

## ESTUDO PROSPECTIVO DE UM MODELO COMPUTACIONAL PARA A AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES EXECUTIVAS INTERFACE CÉREBRO-COMPUTADOR

**Antonio Bahia Filho** – [antoniobahiafilho@gmail.com](mailto:antoniobahiafilho@gmail.com)

*Program of Postgraduate in Product and System Engineering - PPGESP - IFBA, Salvador*

**Antonio Carlos Santos Souza** – [acsantossouza@gmail.com](mailto:acsantossouza@gmail.com)

*Program of Postgraduate in Product and System Engineering - PPGESP - IFBA, Salvador*

**Marcelo Santana Silva** – [marcelosilva@ifba.edu.br](mailto:marcelosilva@ifba.edu.br)

*Program of Postgraduate in Product and System Engineering - PPGESP - IFBA, Salvador*

**Rilton Gonçalo Bonfim Primo** – [rilton@ufba.br](mailto:rilton@ufba.br)

*Program of Postgraduate in Industrial Engineering - PEI – UFBA, Salvador*

**Resumo** - As funções executivas estudadas com uso de eletroencefalograma e dispositivos de interface cérebro-computador podem apresentar informações essenciais para o desenvolvimento de atividades ou sistemas capazes de trazer uma melhora significativa para o aprimoramento do cérebro humano. A base dessa pesquisa é para servir de orientação para o desenvolvimento de novos métodos. A estratégia de busca consistiu no desenvolvimento de uma QUERY com palavras, caracteres, códigos e booleanos que resultou em: ((ctxt = "Executive AND Functions\*" OR cl =/low "A61B5/16") OR cl = "G06F9/46") AND (ctxt = "Electroencephalogram\*" OR cl =/low "A61B5/374") AND (ctxt = "Brain AND computer AND Interface\*" OR cl =/low "A61B5/378" OR cl = "A63F13/40"). 78 (setenta e oito) documentos de patentes foram encontrados, verificados e analisados. Nos anos de 2021 e 2022 houve um aumento substancial de patentes liderado pelos Estados Unidos. Alguns dados estão relacionados às palavras chaves empregados nas pesquisas, o que possibilita espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias.

**Palavras-chave:** Eletroencefalograma, Funções Executivas, Interface Cérebro Computador.

## 1- INTRODUÇÃO

As funções executivas (FE) caracterizam-se por funções mentais complexas ou superiores e são responsáveis pela capacidade de autorregulação ou autogerenciamento. No que concerne à avaliação neuropsicológica, as (FE) relacionam-se a uma ampla variedade de componentes, como atenção seletiva, controle inibitório (seletividade de estímulos), planejamento, organização, flexibilidade cognitiva e memória operacional (Barros e Hazin, 2013).

A tecnologia que permite a comunicação entre o cérebro e um objeto a ser controlada parte de conceitos conexos como Funções Executivas, Eletroencefalograma, e Interface Cérebro Computador, para atingir o de *Brain-Machine Interface* (BMI, Interface-Cérebro-Máquina), que é um dispositivo que traduz informações neurais em comandos capazes de controlar um software ou hardware externos, como um computador ou um braço robótico.

As interfaces cérebro-computador (BCIs) visam fornecer um canal não muscular para enviar comandos ao mundo externo usando a atividade eletroencefalográfica ou outras medidas eletrofisiológicas da função cerebral. Um fator essencial para o sucesso da operação dos sistemas BCI são os métodos utilizados para processar os sinais cerebrais. Na literatura do BCI, entretanto, não há uma revisão abrangente das técnicas de processamento de sinal utilizadas (Bashashati, et al. 2007).

A Eletroencefalografia, que é designada como uma medida neurofisiológica da atividade elétrica no cérebro para auxiliar a avaliação das funções executivas, pode ser utilizada para apresentar o desenvolvimento das funções executivas. A captação dos sinais elétricos pode ser com o uso de eletrodos colocados no couro cabeludo, na superfície encefálica ou no córtex cerebral. Os registros gráficos representam os sinais elétricos resultantes do somatório de potenciais pós-sinápticos de um grande número de neurônios, possibilitando a medição das ondas cerebrais. Os registros eletroencefalográficos são utilizados em ambientes clínicos e de pesquisa para medir e obter a atividade elétrica do cérebro (Ligabo 2014).

A pesquisa básica e clínica rendeu um conhecimento detalhado dos sinais que compõem o EEG. Para os principais ritmos EEG e para uma variedade de potenciais evocados, os seus locais e mecanismos de origem e as suas relações com aspectos específicos da função cerebral já não são totalmente obscuros. Numerosos estudos demonstraram correlações entre sinais de EEG e movimentos reais ou imaginados e entre sinais de EEG e tarefas mentais (Wolpaw et al., 2002).

O interesse internacional de aprofundar as pesquisas sobre o impacto dos GAMES na melhoria das funções executivas (Alves, 2013) pode ser exemplificado por seis pesquisas/projetos: *Lumosity*, *Brain Age x Tetris*, *Peak - Treinamento Cerebral*, *Brainscape*, *Happyneuron* e *Memtrax*. O *Lumosity* tem se destacado e representa um programa de treinamento cognitivo comercial formado por um pacote com mais de 52 games que objetiva melhorar várias funções executivas como memória, atenção, velocidade de processamento, flexibilidade mental, orientação espacial, raciocínio lógico e resolução de problemas (Shute, 2015).

Este trabalho tem como objetivo realizar uma prospecção patentária na área de funções executivas à interface cérebro-computador. A pesquisa busca as patentes registradas no tema, assim como o seu

desenvolvimento através de métodos de busca. Por fim, a pesquisa realizada servirá para organizar e orientar pesquisas futuras.

## 2– METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no período de 10 a 20 de setembro de 2023 e resultou na obtenção dos códigos International Patent Classification (IPC) conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Códigos IPC selecionados para estratégia de busca.

| CÓDIGOS          | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A61B5/369</b> | Medicina; Diagnóstico; Medição para fins de diagnóstico; Eletroencefalografia.                                                                                                                                                                                                         |
| <b>G06F3/01</b>  | Física; Informática para Processamento de Dados; Transferência de dados da unidade de processamento; Interação entre usuário e computador.                                                                                                                                             |
| <b>A61B5/16</b>  | Médico; Diagnóstico por ondas ultrassônicas, sônicas e infrassônicas; Identificação de pessoas; Testes de tempos de reação.                                                                                                                                                            |
| <b>G06F9/46</b>  | Física; Computação; Processamento de dados; Controle de programas para dispositivos periféricos; Uso de programas armazenados; Arranjos de multiprogramação;                                                                                                                           |
| <b>A61B5/374</b> | Médico; Diagnóstico por ondas ultrassônicas, sônicas e infrassônicas; Identificação de pessoas; sinais do corpo; métodos de diagnóstico específicos; EEG; Análise de EEG; Detecção da distribuição de frequência de sinais, por ex. detecção de ondas delta, teta, alfa, beta ou gama. |
| <b>A61B5/378</b> | Medicina; Diagnóstico; Ondas infrassônicas; sinais do corpo; métodos de diagnóstico; EEG; usando respostas evocadas; Estímulos visuais.                                                                                                                                                |
| <b>A63F13/40</b> | Saúde; Jogos; Videogames; exibição gerada eletronicamente com duas ou mais dimensões; sinais gerados pelo jogador ou derivados do ambiente.                                                                                                                                            |

Fonte: Elaboração dos autores.

Com uso dos códigos em anexo foram geradas QUERY booleanas com múltiplos campos para melhores resultados.

Etapas 1 - Executive AND Functions AND Electroencephalogram AND Brain AND computer AND Interface OR BCI foram encontrados 21.705 documentos de patentes no Espacenet e no lens.org 992 resultados.

Etapas 2 - será analisada a escolha do código para seguimento das palavras-chaves.

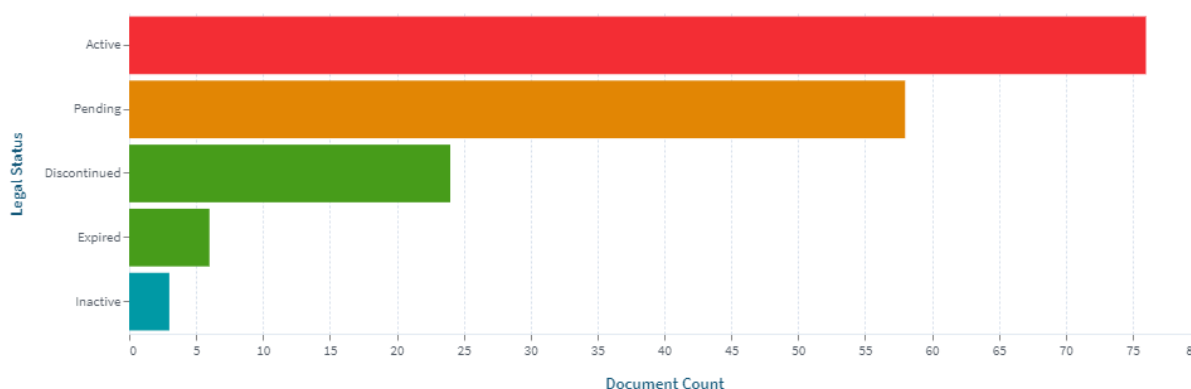
Etapas 3 - Pesquisa por classificação - A61B5/16 AND G06F9/46 OR A61B5/374 OR A61B5/378 OR A63F13/40 foram encontrados 5.179 documentos de patentes no Espacenet e no lens.org 35.182 resultados.

Etapas 4 - ((ctxt = "Executive AND Functions\*" OR cl =/low "A61B5/16") OR cl = "G06F9/46") AND (ctxt = "Electroencephalogram\*" OR cl =/low "A61B5/374") AND (ctxt = "Brain AND computer AND Interface\*" OR cl =/low "A61B5/378" OR cl = "A63F13/40") com esta QUERY a pesquisa foi refinada em 219 resultados no Espacenet e no lens.org foram encontrados 78 resultados. Os 78 documentos foram analisados e selecionados as patentes relacionadas ao artigo, foram excluídos dois documentos que não têm relação com o tema, restando 76 documentos.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 apresenta o *status legal* das 167 patentes e destacando os seus dados a quantidade de patentes totais estão distribuídas em: ativas são 76, pendentes são 58, descontinuadas são 24, expiradas são 6 e inativas são 3. Com base nestes dados 45,51 % das patentes estão ativas.

Figura 1 - *status legal* de patentes



Fonte: lens.org

A Figura 2 apresenta a evolução anual de depósito de patentes, destacando os anos de 2021 com 25 publicações, 18 aceitas e 28 arquivadas totalizando 71 depósitos, e 2022 com 34 publicações, 16 aceitas e 21 arquivadas totalizando 71 depósitos.

Dentre as publicações no ano de 2021 destacam-se os códigos IPC A61B5/378 com 12 publicações, A61B5/374 com 11 publicações e A61B5/16 com 09 publicações.

Os depósitos de patentes aceitos em 2021 destacam-se os códigos A61B5/378, A61B5/374 e A61B5/16 com 18 aceitas cada.

Os depósitos de patentes arquivados em 2021 destacam-se os códigos A61B5/378, A61B5/374 e A61B5/16 com 09 documentos de patentes arquivados cada.

Com base no ano de 2022 entre as publicadas destacam-se os códigos A61B5/16 com 20 citações e A61B5/378, A61B5/374 com 19 publicações cada.

Os depósitos de patentes aceitos em 2022 destacam-se os códigos A61B5/378, A61B5/374 e A61B5/16 com 30 documentos de patentes aceitos cada.

Os depósitos de patentes arquivados em 2022 destacam-se os códigos A61B5/378, A61B5/374 e A61B5/16 com 20 documentos de patentes arquivados cada.

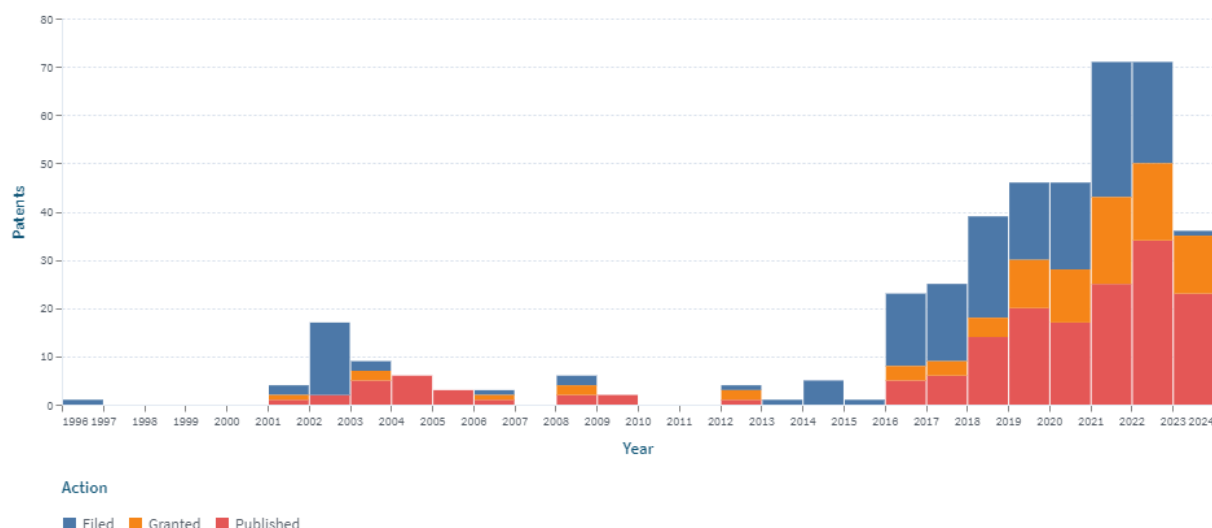
Abaixo temos as referências dos códigos representados na tabela 2.

Tabela 2 - Relação dos códigos IPC com base nos anos de maiores publicações.

| ANO         | CÓDIGOS IPC |           |           | ANO         | CÓDIGOS IPC |           |           |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 2021        | A61B5/16    | A61B5/374 | A61B5/378 | 2022        | A61B5/16    | A61B5/374 | A61B5/378 |
| PUBLICAÇÕES | 9           | 11        | 12        | PUBLICAÇÕES | 20          | 19        | 19        |
| ACEITAS     | 18          | 18        | 18        | ACEITAS     | 30          | 30        | 30        |
| ARQUIVADAS  | 9           | 9         | 9         | ARQUIVADAS  | 20          | 20        | 20        |

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 2 - Documentos de patentes por data de publicação, depósito e concessão.



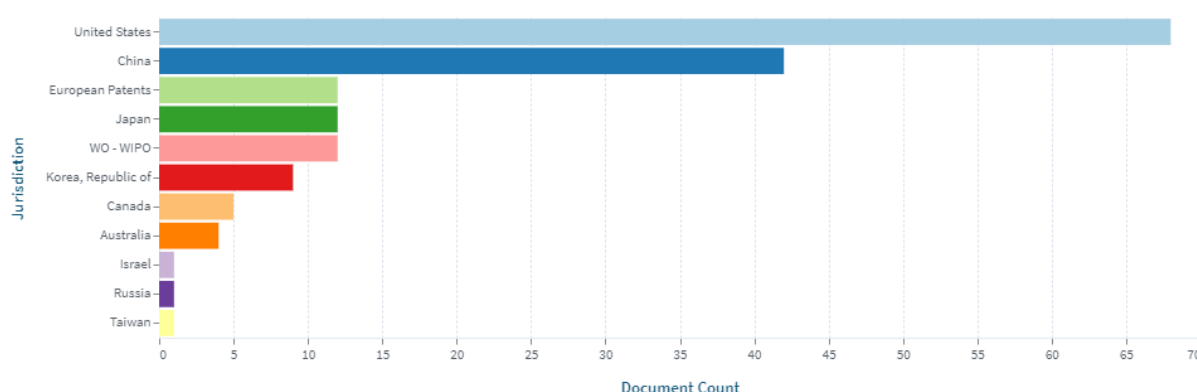
Fonte: lens.org

A Figura 3 mostra todos os países que solicitaram patentes nos últimos 22 anos com base na figura 2. Os Estados Unidos foi o país que mais solicitou patentes com 68 documentos com o pico no ano de 2019 com 13 solicitações. No entanto, a partir de 2016 a quantidade de patentes teve um aumento significativo, neste mesmo ano a empresa *Neuralink* de Elon Musk foi fundada de acordo com registros no site [wikipedia.com](https://pt.wikipedia.org/wiki/Neuralink), com base nesta informação pode ter aumentado significativamente o interesse pelo assunto nos Estados Unidos.

Logo após os Estados Unidos se encontra a China no ano de 2022 com 42 documentos, destaque para a Universidade *Hangzhou Dianzi* com 05 documentos de patentes.

Com base na abrangência da pesquisa não existem documentos de patentes relacionados ao tema na América do sul nas fontes pesquisadas Espacenet e Lens.org.

Figura 3 - Documento de patentes por país.

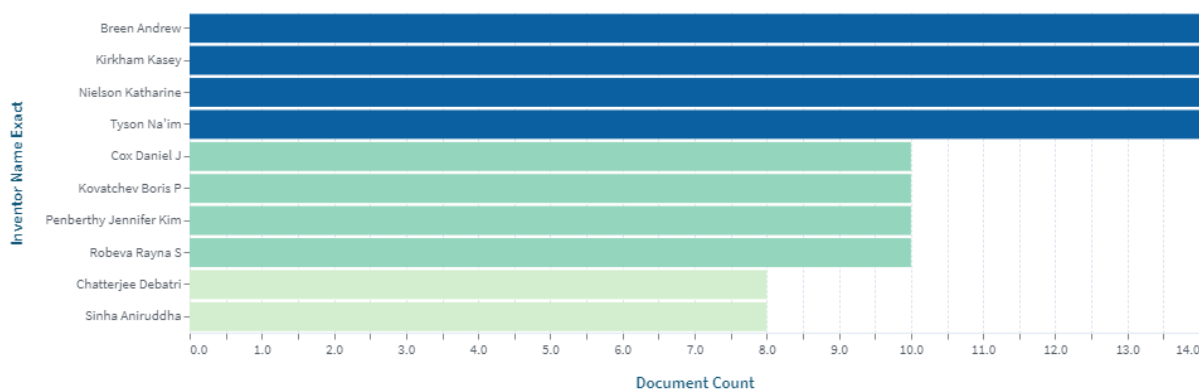


Fonte: [lens.org](https://lens.org)

Com base nos inventores destacam-se *Breen Andrew*, *Kirkham Kasey*, *Nielson Katharine* e *Tyson Na'im*, cada um com 14 documentos de patentes.

O interessante dentre os 4 principais inventores é que todos eles possuem 11 patentes ativas e 3 descontinuadas porque fazem parte do mesmo grupo de pesquisadores. A patente ativa que faz referência a este documento utiliza os códigos IPC A61B5/16, A61B5/374 e A61B5/378.

Figura 4 - Os dez maiores inventores.

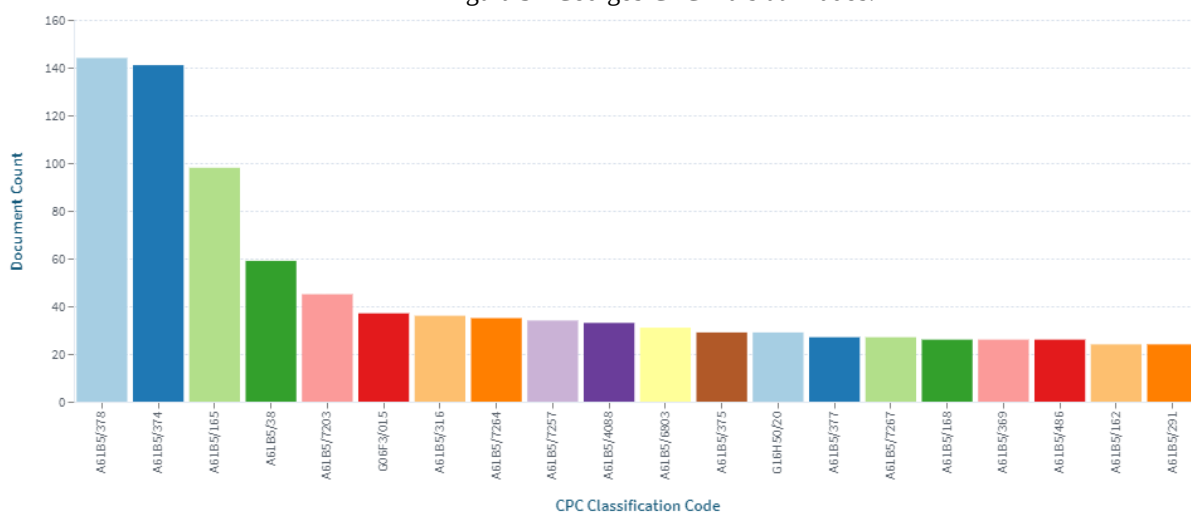


Fonte: lens.org

A Figura 5 apresenta os códigos mais utilizados com base na Classificação de Patentes Cooperativas (CPC) de acordo com o site lens.org. A Classificação Cooperativa de Patentes (CPC) é um sistema de classificação de patentes desenvolvido em conjunto pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO) e pelo Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos (USPTO). N. B.

Destacam-se os códigos IPC/CPC A61B5/378 que se refere à Medicina; Diagnóstico; Ondas infrassônicas; sinais do corpo; métodos de diagnóstico; EEG; usando respostas evocadas e Estímulos visuais com 144 utilizações em patentes e o código IPC/CPC A61B5/374 que se refere a Médico; Diagnóstico por ondas ultrassônicas, sônicas e infrassônicas; Identificação de pessoas; sinais do corpo; métodos de diagnóstico específicos; EEG; Análise de EEG; Detecção da distribuição de frequência de sinais, por ex. detecção de ondas delta, teta, alfa, beta ou gama com 141 utilizações em patentes.

Figura 5 - Códigos CPC mais utilizados.



Fonte: lens.org

#### 4 – CONCLUSÃO

A pesquisa com base no tema abordado sobre busca patentária resultou em 45,51 % de patentes concedidas e 54,49% das patentes estão pendentes, descontinuadas, expiradas e inativas. Dentre estas, a que chama atenção são as patentes pendentes totalizando 63,74% que representam 58 documentos aguardando testes ou aprovações.

Nos anos de 2021 e 2022 são destacados devido à quantidade de depósitos de patentes respectivamente com 71 documentos depositados.

Em relação aos países detentores de patentes os Estados Unidos está em primeiro lugar com a detenção de 68 documentos de patentes e logo após a China com 42 e Japão com 13 documentos de patentes.

Dentro do âmbito de pesquisa do Espacenet e Lens.org não foram encontradas patentes referentes à América do Sul.

Os documentos analisados mostraram uma intensidade de patentes relacionadas a Testes de tempos de reação, detecção de ondas delta, teta, alfa, beta ou gama e respostas evocadas por estímulos visuais.

Considerando o escopo da pesquisa, empresas e universidades detêm a maioria das patentes pesquisadas como *Voxy INC*, *Nielsen Consumer LLC* e *University of Virginia Patent Foundation*.

Com base nos inventores destacam-se *Breen Andrew*, *Kirkham Kasey*, *Nielson Katharine* e *Tyson Na'im*, cada um com 14 documentos de patentes.

A relação intrínseca com o desenvolvimento da área destacam-se os códigos IPC/CPC A61B5/378 e IPC/CPC A61B5/378 com suas respectivas utilizações em 144 e 141 utilizações em patentes.

Contextualizando a importância dos variados conceitos sobre as Funções executivas (FE) servem como um termo genérico para abranger o conjunto de habilidades cognitivas de ordem superior necessária para examinar e atingir um objetivo (Cristofori, 2019).

O fator preponderante “atingir um objetivo” é apresentado pelo conjunto de informações dentro do escopo dos códigos IPC/CPC.

Os dados apresentados relacionados à pesquisa propõem boas perspectivas para o desenvolvimento do projeto diante da falta de patentes relacionadas no âmbito concatenado das funções executivas, eletroencefalografia e interface-cérebro-computador.

O artigo contribui a possibilidade de aumento de estudos na área utilizando estímulos visuais evocados, apresentando a necessidade de investimento e desenvolvimento na região da América do Sul de acordo com a busca de patentes internacionais e propõe pesquisas mais abrangentes para métodos não invasivos.

Enfim, o estudo prospectivo vislumbra as “tendências de mercado” com base no que foi publicado e tornou-se uma patente ativa, essa observação poderá criar nuances para criação de novos produtos numa perspectiva com base nas patentes disponíveis que foram desenvolvidas pelos seus detentores não importando o âmbito jurídico contanto que esteja dentro dos parâmetros de anterioridade.

Porém em alguns casos não encontraremos patentes disponíveis, essa estratégia de sigilo busca diminuir os riscos de entrada de concorrentes no mercado favorecendo os detentores da criação tempo suficiente para desenvolver o monopólio e amplo domínio de mercado onde possui produtos similares sem as mesmas qualidades, no entanto fica evidente que o estudo prospectivo apresenta um norte dentro do âmbito de pesquisa escolhido.

## 5 – PERSPECTIVAS FUTURAS

Diante das perspectivas de progresso e limitações para o desenvolvimento do projeto, é importante investir em pesquisas que acompanhem a dinâmica do problema e apresente integração entre as palavras-chaves.

A abordagem com base nas funções executivas pode ter relação com evidências de que as capacidades cognitivas estão associadas à seleção para durações mais longas de educação e que existem fatores comuns (por exemplo, recursos socioeconômicos dos pais) que afetam tanto o nível de escolaridade como o desenvolvimento cognitivo. Provavelmente existe uma interação recíproca entre esses fatores e entre as habilidades cognitivas durante o desenvolvimento (Lövdén 2020).

A abordagem do autor retrata a situação à área socioeconômica e educativa em que possui muitos estudos relacionados.

É válido observar, ainda, a necessidade de ampliar as pesquisas na área de games e jogos educativos para assim avaliarmos os resultados e conclusões.

## 6 - REFERÊNCIAS

BARROS, Priscila; HAZIN, Izabel. Avaliação das funções executivas na infância: **Revisão dos conceitos e instrumentos**. 2013.

BASHASHATI, Ali et al. A survey of signal processing algorithms in brain–computer interfaces based on electrical brain signals. **Journal of Neural engineering**, v. 4, n. 2, p. R32, 2007.

Bashashati H, Ward RK, Birch GE, Bashashati A (2015) Comparing Different Classifiers in Sensory **Motor Brain Computer Interfaces**. PloS ONE 10(6): e0129435. doi:10.1371/journal. **Pone**. 0129435, 2015.

CRISTOFORI, Irene; COHEN-ZIMERMAN, Shira; GRAFMAN, Jordan. **Executive functions. Handbook of clinical neurology**, v. 163, p. 197-219, 2019.

ESPACENET [2023]. Disponível em:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/062109275/publication/WO2018088186A1?q=%28%28ctxt%20%3D%20%22Executive%20AND%20Functions%2A%22%20OR%20cl%20%3D%20Flow%20%22A61B5%2F16%22%29%20OR%20cl%20%3D%20%22G06F9%2F46%22%29%20AND%20%28ctxt%20%3D%20%22Electroencephalogram%2A%22%20OR%20cl%20%3D%20Flow%20%22A61B5%2F374%22%29%20AND%20%28ctxt%20%3D%20%22Brain%20AND%20compute>

[r%20AND%20Interface%2A%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F378%22%20OR%20cl%20%3D%20%22A63F13%2F40%22%29](#). Acesso em: 20/09/2023.

LENS.[2023]. Disponível em:

[https://www.lens.org/lens/search/patent/analysis?q=\(\(ctxt%20%3D%20%22Executive%20AND%20Functions\\*%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F16%22\)%20OR%20cl%20%3D%20%22G06F9%2F46%22\)%20AND%20\(ctxt%20%3D%20%22Electroencephalogram\\*%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F374%22\)%20AND%20\(ctxt%20%3D%20%22Brain%20AND%20computer%20AND%20Interface\\*%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F378%22%20OR%20cl%20%3D%20%22A63F13%2F40%22\)&p=0&n=10&s=score&d=%2B&f=true&e=false&l=en&authorField=author&dateFilterField=publishedDate&orderBy=%2Bscore&presentation=false&preview=true&stemmed=true&useAuthorId=false](https://www.lens.org/lens/search/patent/analysis?q=((ctxt%20%3D%20%22Executive%20AND%20Functions*%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F16%22)%20OR%20cl%20%3D%20%22G06F9%2F46%22)%20AND%20(ctxt%20%3D%20%22Electroencephalogram*%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F374%22)%20AND%20(ctxt%20%3D%20%22Brain%20AND%20computer%20AND%20Interface*%22%20OR%20cl%20%3D%2Flow%20%22A61B5%2F378%22%20OR%20cl%20%3D%20%22A63F13%2F40%22)&p=0&n=10&s=score&d=%2B&f=true&e=false&l=en&authorField=author&dateFilterField=publishedDate&orderBy=%2Bscore&presentation=false&preview=true&stemmed=true&useAuthorId=false). Acesso em 20/09/2023.

LIGABO, A. Plataforma baseada em Android para Auxílio na Eletroencefalografia. Monografia de Engenharia Elétrica. **Universidade de São Paulo**. 2014.

LÖVDÉN, Martin et al. Education and cognitive functioning across the life span. **Psychological Science in the Public Interest**, v. 21, n. 1, p. 6-41, 2020.

NEURALINK. [2023]. Disponível em: <https://neuralink.com>. Acesso em: 30/09/2023.

PROJETO DRAFT. [2023]. Disponível em: <https://www.projtodraft.com/verbete-draft-o-que-e-brain-computer-interface-bci/>. Acesso em: 16/09/2023.

SHUTE, Valerie J, VENTURA, Matthew, KE Fengfeng. The Power of play: The effects of Portal 2 and Lumosity on cognitive and noncognitive skills. **Computer & Education** 2015.

WIKIPEDIA.[2023]. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Neuralink#cite\\_note-:3-6](https://en.wikipedia.org/wiki/Neuralink#cite_note-:3-6). Acesso em: 27/09/2023.

WOLPAW, Jonathan R. et al. Brain–computer interfaces for communication and control. **Clinical neurophysiology**, v. 113, n. 6, p. 767-791, 2002.