Lu et al., 2020; Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Tang et al., 2016; Xie et al., 2020; Xue et al., 2018) (Figura 3.2).

Figura 3.2. *Frequência com que foi encontrado o aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos que avaliaram a cooperação cognitiva.*



Legenda: Córtex pré-frontal (PFC); Córtex frontal (FC); Giro central (CG); Córtex cingulado anterior (ACC); Giro parahipocampal (PHG); Lóbulo parietal inferior (IPL); Córtex frontotemporal (FTC); Córtex centroparietal (CFC); Córtex centroparietal (CPC); Junção temporoparietal (TPJ); Córtex temporal (TC); Córtex frontoparietal (FPC).

Em treze destes estudos (86,6%), o aumento da sincronia verificou-se estar positivamente correlacionado com o desempenho da equipa na tarefa (Duan et al., 2020; Fishburn et al., 2018; Hu et al., 2018; Liu et al., 2017; Lu & Hao, 2019; Lu et al., 2020; Nguyen et al., 2020; Nguyen

et al., 2021; Sciaraffa et al., 2021; Sun et al., 2020; Tang et al., 2016; Xie et al., 2020; Xue et al., 2018;). Contudo, um estudo (6,7%) não apresentou correlação entre o desempenho na tarefa e o aumento da IBS (Li et al., 2020), e um outro (6,7%) não incluiu esta informação (Liu et al., 2016).

Em relação à composição das díades, Nguyen et al. (2020) estudou tanto pares de mãe-filho/a como pares aleatórios, encontrando o aumento da IBS em pares mãe-filho/a em comparação com a tarefa individual e com o repouso, entretanto não o encontrou em díades aleatórias. A maior IBS previu o sucesso da díade na resolução de problemas além do comportamento recíproco entre mães e filhos. Fator relativo ao estado, como estresse materno durante a tarefa, desempenhou um papel maior para a sincronização neural do que fator relativo ao traço, como o temperamento da criança. Os resultados enfatizaram a IBS como um biomarcador para a qualidade da interação mãe-filho.

Duan et al. (2020) encontrou, entre amantes, mas não entre estranhos, sincronização aumentada durante a tarefa em comparação com a linha de base (repouso); além disso, em comparação com o grupo de estranhos, o índice comportamental de cooperação foi significativamente maior nas díades de amantes. Já Tang et al. (2016) encontraram um aumento das sincronizações neurais durante a tomada de decisão com troca econômica em pares a interagirem tanto face a face como com face bloqueada em comparação com o repouso, mas a sincronização foi mais robusta em face a face em comparação com face bloqueada.

Ao investigar o efeito da composição sexual na IBS na cooperação, avaliando díades do mesmo sexo (masculino-masculino e feminino-feminino) e mistas, Li et al. (2020) encontraram IBS significativamente mais forte no córtex frontal inferior esquerdo na cooperação do que no repouso em díades masculino-masculino. Já Lu et al. (2020) encontraram uma maior sincronização nas díades feminino-feminino do que nas outras formações de díades (masculino-masculino e masculino-feminino), sendo que a sincronização se correlacionou com o desempenho da díade. Todavia muitos estudos (Fishburn et al., 2018; Hu et al., 2018; Liu et al., 2016, 2017; Lu & Hao, 2019; Nguyen et al., 2021; Sciaraffa et al., 2021; Sun et al., 2020; Xue et al., 2018) não avaliaram a influência da composição sexual, da conexão prévia ou do contato visual nos resultados das equipas. Por exemplo, Nguyen et al. (2021) encontraram um aumento na IBS, observando pai-filho/a e mãe-filho/a durante a interação cooperativa em comparação com a tarefa individual e o repouso, entretanto não foram avaliadas possíveis diferenças nas IBS dos quatro tipos diferentes de composições das díades (pai-filho, pai-filha, mãe-filho e mãe-filha).

No que diz respeito à tarefa com níveis diferentes de cooperação, Hu et al. (2018) observaram maior IBS nas duplas em tarefas definidas para alta cooperação (obtida através da manipulação do contexto de jogo), sendo que a IBS se correlacionou com escolhas cooperativas aumentadas. Um estudo de Lu e Hao (2019) incluiu um participante comparsa nas equipas, onde dois dos membros eram participantes reais e um era comparsa. As díades de participantes reais mostraram maior IBS e comportamento de cooperação entre si em comparação com díades com um comparsa, indicando que a IBS ocorreu entre os indivíduos que se envolveram, verdadeiramente, em interação interpessoal cooperativa, durante a qual tanto a IBS quanto a cooperação tenderam a aumentar ao longo do tempo.

Ao explorar as características dos participantes, o estudo de Sun et al. (2020) investigou se professores experientes mostrariam maior sincronia com os alunos do que professores novatos durante tarefa de colaboração. O aumento da IBS foi detetado em participantes das díades professores experientes-alunos, mas não em díades professores novatos-alunos. Xue et al. (2018) verificaram a IBS, durante tarefa de criatividade colaborativa, em díades em que ambos os indivíduos tinham baixa criatividade e em díades em que um ou ambos os indivíduos eram altamente criativos, encontrando aumento da IBS apenas para díades de baixa-baixa criatividade em comparação com repouso, e não nas outras díades de alta-alta e baixa-alta criatividade.

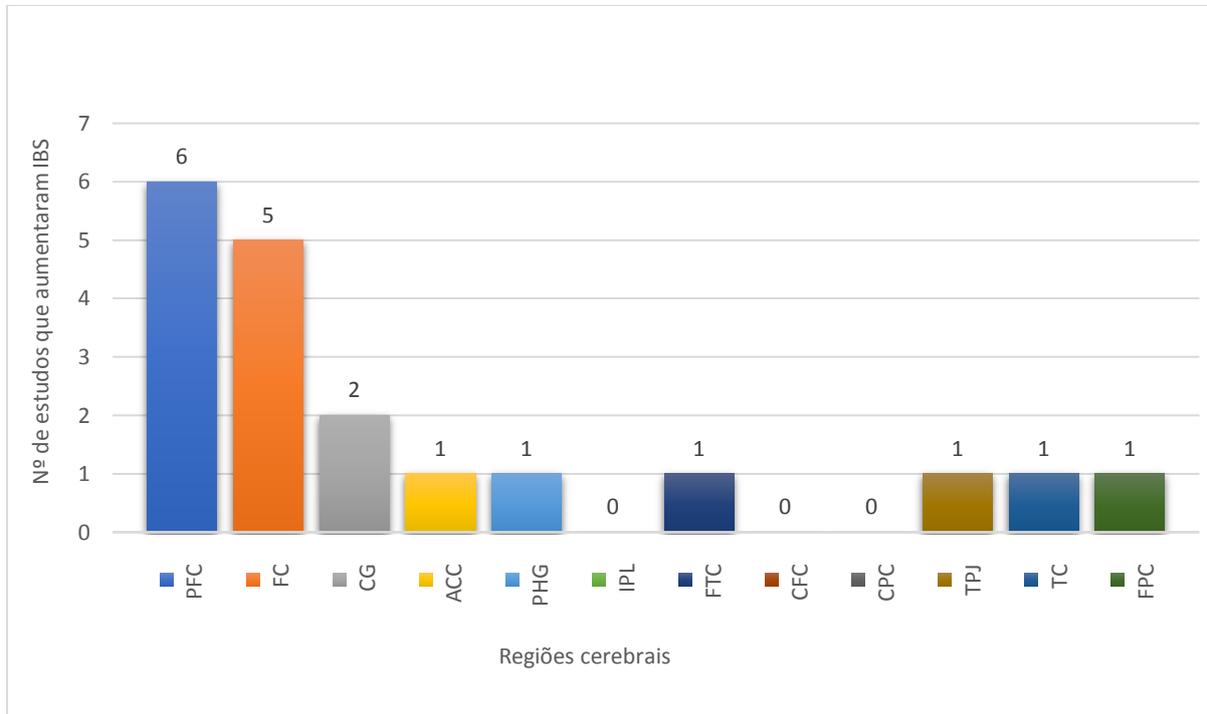
3.3. Cooperação Motora

Treze estudos investigaram a IBS ligada à cooperação motora, sendo que todos identificaram um ampliação da IBS, em pelo menos uma condição experimental, nas seguintes regiões corticais: córtex pré-frontal (Baker et al., 2016; Balconi et al., 2017; Cheng et al., 2015; Dommer, Jäger, Scholkmann, Wolf, & Holper, 2012; Miller et al., 2019; Reindl, Gerloff, Scharke, & Konrad, 2018); córtex frontal (Cui et al., 2012; Hu et al., 2017; Lindenberger et al., 2009; Pan et al., 2017; Yun et al., 2012); giro central (Lindenberger et al., 2009; Yun et al., 2012); córtex cingulado anterior (Yun et al., 2012); giro parahipocampal (Yun et al., 2012); junção temporoparietal (Abe et al., 2019); córtex temporal (Baker et al., 2016); córtex frontoparietal (Barraza et al., 2020) e córtex frontotemporal (Barraza et al., 2020) (Figura 3.3).

Em nove destes estudos (69,2%), o aumento da IBS esteve positivamente correlacionado com o desempenho da equipa na tarefa (Abe et al., 2019; Baker et al., 2016; Balconi et al., 2017; Barraza et al., 2020; Cheng et al., 2015; Cui et al., 2012; Hu et al., 2017; Pan et al., 2017; Yun et al., 2012). Contudo, três estudos (23,1%) não encontraram correlação (Dommer et al.,

2012; Lindenberger et al., 2009; Reindl et al., 2018), e um outro (7,7%) não incluiu esta informação (Miller et al., 2019).

Figura 3.3. *Frequência com que foi encontrado o aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos que utilizaram a cooperação motora.*



Legenda: Córtex pré-frontal (PFC); Córtex frontal (FC); Giro central (CG); Córtex cingulado anterior (ACC); Giro parahipocampal (PHG); Lóbulo parietal inferior (IPL); Córtex frontotemporal (FTC); Córtex centrofrontal (CFC); Córtex centroparietal (CPC); Junção temporoparietal (TPJ); Córtex temporal (TC); Córtex frontoparietal (FPC).

Pan et al. (2017) exploraram a sincronização e o desempenho de três tipos de díades masculino-femininas (amantes, amigos e estranhos) em uma tarefa simples de coordenação. Os amantes apresentaram uma IBS e um desempenho de cooperação significativamente superior em comparação com as restantes díades. As díades de amigos e estranhos, diferentemente das díades de amantes, não demonstraram aumento da IBS em relação ao repouso. Reindl et al. (2018) observaram que crianças que realizaram um jogo cooperativo com um adulto, revelaram uma IBS significativamente maior quando essa cooperação era com o pai/mãe (principalmente com a mãe) do que com um estranho, o que foi preditivo para seu desempenho cooperativo em testes subsequentes. Nenhuma sincronia cérebro-a-cérebro significativa foi observada na condição de cooperação estranho-criança.

Miller et al. (2019), além de testarem se a IBS nas díades mãe-filho/a aumentava durante a cooperação em relação a tarefa independente, também avaliaram a influência da composição

sexual na IBS, ou seja, se a sincronia diferia nas díades mãe-filho versus mãe-filha. As duplas mãe-filho mostraram um aumento mais forte na IBS em resposta à cooperação do que as díades mãe-filha. Baker et al. (2016) investigaram também o papel da composição sexual das díades durante tarefa cooperativa. Houve aumento da IBS em masculino-masculino e feminino-feminino, mas não em díades de sexo misto em comparação com repouso. As díades contendo pelo menos um homem demonstraram desempenho comportamental em tarefas de cooperação significativamente superior ao das feminino-feminino. Inversamente, no estudo de Cheng et al. (2015), foi encontrado um aumento significativo da IBS associada à tarefa de cooperação em díades com parceiros de sexo oposto, enquanto a cooperação em díades de mesmo sexo não esteve associada a tal aumento da sincronia em relação ao repouso. No entanto, e à semelhança do observado por Baker et al (2016), a cooperação foi maior em pares masculino-masculino do que em pares feminino-feminino, com níveis intermédios de cooperação em pares feminino-masculino.

Dois dos estudos compararam a IBS de indivíduos em díades cooperativas com a de indivíduos a realizar a mesma tarefa, mas de forma independente. O estudo de Dommer et al. (2012) avaliou a IBS de jogadores cooperativos em comparação com uma condição de linha de base (jogadores independentes) e com uma condição de repouso, encontrando um aumento da IBS durante o desempenho da tarefa cooperativa em relação quer à condição de linha de base, quer à condição de repouso. O estudo de Barraza et al. (2020) comparou a IBS de tarefas cooperativas com a IBS durante a mesma tarefa motora, realizada de modo individual, evidenciando um aumento da IBS apenas durante a cooperação.

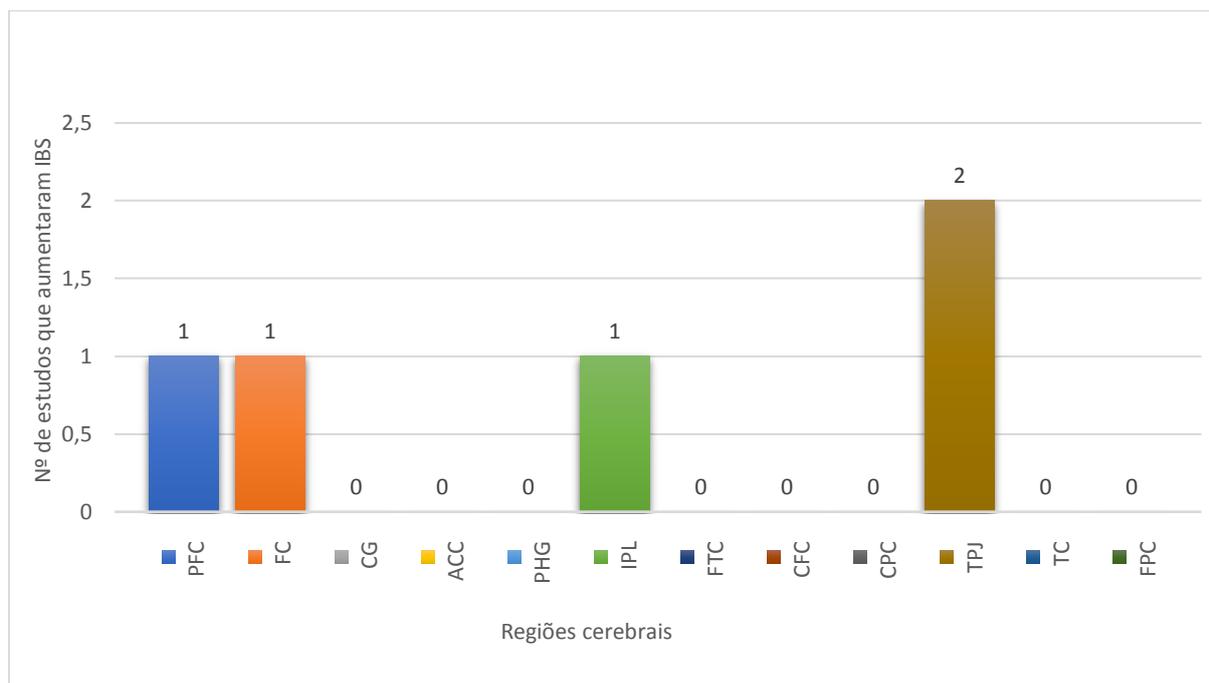
Apenas um estudo procurou investigar o papel do *feedback* no comportamento de cooperação e na IBS. Balconi et al. (2017) manipularam experimentalmente um *feedback* reforçador para induzir a adoção de estratégias comuns, sendo que os resultados mostraram que esse *feedback* modula as respostas dos participantes, tanto em componentes comportamentais, quanto neurais. Após a manipulação de reforço para aumento da cooperação, houve tempos de resposta mais rápidos e aumento da IBS, o que contribuiu para a importância do reforço social para a intensificação da IBS.

Finalmente, também um único estudo investigou o impacto de coordenação inconsciente na IBS. Através de um experimento que manipulou a simultaneidade do movimento dos dedos dos participantes de forma inconsciente, Yun et al. (2012) demonstraram que o treinamento cooperativo aumentou não apenas a sincronização entre os movimentos da ponta dos dedos dos dois participantes, mas também entre regiões corticais dos dois cérebros.

3.4. Competição Cognitiva

Quatro estudos investigaram a IBS ligada à competição cognitiva, sendo que três deles (75%) identificaram aumento da IBS nas seguintes regiões corticais: córtex pré-frontal (Zhang et al., 2017), córtex frontal (Liu et al., 2016), junção temporoparietal (Liu et al., 2017; Zhang et al., 2017), lóbulo parietal inferior (Liu et al., 2017). Contudo, um estudo (25%) não encontrou aumento de IBS, mas a redução da IBS no córtex pré-frontal (Balconi & Vanutelli, 2018) (Figura 3.4).

Figura 3.4. *Frequência com que foi encontrado aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos de competição cognitiva.*



Legenda: Córtex pré-frontal (PFC); Córtex frontal (FC); Giro central (CG); Córtex cingulado anterior (ACC); Giro parahipocampal (PHG); Lóbulo parietal inferior (IPL); Córtex frontotemporal (FTC); Córtex centroparietal (CPC); Junção temporoparietal (TPJ); Córtex temporal (TC); Córtex frontoparietal (FPC).

Em um estudo (25%), o aumento da IBS esteve positivamente correlacionado com o desempenho da equipe na tarefa de competição (Liu et al., 2017). Dois estudos (50%) não forneceram esse dado (Liu et al., 2016; Zhang et al., 2017). Entretanto, um estudo (25%) mostrou correlação negativa entre a IBS e o desempenho competitivo (Balconi & Vanutelli, 2018).

Um dos três estudos que obtiveram aumento da IBS, o de Zhang et al. (2017), considerou a composição sexual das equipas, mostrando diferenças nas regiões da IBS em pares com composições sexuais diferentes. Nomeadamente, os pares masculino-masculino e feminino-feminino exibiram aumento da IBS no córtex pré-frontal medial e córtex pré-frontal dorsolateral, mas apenas os pares feminino-feminino mostraram aumento na junção temporoparietal esquerda.

O estudo de Liu et al. (2016) avaliou a interação competitiva enquanto as díades jogavam o “jogo Jenga”, observando um aumento da IBS em comparação com a linha de base, enquanto Liu et al. (2017) avaliaram a IBS de participantes a jogar um jogo de disco de tomada de turnos em um computador, também evidenciando um aumento da IBS em relação à linha de base.

Balconi e Vanutelli (2018) mostraram que o desempenho dos participantes em tarefas competitivas melhorou em relação à condição controlo (jogadores independentes), com uma melhoria específica adicional após receberem um *feedback* de reforço. Contudo, não foi observado um aumento da IBS, mas sim a sua redução no período *pós-feedback* em relação ao *pré-feedback* e à condição controlo. A IBS também foi menor durante o *pré-feedback* do que na condição controlo.

3.5. Competição Motora

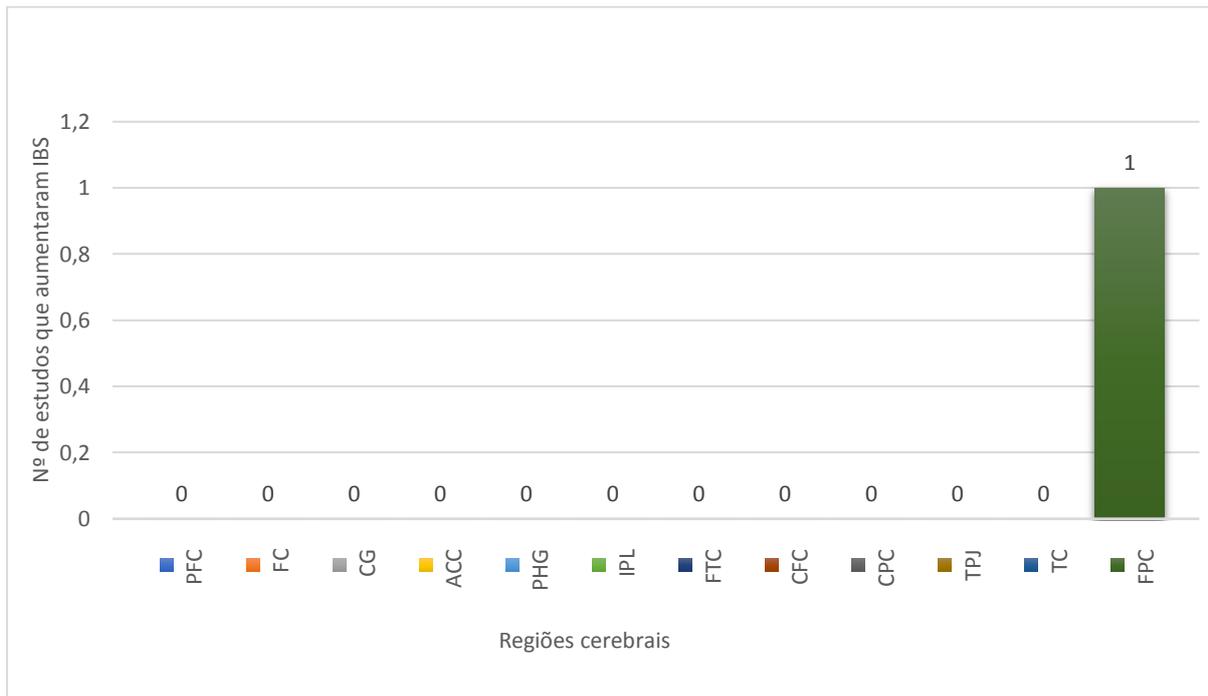
Três estudos avaliaram a IBS relacionada à competição motora, mas apenas um (33,3%) demonstrou um aumento da IBS, nomeadamente, no córtex frontoparietal (Barraza et al., 2020) (Figura 3.5). Os outros dois (66,7%) não encontraram aumento de IBS durante a competição (Cui et al., 2012; Reindl et al., 2018).

Em um estudo (33,3%), o aumento da IBS esteve positivamente correlacionado com o desempenho da equipa na tarefa de competição (Barraza et al., 2020). Os outros dois estudos (66,7%) não forneceram dados de correlação entre a IBS e o desempenho competitivo na tarefa.

O estudo de Barraza et al. (2020) demonstrou um aumento da IBS durante a competição em comparação com a tarefa individual, entretanto não foram avaliados fatores que poderiam influenciar a IBS.

No estudo realizado por Reindl et al. (2018), cada criança realizou um jogo competitivo com um dos pais, bem como com um adulto estranho, entretanto nenhum aumento da IBS foi observado na condição de competição pai/mãe-filho/a e nem na competição de estranho-criança em relação à tarefa individual. Também Cui et al. (2012) não observaram aumento da IBS durante jogo de sincronidade motora competitivo em relação ao repouso.

Figura 3.5. *Frequência com que foi encontrado aumento da IBS em cada região cerebral nos estudos que investigaram a competição motora.*



Legenda: Córtex pré-frontal (PFC); Córtex frontal (FC); Giro central (CG); Córtex cingulado anterior (ACC); Giro parahipocampal (PHG); Lóbulo parietal inferior (IPL); Córtex frontotemporal (FTC); Córtex centroparietal (CPC); Junção temporoparietal (TPJ); Córtex temporal (TC); Córtex frontoparietal (FPC).

CAPÍTULO 4

Discussão

Esta revisão sistemática reuniu e selecionou os estudos, que utilizam a abordagem de *hyperscanning* durante interações cooperativas e competitivas, tanto empregando tarefas cognitivas quanto motoras, com um olhar para as possíveis correspondências e disparidades nos padrões de IBS encontrados, e também considerou possíveis fatores que possam influenciar essa sincronização neural.

4.1. Interações Cooperativas e Competitivas

Dos estudos que avaliaram a IBS na cooperação (cognitiva e motora), utilizando apenas um tipo de equipa (todas as equipas iguais em termos de composição sexual, conexão prévia entre os participantes e contato visual) (Abe et al., 2019; Balconi et al., 2017; Barraza et al., 2020; Cui et al., 2012; Dommer et al., 2012; Fishburn et al., 2018; Hu et al., 2017, 2018; Lindenberger et al., 2009; Liu et al., 2016, 2017; Lu & Hao, 2019; Nguyen et al., 2021; Sun et al., 2020; Xie et al., 2020; Xue et al., 2018; Yun et al., 2012), todos encontraram aumento da IBS durante a tarefa cooperativa em relação ao repouso ou à condição independente. Contudo, todos os estudos que utilizaram pelo menos dois tipos de equipas para comparações, ou com diferentes composições sexuais (Baker et al., 2016; Cheng et al., 2015; Li et al., 2020; Lu et al., 2020; Miller et al., 2019), ou diferentes graus de familiaridade entre os indivíduos (Duan et al., 2020; Nguyen et al., 2020; Pan et al., 2017; Reindl et al., 2018), com ou sem contato visual (Tang et al., 2016) encontraram diferenças na IBS entre os grupos estudados.

Relativamente aos estudos que avaliaram a competição (cognitiva e motora), dos estudos que avaliaram a IBS, utilizando apenas um tipo de equipa (todas as equipas iguais em termos de composição sexual, conexão prévia entre os participantes e contato visual) (Balconi & Vanutelli, 2018; Barraza et al., 2020; Cui et al., 2012; Liu et al., 2016, 2017), com exceção de dois estudos (Balconi & Vanutelli, 2018; Cui et al., 2012), os outros dois encontraram aumento da IBS durante a tarefa competitiva em relação ao repouso ou à condição independente. Contudo, apenas dois estudos utilizaram dois tipos diferentes de equipas para comparação, ou com diferentes composições sexuais (Zhang et al., 2017), ou diferentes graus de familiaridade (Reindl et al., 2018), e encontraram diferenças na IBS dos grupos comparados. Nenhum estudo comparou interação face a face com face bloqueada na competição.

4.2. O Papel do Sexo dos Elementos das Equipas

Embora mais de 50 anos de pesquisa tenham revelado diferenças no comportamento de cooperação de homens e mulheres (Li et al., 2020), as correlações neurais subjacentes a essas diferenças não foram explicadas (Baker et al., 2016). Um elemento fundamental deste quebra-cabeça é a compreensão de como a composição sexual de uma díade interagindo influencia o cérebro e o comportamento durante a cooperação (Baker et al., 2016).

Os resultados dos estudos revistos (Baker et al., 2016; Cheng et al., 2015; Li et al., 2020; Lu et al., 2020; Miller et al., 2019) destacam múltiplas influências importantes do sexo nas assinaturas neurais e comportamentais da cooperação. Além disso, seus achados sugeriram que diferentes processos neurais estão por trás da cooperação em interações diádicas entre sexo misto e entre pessoas do mesmo sexo. Por exemplo, Zhang et al. (2017) revelaram que tanto pares masculino-masculino como feminino-feminino mostraram maior IBS no córtex pré-frontal medial e no córtex pré-frontal dorsolateral. As mulheres, no entanto, mostraram de forma exclusiva um aumento da IBS na junção temporoparietal esquerda. Os autores sugeriram que os homens podem depender, principalmente, da capacidade cognitiva não social para tomar uma decisão arriscada em uma interação social, enquanto as mulheres podem usar habilidades cognitivas sociais e não sociais.

4.3. O Papel da Familiaridade entre os Elementos das Equipas

A neurociência tem buscado esclarecer como os relacionamentos românticos afetam a sincronização interpessoal do cérebro (Duan et al., 2020). Os estudos de Duan et al. (2020) e Pan et al. (2017) indicaram que os amantes tiveram mais vantagens na interação de cooperação. Além disso, nos cérebros de amantes, de facto, encontraram uma IBS significativamente aumentada durante a tarefa cooperativa em comparação com a linha de base (repouso), que não foi encontrada nas díades de estranhos; além disso, em comparação com o grupo de estranhos, o índice comportamental de cooperação foi significativamente maior nas díades de amantes.

Reindl et al. (2018) sugeriram também que a IBS poderia representar um mecanismo neural subjacente à conexão emocional entre pais e filhos, ligada ao desenvolvimento da regulação emocional adaptativa na criança. No seu estudo, as atividades cerebrais de pai/mãe-filho/a sincronizaram-se durante a cooperação, o que foi preditivo do seu desempenho cooperativo em testes subsequentes. Entretanto, nenhuma IBS significativa foi observada nas condições de cooperação estranho-criança, competição pai/mãe-filho/a e competição estranho-criança. Além

disso, a IBS pai/mãe-filho/a mediou a associação entre a regulação emocional dos pais e dos filhos. Assim, os autores colocaram a possibilidade da IBS constituir um marcador neurobiológico da interação socio emocional da díade.

4.4. O Papel do Contato Visual entre os Elementos das Equipas

No cotidiano, as interações interpessoais são influenciadas pela incerteza sobre as intenções de outras pessoas. A interação presencial face a face reduz essa incerteza ao fornecer pistas visíveis externas, como expressão facial ou gestos corporais, o que facilita a intencionalidade compartilhada (Okdie et al., 2011). No entanto, até agora pouco se sabe sobre a IBS entre duas pessoas envolvidas em interações face a face de ocorrência natural (Liu et al., 2021). Dos estudos revistos, apenas o de Tang et al. (2016) avaliou a IBS de forma comparativa entre as interações face a face e face bloqueada, evidenciando maior sincronização em face a face. O restante dos estudos investigou apenas uma forma de interação, ou com os participantes face a face ou com face bloqueada.

4.5. Interações Cognitivas e Motoras

Menos estudos (43,3%) utilizaram tarefas motoras do que cognitivas para testar a IBS. Destes estudos com tarefas motoras, a maior parte fez o uso de uma tarefa simples de premir botão, a qual exige que os participantes executem apenas um toque temporalmente sincronizado de botão (Baker et al., 2016; Balconi et al., 2017; Barraza et al., 2020; Cheng et al., 2015; Cui et al., 2012, Hu et al., 2017; Miller et al., 2019; Pan et al., 2017; Reindl et al., 2018). Em contraste, poucos estudos com tarefas motoras aplicaram o *hyperscanning* em ambientes mais exigentes e também mais naturalistas (Abe et al., 2019; Dommer et al., 2012; Lindenberger et al., 2009; Yun et al., 2012).

Segundo Yun et al. (2012), os aspetos sociais modulam até a sincronização inconsciente do movimento. Os autores evidenciaram que, depois da cooperação em uma tarefa de imitação induzida, houve um aumento na sincronização não apenas entre os padrões de movimento inconsciente dos dedos dos dois participantes, mas também entre seus cérebros. Nesse contexto, os resultados são uma evidência de que a IBS é uma correlação neural da interação interpessoal implícita.

Por outro lado, Cui et al. (2012) e Reindl et al. (2018) ao estudar a competição motora, não encontraram sincronização entre os cérebros, sugerindo que os indivíduos podem completar a

competição motora sem compreender as ações/mente do outro. Entretanto, um estudo de Barraza et al. (2020) demonstrou um aumento da IBS no córtex frontoparietal, relacionado tanto com a cooperação quanto com a competição motoras, o que levou os autores a sugerirem que a IBS poderia estar ligada aos processos de coordenação motora comuns às interações cooperativas e competitivas.

A IBS, mais frequentemente evidenciada nos paradigmas de cooperação do que de competição, foi considerada uma das indicações mais claras de interação ou compartilhamento de informações entre cérebros (Liu & Pelowski, 2014). No entanto, uma discussão cuidadosa é necessária para a interpretação desses resultados de sincronização. Por exemplo, a IBS nas tarefas motoras (competitivas ou cooperativas) pode resultar da semelhança funcional da tarefa e ambiente dos dois participantes, em vez do mecanismo neural específico subjacente ao comportamento interativo (Liu et al., 2021).

Os estudos incluídos nesta revisão, que trataram da conexão entre a IBS e a interação cognitiva, se utilizaram de uma diversidade de tarefas, desde jogo de *Puzzle* (Fishburn et al., 2018), jogos de construir (Li et al., 2020; Liu et al., 2016; Sciaraffa et al., 2021), jogo de desenho (Xie et al., 2020), jogos de atenção (Balconi & Vanutelli, 2018; Liu et al., 2017), jogos de cartas (Zhang et al., 2017), tarefas da Teoria dos Jogos (Hu et al., 2018 (Jogo Dilema do Prisioneiro); Tang et al., 2016 (Jogo do Ultimato), até tarefas de cálculos matemáticos (Sun et al., 2020), tarefa de *brainstorming* (Lu & Hao, 2019; Lu et al., 2020) e tarefa de resolução de problema (Duan et al., 2020; Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Xue et al., 2018). Embora os estudos recentes tenham incluído mais cenários do mundo real, eles ainda não incluíram interações sociais inteiramente dinâmicas.

Tarefas cognitivas baseadas em turno, como jogos de construir, jogos de cartas e tarefas da Teoria dos Jogos, que requerem a previsão das ações dos outros participantes, exigem um nível mais alto de processamento cognitivo (Liu & Pelowski, 2014). Por exemplo, tarefas como o jogo dilema do prisioneiro implicam empatia cognitiva ou Teoria da Mente, e essas particularidades também se refletem na sincronização entre os cérebros, e regiões cerebrais envolvidas nessa sincronização.

4.6. Regiões Corticais Envolvidas

As regiões corticais que apresentaram aumento de IBS associado à cooperação, mais frequentemente, foram o córtex pré-frontal, córtex frontal e a junção temporoparietal; e à competição foi, principalmente, a junção temporoparietal. No entanto, a IBS nas regiões

corticais parece ser modulada por algo mais além da estrutura dos objetivos (cooperação ou competição) da interação (Czeszumski et al., 2020). Por exemplo, Liu et al. (2016) observaram IBS no córtex frontal, tanto durante a interação cooperativa como competitiva cognitivas. Entretanto, o aumento de IBS no córtex pré-frontal foi observado apenas durante a interação cooperativa, contrariamente ao observado por Zhang et al. (2017), que encontraram o aumento de IBS também no córtex pré-frontal em interação competitiva. De acordo com Czeszumski et al. (2020), estudos com resultados em contraste da IBS no córtex pré-frontal podem ocorrer, devido aos diferentes recursos necessários para a execução da tarefa. Por exemplo, uma tarefa de jogo de cartas competitivo (estilo poker), como no estudo de Zhang et al. (2017), precisaria de um maior entendimento das intenções dos outros participantes, assim foi sugerido, pelos autores, que o córtex pré-frontal poderia ser, particularmente, engajado quando a Teoria da Mente fosse necessária para a interação social.

Ao examinar a IBS subjacente à cooperação e à competição em uma interação real entre duas pessoas, Liu et al. (2017) demonstraram sincronização neural aumentada através da junção temporoparietal direita dos pares de participantes em ambas as condições de cooperação e competição em relação à linha de base, e, apenas a condição de competição, também envolveu IBS aumentada no córtex parietal inferior direito. Esses resultados sugerem que a junção temporoparietal direita pode estar, comumente, envolvida tanto na cooperação quanto na competição, devido às demandas da tarefa de atenção conjunta e compreensão da intenção do outro, enquanto o córtex parietal inferior direito pode ser mais importante para a competição, devido aos requisitos adicionais de recursos da Teoria da Mente em contextos concorrentes (Liu et al., 2017).

Também no contexto de uma interação naturalista, Nguyen et al. (2021) encontraram um aumento na IBS no córtex pré-frontal bilateral e na junção temporoparietal esquerda durante a resolução cooperativa de problemas entre progenitor/a e filho/a. Além disso, a atitude do pai/mãe em relação ao seu papel de genitor estava positivamente relacionada com a IBS durante a condição de cooperação. Esses resultados destacaram a implicação da atitude do pai/mãe em relação à parentalidade nos processos de IBS pela primeira vez. Também no estudo de Nguyen et al. (2020) foi achada uma maior IBS no córtex pré-frontal bilateral e na junção temporoparietal durante a cooperação cognitiva, correlacionada com maior reciprocidade comportamental.

Ainda alguns outros estudos ilustram a importância das regiões da Teoria da Mente, como a junção temporoparietal, nas tarefas cognitivas. A pesquisa de Xie et al. (2020) revelou um papel vital da junção temporoparietal direita, entre outras regiões da Teoria da Mente durante

uma tarefa de desenho cooperativo. Tang et al. (2016), nas interações sociais colaborativas durante a troca econômica, destacaram a relevância da junção temporoparietal direita. Já Lu et al. (2020) indicaram que, enquanto resolvem um problema de criatividade cooperativamente, as mulheres têm uma interação aprimorada com mais probabilidade do que os homens de considerar as perspectivas dos outros, sendo esta diferença justificada por um mais forte incremento de IBS na junção temporoparietal direita das mulheres.

Os resultados dos estudos revistos sugerem que a tarefa motora com movimentos corporais sincronizados também pode requerer, como a tarefa cognitiva, a previsão do comportamento de outras pessoas, e tem sido associada à IBS, principalmente, no córtex pré-frontal (e.g. Balconi et al., 2017; Barraza et al., 2020; Miller et al., 2019). Uma vez que os participantes estão realizando uma atividade conjunta de execução motora sincronizada, isso está de acordo com descobertas anteriores que relacionaram o córtex pré-frontal com funções como planejamento e execução motora (Czeszumski et al., 2020). Contudo, é possível que as IBS observadas apenas reflitam semelhanças na estrutura temporal da percepção e ação dos indivíduos. Ainda não está claro se a IBS apenas reflete a coordenação efetiva do movimento entre os pares, ou se está relacionada com a interação social e a previsão do comportamento de outras pessoas (Liu et al., 2021).

4.7. Considerações Metodológicas

A diversidade das tarefas adotadas e as suas diferentes exigências cognitivas, dificulta o estabelecimento de conclusões claras quanto ao papel da IBS. Ainda permanece difícil explicar exatamente como, onde e quando a IBS ocorre. As interpretações da IBS ainda são limitadas e o seu significado não é claro (Liu & Pelowski, 2014). A IBS pode surgir devido ao alinhamento entre os cérebros, ou devido ao alinhamento de ambos os cérebros ao tempo preciso dos eventos da interação, o que não requer interação social (Liu et al., 2021). Além disso, a IBS é uma possível assinatura neural de interação social recíproca e dinâmica, e pode não capturar os papéis distintos e complementares que são inerentes às díades nas interações diárias (Hasson & Frith, 2016).

Dependendo se a tarefa requer dependência mútua ou não entre os participantes, existem dois tipos principais de estrutura das tarefas interativas: (1) as tarefas interdependentes, nas quais tanto o comportamento individual, quanto o resultado são afetados pelo outro; e (2) as tarefas independentes, nas quais os indivíduos completam a tarefa independentemente, enquanto o resultado final (ganhar ou perder) é determinado pelo outro (Tauer & Harackiewicz,

2004). Para esclarecer os mecanismos inter-cerebrais implícitos ao comportamento interativo humano, e interpretar a IBS corretamente, os estudos de *hyperscanning* deveriam sempre considerar a estrutura das tarefas propostas (tarefas interdependentes ou independentes) (Liu & Pelowski, 2014). Distintos tipos de tarefas podem envolver diferenciados mecanismos neurais, assim, exigindo a sua diferenciação e interpretação cuidadosa. Essa distinção clara é importante para uma interpretação e compreensão corretas da IBS revelada nas várias tarefas experimentais (Liu et al., 2021). Por exemplo, a cooperação motora interdependente pode estar associada ao aumento da IBS no sistema de neurônios-espelho, enquanto a cooperação motora independente pode estar associada a uma maior IBS no córtex pré-frontal (Liu & Pelowski, 2014).

4.8. Limitações Metodológicas dos Estudos Revisados

O pequeno tamanho da amostra em alguns estudos (Balconi et al., 2017; Sciaraffa et al., 2021) pode ter inflacionado as estimativas de tamanho do efeito. Em estudos de *hyperscanning*, amostras maiores devem ser buscadas, pois os participantes são agrupados em equipas com, geralmente, 2 a 4 participantes, as quais são os casos estatísticos em vez de os indivíduos. O número de participantes deve ser calculado, levando em conta o tamanho das equipas. Os estudos com amostras muito pequenas devem ser interpretados com cautela. Outra questão também importante, que deve ser considerada, prende-se ao facto de alguns estudos (e.g. Balconi et al., 2017; Hu et al., 2017) se limitarem a tarefas bem simples com configurações experimentais minimalistas, e não incluírem interações sociais inteiramente dinâmicas e naturalistas com cenários próximos do mundo real.

Redcay e Schilbach (2019) defendem a ideia de que deve ser dado um enfoque em como as dinâmicas das redes cerebrais são alteradas durante a participação na interação social, entretanto os estudos revisados se concentraram nas sincronizações regionais. Entender a relevância funcional de uma região requer a compreensão de seu papel dentro de uma rede mais ampla, das entradas vindas de outros nós da rede e de regiões de outras redes cerebrais canônicas. O *hyperscanning* poderia se estender para examinar a conectividade de redes entre os cérebros, isto é, examinar como as regiões e redes dentro de um cérebro se acoplam a várias regiões ou redes dentro do cérebro de outra pessoa (Redcay & Schilbach, 2019).

Uma clara limitação identificada nos estudos incluídos prende-se com o facto de que poucos estudos exploraram potenciais variáveis que afetam a IBS. Diferentes processos neurais estão por trás da cooperação/competição em interações diádicas entre sexo misto e do mesmo sexo, o que levanta questões empíricas importantes sobre a influência do sexo nas assinaturas

neurais, o que deveria ser mais explorado nos estudos de *hyperscanning* (Liu et al., 2021). Em determinados estudos, o número de participantes de cada sexo era desigual (Fishburn et al., 2018; Sciaraffa et al., 2021; Tang et al., 2016), ou apenas um sexo foi recrutado (Hu et al., 2018; Liu et al., 2017), ou todos os pares eram mistos (Barraza et al., 2020; Duan et al., 2020; Pan et al., 2017), motivos esses que impossibilitaram o uso do sexo como variável. À exemplo de alguns estudos revisados (Baker et al., 2016; Cheng et al., 2015; Li et al., 2020; Lu et al., 2020; Miller et al., 2019), estudos futuros deveriam confrontar, mais frequentemente, os resultados de pares com diferentes formações sexuais (masculino-feminino; masculino-masculino e feminino-feminino) para que o efeito do sexo na interação possa ser investigado de forma mais consistente. A desperdiçar a oportunidade, alguns estudos (Abe et al., 2019; Balconi & Vanutelli, 2018; Balconi et al., 2017; Sun et al., 2020; Zhang et al., 2017), mesmo a utilizar dois tipos de duplas (algumas compostas por só homens e outras só por mulheres) não realizaram análises adjuntas para elucidar o efeito do sexo nas interações.

Vários dos estudos (Cui et al., 2012; Dommer et al., 2012; Hu et al., 2017; Lindenberger et al., 2009; Liu et al., 2016; Sciaraffa et al., 2021; Xie et al., 2020; Yun et al., 2012; Zhang et al., 2017) negligenciaram completamente o grau de familiaridade entre os integrantes das díades. Os estudos futuros da neurociência de segunda pessoa devem considerar como os relacionamentos interpessoais pré-existentes influenciam a dinâmica neural entre cérebros em interação. Efetivamente, embora não sejam muitos, alguns estudos (Duan et al., 2020; Nguyen et al., 2020; Pan et al., 2017; Reindl et al., 2018) evidenciaram o efeito que a familiaridade tem sobre a IBS. Quanto mais próximos os relacionamentos entre os participantes (e.g.: casais românticos, relações pais-filhos), maior a IBS observada. No entanto, existem muito mais relações possíveis entre participantes, por exemplo, irmãos, díades empregador-empregado e vendedor-comprador. No futuro, o *hyperscanning* deve explorar outras relações entre humanos e também emoções relacionadas (Pan et al., 2017).

No que se refere ao contato visual durante a tarefa, o qual fornece pistas sociais, como expressão facial, gestos corporais e *feedback* rápido em tempo real (Okdie et al., 2011), e também facilita a intencionalidade compartilhada, na qual as pessoas compartilham estados psicológicos (cognitivos, afetivos e motivacionais) entre si, levando a uma melhor compreensão e interações sociais colaborativas (Hill et al., 2009), nenhum estudo, com exceção de um (Tang et al., 2016), buscou esclarecer se e como esse contato afeta a sincronização interpessoal do cérebro. O estudo de Tang et al. (2016), evidenciou uma maior sincronização na interação face a face do que com face bloqueada.

Ainda há uma limitação em explicar como e por que a IBS ocorre, devido à falta de uma classificação clara das tarefas de interação usadas nos estudos de *hyperscanning*. Para compreender corretamente a IBS subjacente ao comportamento interativo, é importante levar em consideração as diferentes estruturas das interações (motora ou cognitiva), as estruturas dos objetivos (cooperação ou competição), como também é fundamental considerar os tipos de estrutura das tarefas interativas propostas (tarefas interdependentes ou independentes), pois diferentes estruturas das tarefas podem envolver atividades cerebrais distintas (Liu & Pelowski, 2014). Uma análise cuidadosa é necessária para a interpretação dos resultados de IBS. As diferenças de paradigma podem estar a criar resultados, por vezes, divergentes e controversos entre os estudos (e.g., Liu et al., 2016; Zhang et al., 2017), devido aos diferentes recursos necessários para a execução da tarefa. Por exemplo, Liu et al. (2016) observaram o aumento de IBS no córtex frontal durante uma interação competitiva cognitiva, diversamente, Zhang et al. (2017) o encontraram no córtex pré-frontal também em uma interação competitiva cognitiva. No entanto, as tarefas utilizadas foram bem diversas, Liu et al. (2016) utilizaram o “jogo Jenga”, enquanto Zhang et al. (2017) usaram uma tarefa de jogo de cartas (estilo poker), que precisaria de um maior entendimento das intenções dos outros participantes, sendo necessária a Teoria da Mente e, assim, o engajamento do córtex pré-frontal. Portanto, é importante diferenciar as tarefas experimentais com um olhar para o impacto nos resultados, considerando possíveis paralelos ou diferenças (Liu et al., 2021).

4.9. Limites desta Revisão

Embora nesta revisão não tenham sido incluídos artigos designados como “literatura cinzenta”, isto é, estudos divulgados através de outros canais que não sejam os periódicos revisados por pares, devido aos questionamentos existentes quanto a sua qualidade, há, entretanto, os que defendem que a sua não publicação em revistas académicas revisadas, não está relacionada com sua baixa qualidade, mas sim com a ausência de resultados positivos, o que poderia levar a um enviesamento na seleção dos artigos incluídos e, assim, nos resultados da revisão da literatura (Camilo & Garrido, 2019).

Segundo Liberati et al. (2009), tanto a condução do processo de seleção dos artigos, como o de extração de dados dos mesmos, devem ser realizados por, ao menos, dois investigadores, assim reduzindo a possibilidade de excluir manuscritos importantes e garantir a fiabilidade da informação extraída (Cooper & Hedges, 2009), mas, nesta revisão, estes processos foram realizados por apenas uma pessoa.

4.10. Direções Futuras

Embora a neurociência de segunda pessoa tenha trazido maior validade ecológica para a investigação da interação social, é evidente o quanto ainda precisa avançar. Os estudos de *hyperscanning* ainda têm um longo caminho a percorrer, tendo em vista os desafios metodológicos de estudar os mecanismos de interação social do cérebro.

Para elucidar os processos inter-cerebrais subjacentes ao comportamento interativo, e, assim, haver uma correta compreensão e interpretação da IBS revelada nas várias tarefas experimentais, é importante que novas pesquisas de *hyperscanning* examinem os resultados de acordo com: (1) a estrutura das interações (motora ou cognitiva), (2) a estrutura dos objetivos (cooperação ou competição) e a estrutura das tarefas (interdependentes ou independentes). A literatura da psicologia social tem demonstrado, consistentemente, que distintos tipos de interação podem envolver diferentes processos neurais, cognitivos e comportamentais (Liu & Pelowski, 2014).

Vários fatores influenciam a IBS, incluindo o tipo de atividade social, o ambiente, a importância da interação, a natureza do relacionamento entre os parceiros (Gvirts & Perlmutter, 2020; Redcay & Schilbach, 2019), o objetivo da interação, o objeto de interação, a forma de comunicação e o conteúdo da comunicação (Zhang & Liu, 2018). Os estudos de *hyperscanning* futuros deveriam investigar mais a fundo os fatores que poderão influenciar a IBS, tais como a natureza das relações entre os indivíduos que compõem as duplas ou trios de participantes, a composição sexual das equipas e o contato visual durante a interação, para melhor especificar e qualificar o fenómeno da IBS. A investigação dos efeitos de variáveis sobre a IBS é uma estratégia promissora para compreender as bases neuronais das interações (Liu et al., 2021). Isso é especialmente oportuno, pois algumas pesquisas, se limitaram a tarefas bem simples sem maiores exigências cognitivas, e não adicionaram grupos com constituições diferentes para comparação. Esta revisão reúne evidências de que uma gama de variáveis parecem afetar a intensidade e o local da IBS. No entanto, esforços adicionais devem ser feitos para testar a confiabilidade dessas descobertas iniciais em estudos de replicação, com maior ênfase na necessidade de amostras maiores e design padrão-ouro.

É relevante que novas investigações considerem os fatores afetivos e motivacionais relacionados com a cooperação e competição e, possivelmente, adotem outras medidas autonómicas ou comportamentais por forma a investigar o papel daqueles fatores (Keysers, Kaas, & Gazzola, 2010). Situações experimentais que considerem o envolvimento emocional e

motivacional contribuirão para aumentar a compreensão das emoções e motivações nas interações sociais (Tang et al., 2020). Estudos futuros podem manipular ou controlar o estado motivacional do participante e explorar a relação entre a motivação e a IBS. Os potenciais efeitos do estado motivacional no estabelecimento da IBS devem ser valorizados, uma vez que a motivação desempenha um papel importante durante as interações sociais (Canessa et al., 2012).

A intensidade do componente emocional modula a atividade neuronal síncrona durante as interações sociais (Balconi & Vanutelli, 2017). Mais pesquisas precisam ser conduzidas sobre este tópico, como por exemplo, sobre o efeito de emoções como estresse ou repulsa. Isso pode esclarecer se o impacto das interações emocionais negativas induz a uma menor IBS do que na presença de emoções de valência positiva ou se, em vez disso, o efeito dessas emoções pode depender também do tipo de tarefa (Balconi & Vanutelli, 2018).

Seria interessante que as investigações futuras vinculassem, mais frequentemente, medidas subjetivas de autorrelato às medidas de atividade cerebral. Há um argumento crescente, na neurociência, de que empregar isoladamente medidas comportamentais, ou mesmo medidas fisiológicas focadas no corpo, pode omitir aspectos-chave, especialmente, no que diz respeito à dinâmica de grupo, ou como o indivíduo pode sincronizar suas ideias e ações em equipes (Liu & Pelowski, 2014; Murray & Antonakis, 2019).

Apesar de já haver estudos em contexto naturalista, a maioria dos estudos foi conduzida em laboratório com díades ou tríades, com tarefas bastante simples e com um curto período de interação, sendo que ainda não está claro se esses resultados podem ser generalizados para contextos reais. Estudos futuros precisam explorar a natureza dinâmica da cooperação/competição em ambientes mais realistas, capazes de gerar intenções de uma forma mais ecológica. Grande parte das configurações utilizadas até aqui podem ser bastante artificiais, ocultando as condições e as atividades pelas quais a IBS surge. Há a necessidade de investigações mais amplas e também mais ecologicamente válidas, especialmente devido ao seu aspecto social, emocional e multiparticipante (Mogan et al., 2017).

Aparentemente, nenhum estudo de *hyperscanning* empregou um desenho longitudinal até hoje. É preciso ressaltar a relevância de projetos longitudinais para aumentar a chance de descobrir fenômenos de sincronizações inter-cerebrais, pois a IBS pode aparecer com base no conhecimento mútuo ao longo do tempo. Fazer isso pode ajudar a entender como as redes cerebrais amadurecem à medida que o relacionamento entre as pessoas se desenvolve (Liu et al., 2021). Apesar da importância da interação social no desenvolvimento de vínculos emocionais, poucos trabalhos neurocientíficos adotaram uma perspectiva da neurociência de

segunda pessoa para o estudo do desenvolvimento (Redcay & Warnell, 2018). Uma abordagem de *hyperscanning* para avaliar o desenvolvimento será crucial para entender o desenvolvimento de vínculos afetivos, e os mecanismos pelos quais as regiões do cérebro se especializam para computações socio interativas específicas (Nguyen et al., 2021). Estudos longitudinais poderiam examinar até que ponto a sensibilidade dessas regiões à interação social é preditora de habilidades de mentalização explícitas posteriores.

A pesquisa da IBS pode ser aplicada a grupos com défices de cognição social. Por exemplo, é útil comparar as interações sociais entre indivíduos neurotípicos com grupos clínicos, nomeadamente, com aqueles que apresentam défices de cognição social (como é o caso de indivíduos com Perturbação do Espectro do Autismo, Silveira-Zaldivar, Özerk, & Özerk, 2021), uma vez que pode haver diferença na sincronia entre os cérebros nesses dois grupos. Os resultados dessas pesquisas, podem revelar regiões cerebrais correspondentes ao comprometimento social cognitivo e, assim, fornecer abordagens eficientes de suporte a uma interação social funcional (Liu et al., 2021). No futuro, os ensaios poderiam combinar o *hyperscanning* baseado em EEG com o baseado em fMRI para estudar défices de interação social, e obter um melhor conhecimento dos mecanismos de interação social em indivíduos com Perturbação do Espectro do Autismo ou Perturbação de Personalidade Borderline (Liu et al., 2021).

CAPÍTULO 5

Conclusão

Apesar da alta qualidade geral dos estudos de *hyperscanning* e um rápido crescimento das publicações, as investigações ainda enfrentam desafios metodológicos significativos. É necessário acumular tamanhos de amostra adequadamente alimentados para tirar conclusões confiáveis. Ainda mais importante, o desenho cuidadoso do estudo é de vital importância, e pode ajudar a evitar possíveis armadilhas. No entanto, o *hyperscanning* é uma abordagem consolidada e de validade inestimável para a neurociência social, e tem revelado o papel da IBS nas interações. A investigação pode levar a um avanço da compreensão das interações sociais cooperativas e competitivas, através de um maior conhecimento de como, onde e quando ocorrem as sincronizações neurais. Resultados robustos e replicáveis de estudos cuidadosamente projetados terão o potencial de descobrir os processos cerebrais envolvidos nos vários tipos de interações sociais, e derivar potenciais implicações translacionais e caminhos terapêuticos.

Referências Bibliográficas

- Abe, M. O., Koike, T., Okazaki, S., Sugawara, S. K., Takahashi, K., Watanabe, K., & Sadato, N. (2019). Neural correlates of online cooperation during joint force production. *NeuroImage*, 191, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.02.003>
- Abrams, D. A., Ryali, S., Chen, T., Chordia, P., Khouzam, A., Levitin, D. J., & Menon, V. (2013). Inter-subject synchronization of brain responses during natural music listening. *European Journal of Neuroscience*, 37(9), 1458-1469. <https://doi.org/10.1111/ejn.12173>
- Acquadro, M. A., Congedo, M., & De Ridder, D. (2016). Music performance as an experimental approach to hyperscanning studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 242. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00242>
- Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., Fallani, F. D. V., Salinari, S., Marciani, M. G., ... & Babiloni, F. (2009). Estimation of the cortical activity from simultaneous multi-subject recordings during the prisoner's dilemma. *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1937-1939. doi: 10.1109/IEMBS.2009.5333456.
- Astolfi, L., Toppi, J., Borghini, G., Vecchiato, G., He, E. J., Roy, A., ... & Babiloni, F. (2012). Cortical activity and functional hyperconnectivity by simultaneous EEG recordings from interacting couples of professional pilots. *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4752-4755. doi: 10.1109/EMBC.2012.6347029
- Astolfi, L., Toppi, J., Borghini, G., Vecchiato, G., Isabella, R., Fallani, F. D. V., ... & Babiloni, F. (2011a). Study of the functional hyperconnectivity between couples of pilots during flight simulation: An EEG hyperscanning study. *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2338-2341. doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090654
- Astolfi, L., Toppi, J., Fallani, F. D. V., F., Vecchiato, G., Salinari, S., Mattia, D., Cincotti, F., & Babiloni, F. (2010). Neuroelectrical hyperscanning measures simultaneous brain activity in humans. *Brain Topography*, 23(3), 243-256. <https://doi.org/10.1007/s10548-010-0147-9>
- Astolfi, L., Toppi, J., Fallani, F. D. V., Vecchiato, G., Cincotti, F., Wilke, C. T., ... & Babiloni, F. (2011). Imaging the social brain by simultaneous hyperscanning during subject interaction. *IEEE Intelligent Systems*, 26(5), 38-45. doi: 10.1109/MIS.2011.61

- Babiloni, C., Buffo, P., Vecchio, F., Marzano, N., Del Percio, C., Spada, D., ... & Perani, D. (2012). Brains “in concert”: frontal oscillatory alpha rhythms and empathy in professional musicians. *Neuroimage*, 60(1), 105-116.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.008>
- Babiloni, C., Vecchio, F., Infarinato, F., Buffo, P., Marzano, N., Spada, D., ... & Perani, D. (2011). Simultaneous recording of electroencephalographic data in musicians playing in ensemble. *Cortex*, 47(9), 1082-1090. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.006>
- Babiloni, F., & Astolfi, L. (2014). Social neuroscience and hyperscanning techniques: past, present and future. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 76-93.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.07.006>
- Babiloni, F., Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., Tocci, A., Tarantino, A., ... & Fallani, F. D. V. (2007). Cortical activity and connectivity of human brain during the prisoner's dilemma: an EEG hyperscanning study. *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4953-4956.
doi: 10.1109/IEMBS.2007.4353452
- Baker, J. M., Liu, N., Cui, X., Vrticka, P., Saggari, M., Hosseini, S. M. H., & Reiss, A. L. (2016). Sex differences in neural and behavioral signatures of cooperation revealed by fNIRS hyperscanning. *Scientific Reports*, 6(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/srep26492>
- Balconi, M., & Vanutelli, M. E. (2016). Competition in the brain. The contribution of EEG and fNIRS modulation and personality effects in social ranking. *Frontiers in Psychology*, 7, 1587. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01587>
- Balconi, M., & Vanutelli, M. E. (2017). Cooperation and competition with hyperscanning methods: review and future application to emotion domain. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 11, 86. <https://doi.org/10.3389/fncom.2017.00086>
- Balconi, M., & Vanutelli, M. E. (2018). Functional EEG connectivity during competition. *BMC Neuroscience*, 19(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12868-018-0464-6>
- Balconi, M., & Venturella, I. (2017). Neuromanagement. What about emotion and communication. *Neuropsychological Trends*, 21(1), 9-21. <http://dx.doi.org/10.7358/neur-2017-021-balc>
- Balconi, M., Pezard, L., Nandrino, J. L., & Vanutelli, M. E. (2017). Two is better than one: The effects of strategic cooperation on intra- and inter-brain connectivity by fNIRS. *PLoS ONE*, 12(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187652>
- Barraza, P., Pérez, A., & Rodríguez, E. (2020). Brain-to-Brain coupling in the gamma-band as a marker of shared intentionality. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 295.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00295>

- Camilo, C., & Garrido, M. V. (2019). A revisão sistemática de literatura em psicologia: Desafios e orientações. *Análise Psicológica*, 4(XXXVII), 535-552.
<http://hdl.handle.net/10071/20157>
- Canessa, N., Alemanno, F., Riva, F., Zani, A., Proverbio, A. M., Mannara, N., ... & Cappa, S. F. (2012). The neural bases of social intention understanding: the role of interaction goals. *PLoS ONE*, 7(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042347>
- Cheng, X., Li, X., & Hu, Y. (2015). Synchronous brain activity during cooperative exchange depends on gender of partner: A fNIRS-based hyperscanning study. *Human Brain Mapping*, 36(6), 2039-2048. <https://doi.org/10.1002/hbm.22754>
- Cooper, H., & Hedges, L. V. (2009). Potentials and limitations. Em H. Cooper, L. V. Hedges, & J. C. Valentine (Eds.). *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis*, (2, pp. 237-256). Russell Sage Foundation.
- Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *NeuroImage*, 59(3), 2430-2437. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.003>
- Czeszumski, A., Eustergerling, S., Lang, A., Menrath, D., Gerstenberger, M., Schubert, S., ... & König, P. (2020). Hyperscanning: a valid method to study neural inter-brain underpinnings of social interaction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 39.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00039>
- Decety, J., & Sommerville, J. A. (2003). Shared representations between self and other: a social cognitive neuroscience view. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 527-533.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.10.004>
- Decety, J., Jackson, P. L., Sommerville, J. A., Chaminade, T., & Meltzoff, A. N. (2004). The neural bases of cooperation and competition: an fMRI investigation. *NeuroImage*, 23(2), 744-751. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.025>
- Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggan, L., Oostrik, M., McClintock, J., ... & Poeppel, D. (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Current Biology*, 27(9), 1375-1380. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.002>
- Dommer, L., Jäger, N., Scholkmann, F., Wolf, M., & Holper, L. (2012). Between-brain coherence during joint n-back task performance: A two-person functional near-infrared spectroscopy study. *Behavioural Brain Research*, 234(2), 212-222.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2012.06.024>

- Duan, H., Yang, T., Wang, X., Kan, Y., Zhao, H., Li, Y., & Hu, W. (2020). Is the creativity of lovers better? A behavioral and functional near-infrared spectroscopy hyperscanning study. *Current Psychology*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12144-020-01093-5>
- Dumas, G., Kelso, J. A., & Nadel, J. (2014). Tackling the social cognition paradox through multi-scale approaches. *Frontiers in Psychology*, 5, 882. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00882>
- Dumas, G., Lachat, F., Martinerie, J., Nadel, J., & George, N. (2011). From social behaviour to brain synchronization: review and perspectives in hyperscanning. *IRBM*, 32(1), 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2011.01.002>
- Fallani, F. D. V., Nicosia, V., Sinatra, R., Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., Wilke, C., Doud, A., Latora, V., He, B., & Babiloni, F. (2010). Defecting or not defecting: How to “read” human behavior during cooperative games by EEG measurements. *PLoS ONE*, 5(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014187>
- Feldman, R. (2012). Parent–infant synchrony: A biobehavioral model of mutual influences in the formation of affiliative bonds. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 77(2), 42-51. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.2011.00660.x>
- Fishburn, F. A., Murty, V. P., Hlutkowsky, C. O., MacGillivray, C. E., Bemis, L. M., Murphy, M. E., Huppert, T. J., & Perlman, S. B. (2018). Putting our heads together: Interpersonal neural synchronization as a biological mechanism for shared intentionality. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(8), 841-849. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy060>
- Flavell, J. H. (1999). Cognitive development: Children's knowledge about the mind. *Annual Review of Psychology*, 50(1), 21-45. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.50.1.21>
- Funane, T., Kiguchi, M., Atsumori, H., Sato, H., Kubota, K., & Koizumi, H. (2011). Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 16(7), 077011. <https://doi.org/10.1117/1.3602853>
- Gilam, G., & Hendler, T. (2016). With love, from me to you: embedding social interactions in affective neuroscience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, 590-601. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.027>
- Giuliano, R. J., Skowron, E. A., & Berkman, E. T. (2015). Growth models of dyadic synchrony and mother–child vagal tone in the context of parenting at-risk. *Biological Psychology*, 105, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.12.009>

- Gurung, R., & Prata, D. P. (2015). What is the impact of genome-wide supported risk variants for schizophrenia and bipolar disorder on brain structure and function? A systematic review. *Psychological Medicine*, 45(12), 2461-2480.
<https://doi.org/10.1017/S0033291715000537>
- Gvirts, H. Z., & Perlmutter, R. (2020). What guides us to neurally and behaviorally align with anyone specific? A neurobiological model based on fNIRS hyperscanning studies. *The Neuroscientist*, 26(2), 108-116. <https://doi.org/10.1177/1073858419861912>
- Hari, R., & Kujala, M. V. (2009). Brain basis of human social interaction: from concepts to brain imaging. *Physiological Reviews*, 89(2), 453-479.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2007>
- Hasson, U., & Frith, C. D. (2016). Mirroring and beyond: coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1693), 366. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0366>
- Hill, N. S., Bartol, K. M., Tesluk, P. E., & Langa, G. A. (2009). Organizational context and face-to-face interaction: Influences on the development of trust and collaborative behaviors in computer-mediated groups. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 108(2), 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2008.10.002>
- Hirsch, J., Zhang, X., Noah, J. A., & Ono, Y. (2017). Frontal temporal and parietal systems synchronize within and across brains during live eye-to-eye contact. *NeuroImage*, 157, 314-330. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.06.018>
- Holper, L., Scholkmann, F., & Wolf, M. (2012). Between-brain connectivity during imitation measured by fNIRS. *NeuroImage*, 63(1), 212-222.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.06.028>
- Hu, Y., Hu, Y., Li, X., Pan, Y., & Cheng, X. (2017). Brain-to-brain synchronization across two persons predicts mutual prosociality. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(12), 1835-1844. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx118>
- Hu, Y., Pan, Y., Shi, X., Cai, Q., Li, X., & Cheng, X. (2018). Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making. *Biological Psychology*, 133, 54-62.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.12.005>
- Jahng, J., Kralik, J. D., Hwang, D. U., & Jeong, J. (2017). Neural dynamics of two players when using nonverbal cues to gauge intentions to cooperate during the Prisoner's Dilemma Game. *NeuroImage*, 157, 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.06.024>
- Jiang, J., Dai, B., Peng, D., Zhu, C., Liu, L., & Lu, C. (2012). Neural synchronization during face-to-face communication. *Journal of Neuroscience*, 32(45), 16064-16069.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2926-12.2012>

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2005). New developments in social interdependence theory. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 131(4), 285-358.

<https://doi.org/10.3200/MONO.131.4.285-358>

Kawasaki, M., Yamada, Y., Ushiku, Y., Miyauchi, E., & Yamaguchi, Y. (2013). Inter-brain synchronization during coordination of speech rhythm in human-to-human social interaction. *Scientific Reports*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/srep01692>

Kelsen, B. A., Sumich, A., Kasabov, N., Liang, S. H., & Wang, G. Y. (2020). What has social neuroscience learned from hyperscanning studies of spoken communication? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 3, 19-30.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.09.008>

Keysers, C., & Gazzola, V. (2010). Social neuroscience: mirror neurons recorded in humans. *Current Biology*, 20(8), 353-354. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.03.013>

Keysers, C., Kaas, J. H., & Gazzola, V. (2010). Somatosensation in social perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(6), 417-428. <https://doi.org/10.1038/nrn2833>

King-Casas, B., Tomlin, D., Anen, C., Camerer, C. F., Quartz, S. R., & Montague, P. R. (2005). Getting to know you: reputation and trust in a two-person economic exchange. *Science*, 308(5718), 78-83. doi: 10.1126/science.1108062

Kinreich, S., Djalovski, A., Kraus, L., Louzoun, Y., & Feldman, R. (2017). Brain-to-brain synchrony during naturalistic social interactions. *Scientific Reports*, 7(1), 1-12.

<https://doi.org/10.1038/s41598-017-17339-5>

Koike, T., Tanabe, H. C., & Sadato, N. (2015). Hyperscanning neuroimaging technique to reveal the “two-in-one” system in social interactions. *Neuroscience Research*, 90, 25-32.

<https://doi.org/10.1016/j.neures.2014.11.006>

Konvalinka, I., & Roepstorff, A. (2012). The two-brain approach: how can mutually interacting brains teach us something about social interaction?. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 215. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00215>

Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., & Frith, C. D. (2010). Follow you, follow me: continuous mutual prediction and adaptation in joint tapping. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(11), 2220-2230.

<https://doi.org/10.1080/17470218.2010.497843>

Konvalinka, I., Xygalatas, D., Bulbulia, J., Schjødt, U., Jegindø, E. M., Wallot, S., ... & Roepstorff, A. (2011). Synchronized arousal between performers and related spectators in

- a fire-walking ritual. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8514-8519. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016955108>
- Li, Y., Chen, R., Turel, O., Feng, T., Zhu, C. Z., & He, Q. (2020). Dyad sex composition effect on inter-brain synchronization in face-to-face cooperation. *Brain Imaging and Behavior*, 15(3), 1667-1675. <https://doi.org/10.1007/s11682-020-00361-z>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., ... & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), e1-e34. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>
- Lindenberger, U., Li, S. C., Gruber, W., & Müller, V. (2009). Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar. *BMC Neuroscience*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-22>
- Liu, D., Liu, S., Liu, X., Zhang, C., Li, A., Jin, C., ... & Zhang, X. (2018). Interactive brain activity: review and progress on EEG-based hyperscanning in social interactions. *Frontiers in Psychology*, 9, 1862. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01862>
- Liu, N., Mok, C., Witt, E. E., Pradhan, A. H., Chen, J. E., & Reiss, A. L. (2016). NIRS-based hyperscanning reveals inter-brain neural synchronization during cooperative Jenga game with face-to-face communication. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 82. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00082>
- Liu, T., & Pelowski, M. (2014). Clarifying the interaction types in two-person neuroscience research. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 276. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00276>
- Liu, T., Duan, L., Dai, R., Pelowski, M., & Zhu, C. (2021). Teamwork, Team-brain: Exploring synchrony and team interdependence in a nine-person drumming task via multiparticipant hyperscanning and inter-brain network topology with fNIRS. *NeuroImage*, 237, 118-147. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118147>
- Liu, T., Saito, G., Lin, C., & Saito, H. (2017). Inter-brain network underlying turn-based cooperation and competition: A hyperscanning study using near-infrared spectroscopy. *Scientific Reports*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09226-w>
- Liu, T., Saito, H., & Oi, M. (2015). Role of the right inferior frontal gyrus in turn-based cooperation and competition: a near-infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition*, 99, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.07.001>

- Lu, K., & Hao, N. (2019). When do we fall in neural synchrony with others?. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14(3), 253-261. <https://doi.org/10.1093/scan/nsz012>
- Lu, K., Teng, J., & Hao, N. (2020). Gender of partner affects the interaction pattern during group creative idea generation. *Experimental Brain Research*, 238(5), 1157-1168. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05799-7>
- Martins, D., Mehta, M. A., & Prata, D. (2017). The “highs and lows” of the human brain on dopaminergics: Evidence from neuropharmacology. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 351-371. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.06.003>
- Mayseless, N., Hawthorne, G., & Reiss, A. L. (2019). Real-life creative problem solving in teams: fNIRS based hyperscanning study. *NeuroImage*, 203, 116-161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116161>
- McAssey, M. P., Helm, J., Hsieh, F., Sbarra, D. A., & Ferrer, E. (2013). Methodological advances for detecting physiological synchrony during dyadic interactions. *Methodology*, 9, 41-53. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000053>
- Miller, J. G., Vrtička, P., Cui, X., Shrestha, S., Hosseini, S. H., Baker, J. M., & Reiss, A. L. (2019). Inter-brain synchrony in mother-child dyads during cooperation: an fNIRS hyperscanning study. *Neuropsychologia*, 124, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.12.021>
- Mogan, R., Fischer, R., & Bulbulia, J. A. (2017). To be in synchrony or not? A meta-analysis of synchrony's effects on behavior, perception, cognition and affect. *Journal of Experimental Social Psychology*, 72, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.03.009>
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., ... & Fisher, R. E. (2002). Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions, *NeuroImage* 16, 1159–1164. doi:10.1006/nimg.2002.1150.
- Mu, Y., Guo, C., & Han, S. (2016). Oxytocin enhances inter-brain synchrony during social coordination in male adults. *Social cognitive and affective neuroscience*, 11(12), 1882-1893. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw106>
- Müller, V., Sängler, J., & Lindenberger, U. (2013). Intra-and inter-brain synchronization during musical improvisation on the guitar. *PloS One*, 8(9), e73852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073852>
- Murray, M. M., & Antonakis, J. (2019). An introductory guide to organizational neuroscience. *Organizational Research Methods*, 22(1), 6-16. <https://doi.org/10.1177/1094428118802621>

- Nguyen, T., Schleihauf, H., Kayhan, E., Matthes, D., Vrtička, P., & Hoehl, S. (2020). The effects of interaction quality on neural synchrony during mother-child problem solving. *Cortex*, 124, 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.11.020>
- Nguyen, T., Schleihauf, H., Kungl, M., Kayhan, E., Hoehl, S., & Vrtička, P. (2021). Interpersonal neural synchrony during father-child problem solving: an fNIRS hyperscanning study. *Child Development*, 92(4), 565-580. <https://doi.org/10.1111/cdev.13510>
- Novembre, G., Sammler, D., & Keller, P. E. (2016). Neural alpha oscillations index the balance between self-other integration and segregation in real-time joint action. *Neuropsychologia*, 89, 414-425. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.027>
- Nozawa, T., Sasaki, Y., Sakaki, K., Yokoyama, R., & Kawashima, R. (2016). Interpersonal frontopolar neural synchronization in group communication: an exploration toward fNIRS hyperscanning of natural interactions. *NeuroImage*, 133, 484-497. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.059>
- Nummenmaa, L., Glerean, E., Viinikainen, M., Jääskeläinen, I. P., Hari, R., & Sams, M. (2012). Emotions promote social interaction by synchronizing brain activity across individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(24), 9599-9604. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206095109>
- Nummenmaa, L., Lahnakoski, J. M., & Glerean, E. (2018). Sharing the social world via intersubject neural synchronisation. *Current Opinion in Psychology*, 24, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.02.021>
- Okdie, B. M., Guadagno, R. E., Bernieri, F. J., Geers, A. L., & Mclarney-Vesotski, A. R. (2011). Getting to know you: Face-to-face versus online interactions. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.017>
- Osaka, N., Minamoto, T., Yaoi, K., Azuma, M., & Osaka, M. (2014). Neural synchronization during cooperated humming: a hyperscanning study using fNIRS. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 126, 241-243. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.395>
- Osaka, N., Minamoto, T., Yaoi, K., Azuma, M., Shimada, Y. M., & Osaka, M. (2015). How two brains make one synchronized mind in the inferior frontal cortex: fNIRS-based hyperscanning during cooperative singing. *Frontiers in Psychology*, 6, 1811. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01811>
- Pan, Y., Cheng, X., Zhang, Z., Li, X., & Hu, Y. (2017). Cooperation in lovers: an fNIRS-based hyperscanning study. *Human Brain Mapping*, 38(2), 831-841.

<https://doi.org/10.1002/hbm.23421>

Pfeiffer, U. J., Timmermans, B., Vogeley, K., Frith, C., & Schilbach, L. (2013). Towards a neuroscience of social interaction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 22.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00022>

Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction. *Nature Reviews Neuroscience*, 20(8), 495-505.

<https://doi.org/10.1038/s41583-019-0179-4>

Redcay, E., & Warnell, K. R. (2018). A social-interactive neuroscience approach to understanding the developing brain. *Advances in Child Development and Behavior*, 54, 1-44. <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2017.10.001>

Reddish, P., Fischer, R., & Bulbulia, J. (2013). Let's dance together: synchrony, shared intentionality and cooperation. *PLoS ONE*, 8(8), 71182.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071182>

Reindl, V., Gerloff, C., Scharke, W., & Konrad, K. (2018). Brain-to-brain synchrony in parent-child dyads and the relationship with emotion regulation revealed by fNIRS-based hyperscanning. *NeuroImage*, 178, 493-502.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.05.060>

Reindl, V., Wass, S., Leong, V., Scharke, W., Wistuba, S., Wirth, C. L., ... & Gerloff, C. (2021). Synchrony of mind and body are distinct in mother-child dyads. *bioRxiv*.

<https://doi.org/10.1101/2021.02.21.432077>

Saito, D. N., Tanabe, H. C., Izuma, K., Hayashi, M. J., Morito, Y., Komeda, H., ... & Sadato, N. (2010). "Stay tuned": inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 4, 127.

<https://doi.org/10.3389/fnint.2010.00127>

Sänger, J., Müller, V., & Lindenberger, U. (2012). Intra- and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 312.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00312>

Sänger, J., Müller, V., & Lindenberger, U. (2013). Directionality in hyperbrain networks discriminates between leaders and followers in guitar duets. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 234. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00234>

Schilbach, L., Timmermans, B., Reddy, V., Costall, A., Bente, G., Schlicht, T., & Vogeley, K. (2013). Toward a second-person neuroscience 1. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(4), 393-414. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000660>

- Sciaraffa, N., Liu, J., Aricò, P., Flumeri, G. D., Inguscio, B. M., Borghini, G., & Babiloni, F. (2021). Multivariate model for cooperation: bridging social physiological compliance and hyperscanning. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(1-2), 193-209. <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa119>
- Shaw, D. J., Czekóová, K., Staněk, R., Mareček, R., Urbánek, T., Špalek, J., ... & Brázdil, M. (2018). A dual-fMRI investigation of the iterated Ultimatum Game reveals that reciprocal behaviour is associated with neural alignment. *Scientific Reports*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29233-9>
- Shockley, K., Santana, M. V., & Fowler, C. A. (2003). Mutual interpersonal postural constraints are involved in cooperative conversation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(2), 326. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.29.2.326>
- Silveira-Zaldivar, T., Özerk, G., & Özerk, K. (2021). Developing social skills and social competence in children with autism. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 13(3), 341-363. doi: 10.26822/iejee.2021.195
- Sinha, N., Maszczyk, T., Wanxuan, Z., Tan, J., & Dauwels, J. (2016). EEG hyperscanning study of inter-brain synchrony during cooperative and competitive interaction. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 004813-004818. doi: 10.1109/SMC.2016.7844990
- Sun, B., Xiao, W., Feng, X., Shao, Y., Zhang, W., & Li, W. (2020). Behavioral and brain synchronization differences between expert and novice teachers when collaborating with students. *Brain and Cognition*, 139, 105513. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.105513>
- Szymanski, C., Pesquita, A., Brennan, A. A., Perdikis, D., Enns, J. T., Brick, T. R., ... & Lindenberger, U. (2017). Teams on the same wavelength perform better: Inter-brain phase synchronization constitutes a neural substrate for social facilitation. *NeuroImage*, 152, 425-436. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.013>
- Tang, H., Mai, X., Wang, S., Zhu, C., Krueger, F., & Liu, C. (2016). Interpersonal brain synchronization in the right temporo-parietal junction during face-to-face economic exchange. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(1), 23-32. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv092>
- Tang, Y., Liu, X., Wang, C., Cao, M., Deng, S., Du, X., Dai, Y., Geng, S., Fan, Y., Cui, L., & Li, F. (2020). Different strategies, distinguished cooperation efficiency, and brain synchronization for couples: an fNIRS-based hyperscanning study. *Brain and Behavior*, 10(9), e01768. <https://doi.org/10.1002/brb3.1768>

- Tauer, J. M., & Harackiewicz, J. M. (2004). The effects of cooperation and competition on intrinsic motivation and performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 86(6), 849. <https://doi.org/10.1037/h0087892>
- Tognoli, E., Lagarde, J., DeGuzman, G. C., & Kelso, J. S. (2007). The phi complex as a neuromarker of human social coordination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(19), 8190-8195. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611453104>
- Tomlin, D., Kayali, M. A., King-Casas, B., Anen, C., Camerer, C. F., Quartz, S. R., & Montague, P. R. (2006). Agent-specific responses in the cingulate cortex during economic exchanges. *Science*, 312(5776), 1047-1050. doi: 10.1126/science.1125596
- Toppi, J., Borghini, G., Petti, M., He, E. J., De Giusti, V., He, B., ... & Babiloni, F. (2016). Investigating cooperative behavior in ecological settings: an EEG hyperscanning study. *PloS ONE*, 11(4), e0154236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154236>
- Xie, H., Karipidis, I. I., Howell, A., Schreier, M., Sheau, K. E., Manchanda, M. K., ... & Saggarr, M. (2019). Finding the neural correlates of collaboration using a three-person fMRI hyperscanning paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(37), 23066-23072. <https://doi.org/10.1101/782870>
- Xue, H., Lu, K., & Hao, N. (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly creative pair. *NeuroImage*, 172, 527-537. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.02.007>
- Yang, J., Zhang, H., Ni, J., De Dreu, C. K., & Ma, Y. (2020). Within-group synchronization in the prefrontal cortex associates with intergroup conflict. *Nature Neuroscience*, 23(6), 754-760. <https://doi.org/10.1038/s41593-020-0630-x>
- Yun, K., Watanabe, K., & Shimojo, S. (2012). Interpersonal body and neural synchronization as a marker of implicit social interaction. *Scientific Reports*, 2, 1-8. <https://doi.org/10.1038/srep00959>
- Zhang, M., Jia, H., & Zheng, M. (2020). Interbrain synchrony in the expectation of cooperation behavior: a hyperscanning study using functional near-infrared spectroscopy. *Frontiers in Psychology*, 11, 542093. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.542093>
- Zhang, M., Liu, T., Pelowski, M., Jia, H., & Yu, D. (2017). Social risky decision-making reveals gender differences in the TPJ: a hyperscanning study using functional near-infrared spectroscopy. *Brain and Cognition*, 119, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.08.008>

Anexo

Pontuação da avaliação da qualidade de todos os estudos revisados de acordo com os critérios do Quadro 2.2.

Primeiro autor et al., ano	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Pontuação Total	% qualidade (Pontuação Total/Pontuação Máxima)	Avaliação de qualidade
Abe et al., 2019	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	0	32	86%	Alta
Baker et al., 2016	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	0	30	81%	Alta
Balconi et al., 2017	3	2	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	32	86%	Alta
Balconi et al., 2018	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	34	94%	Alta
Barraza et al., 2020	3	2	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	33	92%	Alta
Cheng et al., 2015	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	0	31	86%	Alta
Cui et al., 2012	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	3	0	30	81%	Alta
Dommer et al., 2012	3	3	2	2	3	2	3	0	2	3	3	0	26	72%	Média
Duan et al., 2020	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	0	32	89%	Alta
Fishburn et al., 2018	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	0	31	86%	Alta
Hu et al., 2017	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	33	92%	Alta
Hu et al., 2018	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	0	30	81%	Alta
Li et al., 2020	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	35	97%	Alta
Lindenberger et al., 2009	3	3	3	2	3	1	3	0	2	2	3	0	25	69%	Baixa
Liu et al., 2016	3	3	2	3	2	2	3	1	3	3	3	0	28	78%	Média
Liu et al., 2017	3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	3	0	30	81%	Alta
Lu et al., 2019	3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	3	3	33	92%	Alta
Lu et al., 2020	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	34	94%	Alta
Miller et al., 2019	3	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	33	92%	Alta
Nguyen et al., 2020	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	0	31	86%	Alta

Nguyen et al., 2021	3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	3	0	30	81%	Alta
Pan et al., 2016	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	35	97%	Alta
Reindl et al., 2018	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	35	97%	Alta
Sciaraffa et al., 2021	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	3	33	92%	Alta
Sun et al., 2020	3	3	2	2	2	3	3	1	3	3	3	3	31	86%	Alta
Tang et al., 2016	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	35	97%	Alta
Xie at al., 2020	3	3	3	3	3	2	3	0	3	3	3	0	29	81%	Alta
Xue et al., 2018	3	3	3	2	3	3	3	0	3	3	3	0	29	81%	Alta
Yun et al., 2012	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	0	30	83%	Alta
Zhang et al., 2017	3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	3	3	33	92%	Alta
Nº de estudos com Pontuação 3	30	24	28	11	26	20	29	8	27	29	30	14			
Nº de estudos com Pontuação 2	0	6	2	19	4	9	1	3	3	1	0	0			
Nº de estudos com Pontuação 1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0			
Nº de estudos com Pontuação 0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	16			
Cumprimento Integral	100%	80%	93%	37%	87%	67%	97%	27%	90%	97%	100%	47%			

