

**ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA NO CÓRTEX
PRÉ-FRONTAL VENTROMEDIAL E DORSOLATERAL PARA MODULAÇÃO DA
COOPERAÇÃO EM JOGOS DE BENS PÚBLICOS**

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Coordenadoria de Fomento à Pesquisa - Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Beatriz Galante Alves de Lima¹
Prof. Dr. Paulo Sérgio Boggio²

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS)¹

Programa de Pós-graduação em Distúrbios do Desenvolvimento²

<10390117@mackenzista.com.br¹>
<paulo.boggio@mackenzie.br²>

RESUMO

Comportamentos cooperativos são essenciais para a vida em sociedade, mas suas bases neurofisiológicas ainda não são completamente compreendidas. Este estudo investigou os efeitos da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) no córtex pré-frontal dorsolateral (CPFdl) e ventromedial (CPFvm) sobre decisões cooperativas, utilizando a tarefa do Jogo dos Bens Públicos (PGG). Os resultados mostraram que a estimulação anódica no CPFdl reduziu significativamente a cooperação em comparação ao grupo placebo, enquanto a estimulação no CPFvm não apresentou diferença estatística. Esses achados contribuem para o debate sobre os mecanismos neurais da cooperação, sugerindo que o CPFdl pode estar envolvido mais no processamento da decisão do que no resultado cooperativo em si.

Palavras-chave: Cooperação; ETCC; Jogo dos Bens Públicos; Córtex pré-frontal; Neuromodulação.

ABSTRACT

Cooperative behavior plays a fundamental role in social organization and collective functioning, yet its neurophysiological basis remains under debate. This study investigated the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the dorsolateral (DLPFC) and ventromedial (VMPFC) prefrontal cortex during the Public Goods Game (PGG). Results showed that anodal stimulation of the DLPFC significantly reduced cooperation compared to the placebo group, while stimulation of the VMPFC had no statistically significant effect. These findings contribute to the understanding of the neural mechanisms of cooperation, suggesting that the DLPFC may be more involved in the decision-making process itself than in the final cooperative outcome.

Keywords: Cooperation, tDCS, Public Gods Game, Prefrontal cortex, Neuromodulation.

1. INTRODUÇÃO

Desde cedo, na vida humana, a cooperação emerge na formação e manutenção de grupos, um dos comportamentos responsáveis pelo sucesso de instituições políticas, organizações e nações, sendo, inclusive, fundamental para a resolução de questões urgentes, como mudanças climáticas e estratégias de gestão ambiental (e.g. problemas que requerem ações conjuntas) (Wills *et al.*, 2018; Pärnamets *et al.*, 2020). Justifica-se, portanto, a execução de pesquisas que visam investigar os componentes neurofisiológicos desse comportamento interpessoal em prol do benefício coletivo.

Cooperação é uma ação em que duas ou mais pessoas estabelecem uma relação de interdependência para alcançar resultados que beneficiem os envolvidos na ação (Dovidio *et al.*, 2006), esta definição já evidencia a importância social da compreensão deste comportamento pela sociedade. Uma vez que ele se constitui base para que o coletivo seja cooperativo, as explicações da neurociência se mostram essencial no entendimento de tal fenômeno. Atualmente, na literatura, há modelos de explicação dos mecanismos fisiológicos que subsidiam tais ações, porém foram apresentados dados contraditórios na literatura, que serão explicados abaixo, após a delimitação conceitual do comportamento cooperativo.

A geração de bens comuns diferencia a cooperação de outros comportamentos pró-sociais, como altruísmo e ajuda. Segundo a categorização de Dovidio e colaboradores (2006), embora todos se classifiquem como atos interpessoais, o termo “*comportamentos pró-sociais*” é extremamente amplo e descreve ações distintas. Dessa forma, os comportamentos necessitam ser especificados em outras categorias como cooperação ou altruísmo e ajuda. Por exemplo, uma ajuda diante de catástrofes ambientais visa melhorar o bem-estar ou benefício de outra pessoa, conhecida ou não, por meio de doações de recursos ou suprimentos, enquanto o comportamento cooperativo se caracterizaria pela apresentação de comportamentos sustentáveis, como fazer coleta seletiva de resíduos, o que, no longo prazo, beneficia todo um grupo, diminuindo a possibilidade de catástrofes ambientais (Dovidio *et al.*, 2006).

Ainda persiste, contudo, o debate filosófico sobre a tendência humana de ser naturalmente pró-social ou egoísta, culminando em investigações sobre as tomadas de decisões cooperativas, sendo naturalmente institutivas ou coibidas por instituições sociais (Wills *et al.*, 2018). Essas questões são investigadas por cientistas contemporâneos a partir de novos modelos teóricos que estudam, inclusive, os substratos neurofisiológicos desses comportamentos (Wills

et al., 2018). Há, ainda, uma tradição investigativa dentro da linha de pesquisa de comportamentos pró-sociais a partir da restrição do tempo de resposta a fim de investigar se o processo de tomada de decisão cooperativa se alinhava com modelos de restrição pró-social ou de intuição pró-social (Wills *et al.*, 2018).

Em uma replicação para verificar a hipótese do papel de restrição do tempo de resposta, Bouwmeester e colaboradores (2017) não verificaram diferenças significativas entre as condições de intuição e deliberação, cujos resultados variaram dentre os experimentos do estudo (Bouwmeester *et al.*, 2017). Nessa mesma linha de investigação dual (e.g. deliberativo vs. intuitivo), outras pesquisas verificaram que a pressão para tomar decisões mais rapidamente faz com que as pessoas apresentem mais comportamentos cooperativos, enquanto a possibilidade de levar mais tempo para decidir proporcionava mais decisões egoístas (Rand *et al.*, 2012; Everett *et al.*, 2017).

Por fim, o método mais utilizado para essas investigações do comportamento cooperativo são os jogos econômicos nos quais colocam o interesse individual conflitante com o interesse coletivo e calculam a deliberação e intuição do comportamento cruzando o tempo de resposta que mais favoreceria o indivíduo (Wills *et al.*, 2018). Esses dados sobre a alocação dos recursos (e.g. moedas no jogo, ou dinheiro na realidade) de cada participante foram o substrato de muitos estudos que tiveram achados contraditórios na literatura. Inclusive, existindo estudos que apoiam modelos de restrição pró-social e de intuição pró-social (Rand, 2016; Everett *et al.*, 2017).

Posteriormente, foi criado outro modelo teórico que para investigar as bases neurofisiológicas dos comportamentos cooperativos: o modelo baseado em valor (Wills, 2019; Hackel; Wills; Van Bavel, 2020), em comparação ao modelo de processamento dual (Rand *et al.*, 2012; Rand, 2016). No modelo dual, os sistemas neurais do processamento da cooperação resultam de embates entre processos deliberados (e.g. controlados, devagar e com esforço intencional) e processos intuitivos (e.g. automáticos, rápidos e sem esforço intencional) (Costa; Arantes; Keating, 2022), já no modelo baseado em valor há outras variáveis consideradas na tomada de decisão final.

Para ambos os modelos teóricos, as áreas do córtex pré-frontal ventromedial (CPFvm) e dorsolateral (CPFdl) exercem papéis fundamentais na tomada de decisão final do comportamento, porém eles diferem na explicação dada ao fenômeno.

No funcionamento proposto pelo processamento dual, os processos deliberativos e intuitivos ocorreriam, prioritariamente, nas áreas dorsolateral e ventromedial, respectivamente. Dessa forma, enfatizam-se na literatura, pesquisas neurofisiológicas que encontraram os sistemas neurais subjacentes ao processo deliberativo (Satpute; Lieberman, 2006), assim como estudos com lesões no CPFdl relataram prejuízos no processo deliberativo (Barbey; Koenigs; Grafman, 2013), enquanto lesões no CPFvm prejudicaram o processo intuitivo (Bechara *et al.*, 2000).

A explicação teórica para decisões cooperativas do modelo baseado em valor considera que no processo de tomada de decisão no qual variáveis diversas são levadas em consideração para a formação de valores subjetivos, isto é, características individuais e contextuais que modulam o valor de cooperar ou não (Pärnamets *et al.*, 2020; Van Bavel, 2022). Na visão do pesquisador Van Bavel (2022), o modelo de explicação dual se mostra, portanto, insuficiente para explicar completamente fenômenos sociais, devido a outros fatores que influenciam tomadas de decisão pró-sociais, como identidade pessoal, identidade social e relações intergrupais.

Tais medidas comportamentais dos jogos econômicos associados ao fenômeno da cooperação devem ser atreladas também aos processos neurofisiológicos que subsidiam a cooperação, conferindo às contradições da literatura um maior embasamento para as explicações teóricas. Desse modo, considerando a importância da cooperação em grupo e seu valor adaptativo, um objetivo importante para a neurociência social é compreender os fundamentos psicológicos e neurais do comportamento cooperativo (Wills *et al.*, 2018).

Portanto, este presente estudo investigou o conhecimento acerca das bases neurofisiológicas da cooperação humana, utilizando, para isso, a técnica neuromoduladora da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC), a partir da tarefa do Jogo dos Bens Públicos (PGG, do inglês *Public Goods Game*), um jogo econômico. Mais especificamente, este projeto de Iniciação Científica objetivou melhor entender as funções das regiões ventromedial e dorsolateral do córtex pré-frontal na cooperação, a partir do PGG para gerar

novos dados para contribuir sobre o debate das bases neurofisiológicas do comportamento cooperativo.

1.2 Objetivo Geral

Investigar os papéis das áreas ventromedial e dorsolateral do córtex pré-frontal na cooperação, a partir da neuromodulação por Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) na tarefa do jogo dos bens públicos (PGG).

1.3 Objetivos Específicos:

- Avaliar o efeito da neuromodulação anódica (excitatória) sobre o córtex pré-frontal dorsolateral (CPFdl) nos resultados do PGG.
- Avaliar o efeito da neuromodulação anódica (excitatória) sobre o córtex pré-frontal ventromedial (CPFvm) nos resultados do PGG.
- Identificar se o efeito da neuromodulação é estatisticamente significativo e como os resultados se relacionam os diferentes modelos teóricos (modelo baseado em valor)

1.4 Hipóteses

H1: A estimulação anódica (excitatória) do CPFdl aumentará o comportamento cooperativo quando comparada à condição de estimulação placebo (Wills *et al.*, 2018).

H2: A estimulação anódica (excitatória) do CPFvm não influenciará o comportamento cooperativo, sendo os níveis de cooperação iguais à condição de estimulação placebo (Wills *et al.*, 2018).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os comportamentos cooperativos têm sido estudados por meio de uma nova perspectiva teórico-conceitual baseada em valor, na qual particularidades individuais e fatores contextuais influenciam a tomada de decisão (Pärnamets *et al.*, 2020). Nessa perspectiva, considera-se, na

cooperação, o córtex pré-frontal ventromedial (CPFvm) como um centro integrador responsável pelo processamento do resultado comportamental, enquanto o córtex pré-frontal dorsolateral (CPFdl) associa-se à formação de expectativas e à identificação de normas sociais (Van Bavel, 2022; Pärnamets *et al.*, 2020; Wu; Hong, 2022). Estudos que investigaram pacientes com lesões em áreas pré-frontais levantaram, todavia, novas hipóteses sobre a causalidade da cooperação (Wills *et al.*, 2018), em vista de resultados polêmicos comparados ao modelo baseado em valor.

Dentre os métodos experimentais utilizados para investigar o fenômeno da cooperação, destacam-se os jogos econômicos, reconhecidos por simular uma tomada de decisão em ambientes controlados. O funcionamento desses jogos perpassa a Teoria dos Jogos, modelos matemáticos para descrever como as decisões alheias influenciam o sucesso individual na tomada de decisão, buscando-se a decisão ideal para um indivíduo, considerando também o benefício do grupo (Ward, 2016). No caso do PGG, uma característica fundamental é a contraposição entre o benefício pessoal e coletivo. O PGG apresenta um dilema de cooperação entre três ou mais jogadores (sendo 2 ou mais programados virtualmente), em que cada um recebe a mesma quantia de dinheiro que pode, ou não, ser doada para um fundo comum, e cujo valor acumulado é dobrado e distribuído igualmente entre todos os participantes. Nesse jogo, há a possibilidade de os jogadores não cooperarem e, ainda assim, receberem o benefício da distribuição do fundo comum; são os chamados jogadores *free-riders* (Ward, 2016).

Para o modelo baseado em valor, mais especificamente, a região ventromedial estaria atrelada ao sistema de avaliação, enquanto a dorsolateral estaria relacionada a *inputs* de metas, controle, expectativas, normas e cognição social (Pärnamets *et al.*, 2020). Em um experimento com lesão, Wills e colaboradores (2018) que encontraram resultados contraditórios as funções que cada região tinha dentro do modelo baseado em valor. No experimento, os autores utilizaram imagens por ressonância magnética funcional (RMf) juntamente com o PGG. As lesões cerebrais dos voluntários apresentavam variações de local e tipo, mas, comparados ao grupo controle, os participantes com lesão no CPFdl tendiam a cooperar menos no PGG, enquanto os com lesão no CPFvm tendiam a maiores níveis de cooperação, diferentemente do esperado (Wills *et al.*, 2018), supondo uma participação importante do CPFdl na cooperação na tomada de decisão final.

Destacam-se, por outro lado, as limitações dos estudos de lesão, que geralmente são compostos por pequenas amostras e pressupõem homogeneidade das lesões. Uma investigação

com parâmetros experimentais bem definidos permitiria, portanto, avaliar o fenômeno com mais precisão. Esse avanço pode ser realizado utilizando técnicas de neuroestimulação não-invasivas, que permitem modular a atividade neurofisiológica nas áreas de interesse (Wagner *et al.*, 2007). Com especial atenção à estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC), que promove alteração da excitabilidade cortical e torna possível inferir causalidade em diversos fenômenos (Wagner *et al.*, 2007), este projeto propõe investigar o papel do CPFvm e do CPFdl na cooperação, em tarefa com o PGG, buscando auxiliar a resolução do conflito teórico existente, ao modular, de maneira controlada, a atividade dessas áreas em sujeitos saudáveis e verificar se os resultados encontrados por Wills e colaboradores (2018) são replicáveis.

3. METODOLOGIA

3.1 Participantes

Realizou-se uma análise *a priori* do tamanho amostral usando o pacote "pwr" no R Studio, para determinar o número de participantes necessários, considerando um poder desejado de 95%, um nível alfa de 5% e, com base em um estudo anterior com variáveis semelhantes (Li *et al.*, 2018), um tamanho de efeito médio ($f = 0,5$). O resultado do cálculo foi um tamanho amostral de 21,6 por grupo.

Definiu-se, assim, a amostra-alvo em 22 participantes por grupo, sendo três grupos, totalizando 66 participantes. Participaram do estudo 42 estudantes universitários, divididos em três grupos experimentais. O grupo Placebo teve uma média de idade de 24,2 anos ($DP = 3,2$), o grupo de estimulação no CPFdl apresentou uma média de idade de 22,1 anos ($DP = 2,5$) e o grupo de estimulação no CPFvm teve uma média de idade de 22,8 anos ($DP = 2,8$). As coletas continuam a acontecer para alcançar o total de 66 participantes.

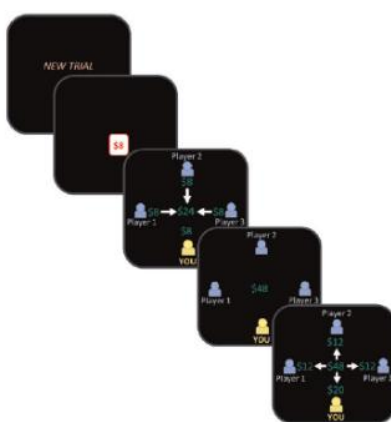
3.2 Instrumentos:

3.2.1 Tarefas e Questionários:

Questionário sociodemográfico: Estruturado com perguntas sobre nome, idade, uso de medicações, lateralidade, histórico de cirurgias, presença de implantes metálicos na cabeça, histórico de epilepsia ou qualquer outro problema neurológico.

Jogo dos Bens Públicos: Jogo econômico com três ou mais jogadores, em que cada jogador decide o quanto, ou mesmo se, doará para um fundo comum. Após a decisão de todos os jogadores, o valor do fundo é dobrado e distribuído entre todos os participantes, tendo eles contribuído inicialmente ou não (Fehr; Fishbacher, 2004). A tarefa desta pesquisa será embasada na tarefa com o PGG do estudo de Wills e colaboradores (2018), que consiste em cada participante jogar 20 rodadas do jogo experimental, com 5 telas, com ilustrado abaixo:

Figura 1. Rodada com decisão na segunda tela e feedback na quarta



Fonte: Wills e colaboradores (2018).

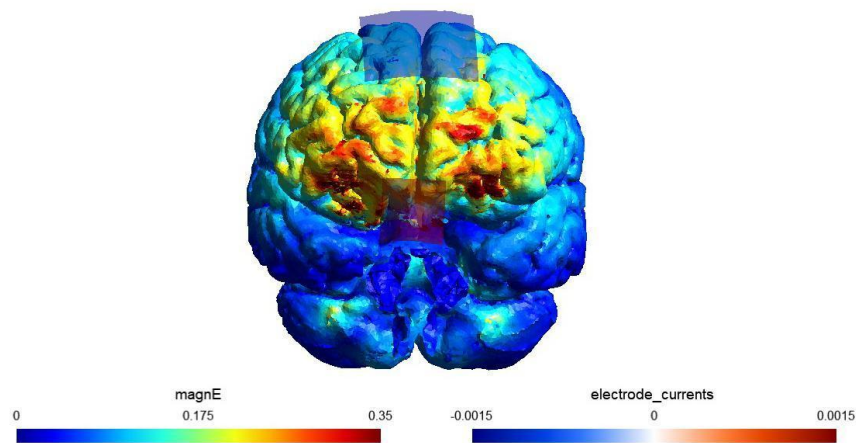
Jogo do Ditador: Jogo utilizado para mensurar generosidade, no qual o participante deverá alocar, livremente, o valor de R\$ 100,00 entre ele e outra pessoa. O valor alocado para o outro indica o nível de generosidade do participante (Forsythe *et al.*, 1994). Não há possibilidade de aceite ou recusa por parte do receptor da proposta.

Questionário de efeitos colaterais da ETCC: Cinco perguntas sobre os sintomas sentido logo após a aplicação da ETCC.

3.2.2 Equipamentos

- **Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua:** Os eletrodos da ETCC foram posicionados seguindo o Sistema Internacional 10-20. Para a estimulação no CPFvm, a montagem foi de anodo em Násio (2:2) e de cátodo em AFz (3:4), com intensidade da corrente contínua de baixa intensidade de 1.5mA.

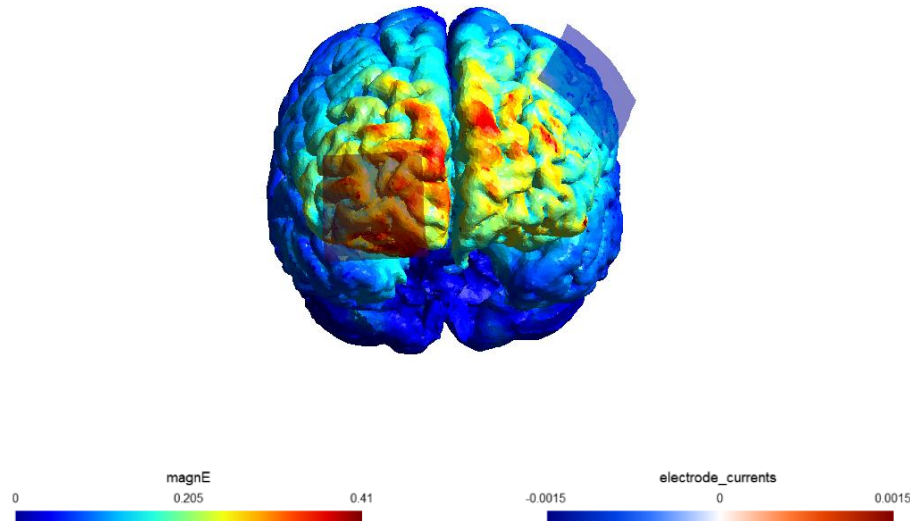
Figura 2. Simulação da montagem da ETCC para o CPFvm



Vista frontal do encéfalo, com o eletrodo anódico posicionado sobre Násio e o eletrodo catódico sobre AFz. Fonte: Imagem gerada pelo próprio autor, pelo *software* SIMNIBS.

Para a estimulação no CPFdl, a montagem do eletrodo anódico (3:3) foi posicionado em F3 e do eletrodo catódico (3:3) em Fp2.

Figura 3. Simulação da montagem da ETCC para o CPFdl



Vista frontal do encéfalo, com o eletrodo catódico posicionado sobre Fp2 e o eletrodo anódico sobre F3. Fonte: Imagem gerada pelo próprio autor, pelo *software* SIMNIBS.

Para ambas as montagens, no início e na finalização da estimulação, foi feita uma rampa de subida e descida de 30 segundos. Os eletrodos estavam envoltos por uma espuma equivalente ao tamanho do eletrodo a ser acoplado à superfície craniana com, respectivamente, 12cm² (3cm

x 4cm), 9cm² (3cm x 3cm) e 4cm² (2cm x 2cm). A estimulação iniciou 5 minutos antes da tarefa e permaneceu durante toda a tarefa do PGG, que pode demorar entre 10 e 15 minutos.

3.2.3 Procedimentos

A participação dos voluntários no estudo ocorreu mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Em seguida, os participantes responderam um questionário sociodemográfico e foram divididos em 3 grupos, os quais realizaram a tarefa de PGG: Grupo com ETCC anódica (excitatória) no CPFdl, Grupo com ETCC anódica no CPFvm e controle ativo (placebo). Logo após a realização da tarefa, os participantes preencheram um questionário sobre os efeitos colaterais da ETCC. A sala onde o experimento foi conduzido se encontra propriamente adaptada para a condução do presente estudo. Após a realização da coleta, cada participante recebeu um certificado de 2 horas de atividades complementares de pesquisa pela participação no estudo.

3.2.4 Aspectos Éticos

O estudo foi conduzido de acordo com os requerimentos do Comitê de Ética da Universidade Presbiteriana Mackenzie e baseado nas recomendações estabelecidas na Declaração de Helsinki (1964), conforme emenda em Tóquio (1975), Veneza (1983), Hong-Kong (1989) e Fortaleza (2013). Todos os participantes tiveram pleno conhecimento dos objetivos e métodos dos experimentos, assim como forneceram consentimento por escrito, por meio de assinatura do TCLE, a ser elaborado. Foi devidamente avisado aos voluntários da pesquisa que esses poderiam deixar o estudo a qualquer momento em que desejarem, sem necessidade de justificativa.

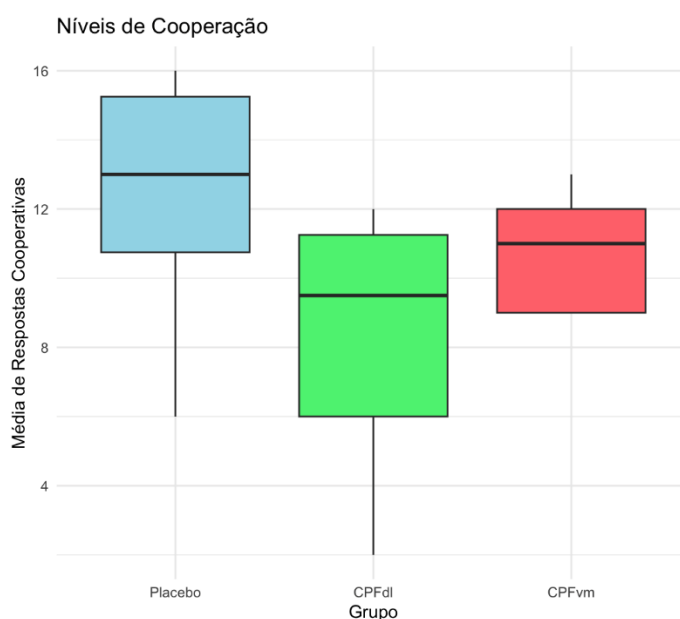
3.2.5 Análise de Resultados

Foi ajustado um modelo misto logístico utilizando a função ‘gmler’ do pacote lme4 (Bates *et al.*, 2015) no R, com estimação de máxima verossimilhança e otimizador ‘BOBYQA’, para prever a variável ‘Resposta’ (decisão de cooperar no PGG), dada a variável ‘Tratamento’ (placebo ou ativo), tendo como fórmula do modelo principal o seguinte: ‘Resposta ~ Tratamento’.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Em relação às respostas cooperativas, o grupo Placebo apresentou uma média de resposta de 0,61 enquanto o grupo de estimulação anódica no CPFdl teve uma média de 0,42 e o grupo CPFvm uma média de 0,54 (ver Figura 1). Os tempos de reação médios (RT) foram de 2158 ms para o grupo Placebo, 2333 ms para o grupo CPFdl e 3012 ms para o grupo CPFvm.

Figura 1. Média de Respostas Cooperativas por Grupo



Os resultados da análise de regressão logística realizada para avaliar a influência do tratamento com tDCS sobre as respostas no Jogo de Bens Públicos (PGG) foram apresentados conforme o modelo $\text{Resposta} \sim \text{Grupo}$, onde Resposta representa a variável dependente (resposta no PGG, 0 = Não cooperar e 1 = Cooperar) e Grupo é a variável independente (tratamento com tDCS). O grupo placebo foi utilizado como a categoria de referência (intercepto) para comparação com os grupos de tratamento CPFdl e CPFvm (ver figura 2).

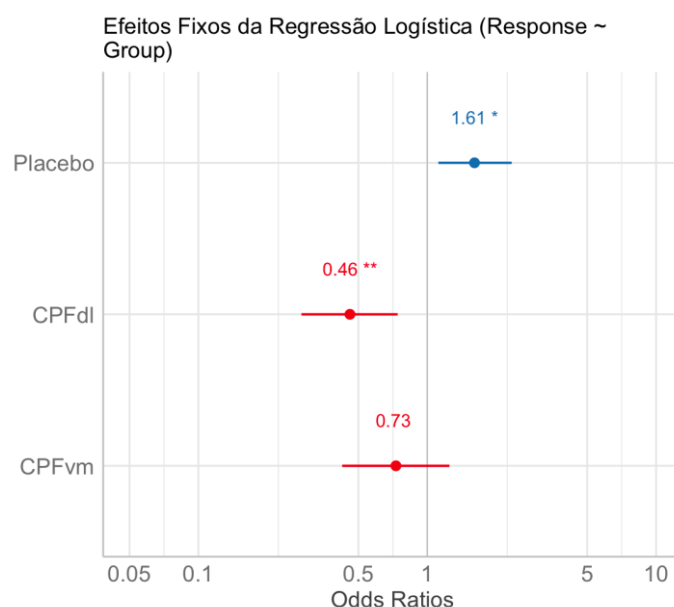
O coeficiente do intercepto foi estimado em 0,4754 com um erro padrão de 0,1878. O valor z correspondente foi de 2,532, com um valor p de 0,011, indicando que o intercepto é significativamente diferente de zero. Esse coeficiente reflete o log-odds de obter uma resposta positiva (Resposta = 1) para o grupo placebo. Convertendo o log-odds para uma probabilidade, estimamos que a probabilidade de resposta positiva no grupo placebo é aproximadamente 61,6%.

Para o grupo CPFdl, o coeficiente foi estimado em $-0,7777$ com um erro padrão de $0,2466$. O valor z foi de $-3,153$ e o valor p foi de $0,00161$, indicando que o efeito da estimulação anódica no CPFdl é estatisticamente significativo. O coeficiente negativo sugere que o tratamento CPFdl está associado a uma redução na probabilidade de resposta positiva em comparação com o grupo placebo. A razão de chances (odds ratio) correspondente, calculada como $\exp(-0,7777)$, é aproximadamente $0,459$. Isso implica que a probabilidade de obter uma resposta positiva no grupo CPFdl é cerca de $45,9\%$ da probabilidade observada no grupo placebo.

Por outro lado, o coeficiente para o grupo CPFvm foi estimado em $-0,3151$ com um erro padrão de $0,2748$. O valor z foi de $-1,147$ e o valor p foi de $0,25154$, indicando que o efeito do tratamento CPFvm não é estatisticamente significativo. Apesar de a razão de chances (odds ratio), $\exp(-0,3151)$, ser aproximadamente $0,730$, sugerindo uma redução na probabilidade de resposta positiva para o grupo CPFvm, essa redução não é estatisticamente significativa em comparação com o grupo placebo.

Em resumo, a estimulação anódica no CPFdl tem um efeito significativo na redução da probabilidade de resposta positiva comparado ao grupo placebo (rejeitando a H1), enquanto a estimulação no CPFvm não apresenta uma diferença estatisticamente significativa em relação ao grupo controle (acatando a H2).

Figura 2. Regressão Logística



5. CONCLUSÃO

Os resultados preliminares encontrados em nosso estudo até o momento parecem divergir daqueles relatados por Wills *et al.* (2008) sobre o papel do córtex pré-frontal dorsolateral (CPFdl) na cooperação. Em nosso estudo, a estimulação anódica do CPFdl resultou em uma diminuição da cooperação, com uma média de resposta significativamente mais baixa no Jogo de Bens Públicos (PGG) para o grupo CPFdl em comparação ao grupo Placebo. Esse resultado é relevante, pois a estimulação anódica estimula a atividade da área cerebral, o que geralmente facilita a apresentação de comportamentos associados a essa região.

Em contraste, o estudo de Wills *et al.* (2008) investigou os efeitos de lesões no CPFdl e descobriu que pacientes com danos nessa área eram menos cooperativos. Como lesões no CPFdl tendem a reduzir a atividade dessa região, os resultados de Wills *et al.* (2008) indicaram que uma diminuição da atividade no CPFdl está associada a uma menor cooperação, sugerindo um papel fundamental dessa área na facilitação da cooperação. No entanto, nossos resultados até aqui parecem sugerir o oposto: a estimulação do CPFdl não aumentou a probabilidade de cooperação; pelo contrário, resultou em uma diminuição da cooperação.

Esses resultados sugerem uma dissociação entre os efeitos da estimulação anódica e das lesões no CPFdl. Enquanto lesões no CPFdl reduzem a cooperação ao comprometer a função da área, a estimulação anódica, que deveria potencialmente aumentar a atividade do CPFdl, também resultou em uma diminuição da cooperação. Essa discrepância pode indicar que o papel do CPFdl na cooperação não está associado essencialmente ao tipo específico de comportamento esperado (cooperar ou não cooperar), mas sim ao processamento do próprio comportamento, e não a uma definição clara de seu output final. Com relação à atividade do córtex pré-frontal ventromedial (CPFvm), nossos resultados foram consistentes com o esperado. A estimulação do CPFvm não produziu diferenças significativas em comparação ao grupo Placebo, indicando que a atividade aumentada nessa região não teve impacto perceptível na cooperação.

As limitações do presente estudo estão relacionadas principalmente ao uso da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC), que, embora seja uma técnica eficaz, possui limitações em termos de capacidade de estimulação de áreas muito específicas do córtex (REF.). Diferentemente da Estimulação Magnética Transcraniana (ETM), que

permite uma focalização mais precisa, a ETCC é menos específica, o que pode dificultar o estabelecimento de correlações ou inferências causais claras sobre o impacto da estimulação em regiões corticais específicas.

Além disso, o uso do Jogo de Bens Públicos (PGG) como medida de cooperação, apesar de ser um método consagrado para estudar a cooperação em contextos experimentais, pode apresentar limitações em termos de validade ecológica, ou seja, sua capacidade de refletir interações cooperativas em situações do mundo real. Desse modo, é essencial ponderar os resultados deste estudo com a devida interpretação possíveis visto as limitações supracitadas, reconhecendo que elas podem influenciar a generalização e a aplicabilidade dos resultados obtidos.

6. REFERÊNCIAS

- BARBEY, Aron K.; KOENIGS, Michael; GRAFMAN, Jordan. Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. **Cortex**, v. 49, n. 5, p. 1195-1205, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>. Acesso em: 09 abr. 2023.
- BECHARA, Antoine; DAMASIO, Hanna; DAMASIO, Antonio R. Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. **Cerebral Cortex**, v. 10, n. 3, p. 295-307, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/cercor/10.3.295>. Acesso em: 09 abr. 2023.
- COSTA, Daniela; ARANTES, Joana; KEATING, José. A dual-process approach to cooperative decision-making under uncertainty. **PloS ONE**, v. 17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0265759>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- DOVIDIO, John F. et al. **The Social Psychology of Prosocial Behavior**. New York: Psychology Press, 2006.
- EVERETT, Jim A. C. et al. Deliberation erodes cooperative behavior: Even towards competitive out groups, even when using a control condition, and even when eliminating selection bias. **Journal of Experimental Social Psychology**, v. 73, p. 76-81, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.06.014>. Acesso em: 09 abr. 2023.
- FEHR, Ernst; FISCHBACHER, Urs. Social norms and human cooperation. **Trends in cognitive sciences**, v. 8, n. 4, p. 185-190, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.007>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- FORSYTHE, Robert et al. Fairness in simple bargaining experiments. **Games and Economic Behavior**, v. 6, n. 3, p. 347-369, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/game.1994.1021>. Acesso: 10 abr. 2023.
- HACKEL, Leor M.; WILLS, Julian A.; VAN BAVEL, Jay J. Shifting prosocial intuitions: neurocognitive evidence for a value-based account of group-based cooperation. **Soc Cogn**

Affect Neurosci, v. 15, n. 4, p. 371-381, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa055>. Acesso em: 01 fev. 2023.

LI, Jianbiao et al. Transcranial direct current stimulation altered voluntary cooperative norms compliance under equal decision-making power. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 12, p. 265, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00265> Acesso em: 26 mar. 2023.

PÄRNAMEETS, Philip et al. A Value-Based Framework for Understanding Cooperation. **Current Directions in Psychological Science**, v. 29, n. 3, p. 227-234, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.1177/0963721420906200>. Acesso em: 18 nov. 2022.

RAND, David G. Cooperation, fast and slow: Meta-analytic evidence for a theory of social heuristics and self-interests deliberation. **Psychological Science**, v. 27, n. 9, p. 1192-1206, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1177/0956797616654455>. Acesso em: 09 abr. 2023.

RAND, David. G.; GREENE. Joshua D.; NOWAK, Martin A. Spontaneous giving and calculated greed. **Nature**, v. 489, n. 7416, p. 427-430, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature11467>. Acesso em: 09 abr. 2023.

SATPUTE, Ajay B.; LIEBERMAN, Matthew D. Integrating automatic and controlled processes into neurocognitive models of social cognition. **Brain research**, v. 1079, n. 1, p. 86-97, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.01.005>. Acesso em: 09 abr. 2023.

VAN BAVEL, Jay J. et al. How neurons, norms, and institutions shape group cooperation. Em: GAWRONSKI, Bertram. (Ed.) **Advances in Experimental Social Psychology**. Volume 66. Cambridge: Academic Press, 2022. (pp. 59-106)

WARD, Jamie. **The student's guide to social neuroscience**. 2. ed. New York: Psychology Press, 2017.

WAGNER, Timothy; VALERO-CABRE, Antoni; PASCUAL-LEONE, Alvaro. Noninvasive human brain stimulation. **Annual Review of Biomedical Engineering**, v. 9, p. 527-65, 2007. Disponível em: <http://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.9.061206.133100>. Acesso em: 16 ago. 2022.

WILLS, Julian et al. The Social Neuroscience of Cooperation. PsyArXiv Web. Preprint DOI: 10.31234/osf.io/8kcd4. Last edited: December 28, 2018. Disponível em: <https://psyarxiv.com/8kcd4/>. Acesso em: 09 abr. 2022.

WILLS, Julian et al. Dissociable contributions of the pré-frontal cortex in group-based cooperation. **Social Cognitive and Affective Neuroscience**, v. 13, n. 4, p. 349-356, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/SCAN/NSY023>. Acesso em: 26 abr. 2022.

WU, Ye E.; Hong, Weizhe. Neural basis of prosocial behavior. **Trends in Neurosciences**, c. 45, n. 10, p. 749-762, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.tins.2022.06.008>. Acesso em: 09 abr. 2023.