

# Um Estudo Exploratório de BCIs no Ensino e Aprendizagem de Programação

Ana Rita Teixeira, Anabela Gomes, Joana Eloy, António José Mendes

**Title**—An exploratory study of Brain Computer Interfaces in Computer Science Education

**Abstract**—This work offers an outline of how Brain Computer Interaction can interconnect with education, namely concerning the cognitive and emotional processes occurring during difficult learning. We believe that understanding how to optimize the learner's attention and workload in learning tasks can improve the efficacy of educational processes, especially in tasks involving high cognitive activities, such as programming problem solving. The main objective of this study was to examine several brain parameters (attention, concentration and the energy of several brain waves) in a programming orientated task, as well as their variability during tasks of varying complexity. We consider that this work presents very promising future developments, including the possibility of incorporating this technology into a customised automatic system adapted to the student's cognitive and emotional state.

**Index Terms**—Attention, Brain Computer Interaction, Computer Science Education, Concentration, Programming problem solving

## I. INTRODUÇÃO

ESTE artigo é uma extensão do artigo publicado na conferência EDUCON 2019 [1]. Nesta extensão, incluímos uma melhor definição e contextualização das *Brain Computer Interaction* (BCIs) nas suas diversas áreas de aplicação, com ênfase particular na Educação e, em particular, na Educação em Programação. Os objetivos do estudo foram clarificados e uma nova secção foi incluída para caracterizar as várias ondas de EEG, em termos de frequência e significado. Foram também introduzidos novos dados, nomeadamente os valores de Atenção e Meditação e análise de Frequência para os níveis das bandas Theta e Beta.

A interpretação dos resultados foi melhorada, principalmente no que concerne a aspectos considerados úteis para situações educacionais.

Uma nova e emergente área no contexto educacional consiste na utilização da tecnologia BCI para melhor entender e promover os processos de aprendizagem. Os BCIs permitem interações funcionais diretas entre o cérebro humano e um dispositivo externo [2]. Este processo pode ser feito de diferentes maneiras: de maneira invasiva (colocando elétrodos no próprio cérebro), de maneira parcialmente invasiva (colocando elétrodos no crânio) e de maneira não invasiva (colocando elétrodos no couro cabeludo) [3]. A eletroencefalografia (EEG) é atualmente o método não invasivo disponível mais amplamente utilizado para medir a atividade cerebral.

Enquanto os dispositivos BCI tradicionais permitem que um utilizador comunique ou controle um computador usando apenas atividade cerebral [4], [5], mais recentemente esses dispositivos têm também sido usados para obter informações sobre o utilizador e presumir os seus estados mentais (por exemplo, atenção, concentração) [6]. Os dispositivos BCI recolhem e analisam os sinais EEG do utilizador, podendo ser usados em várias áreas de pesquisa, como tecnologias assistivas [7], jogos [8], neurofeedback [9] e processos cognitivos [10].

Cada vez mais, há um interesse crescente em entender o desempenho dos utilizadores em tarefas que envolvem processos cognitivos complexos. O objetivo é o de encontrar métricas e estratégias que sejam adaptáveis a cada utilizador, de forma a aumentar o sucesso da aprendizagem. Uma aprendizagem efetiva implica a preservação da carga de trabalho cognitiva do indivíduo numa gama considerada ideal [5]. Isso pode ser conseguido adaptando a dificuldade das atividades de aprendizagem de acordo com as capacidades individuais. Atualmente, conhecem-se com mais detalhe quais as áreas cerebrais que estão ativas quando um indivíduo reconhece estímulos, prepara e executa movimentos do corpo ou aprende e memoriza coisas. Desta forma, os BCIs podem ser usados para avaliar processos cognitivos, tornando possível um monitoramento mais direto e implícito do estado do aluno e, conseqüentemente, uma melhor adaptação de determinado conteúdo ao aluno contribuindo para aumentar o sucesso da aprendizagem.

Ana Rita Teixeira é professora do Instituto Politécnico de Coimbra. E-mail: [ateixeira@ua.pt](mailto:ateixeira@ua.pt), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8120-0148>

Anabela Gomes é professora do Instituto Politécnico de Coimbra. E-mail: [anabela@isec.pt](mailto:anabela@isec.pt), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8418-8095>

Joana Eloy é mestranda do Instituto Politécnico de Coimbra. E-mail: [a21250042@alunos.isec.pr](mailto:a21250042@alunos.isec.pr)

António José Mendes é Professor da Universidade de Coimbra. E-mail: [toze@dei.uc.pt](mailto:toze@dei.uc.pt), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6659-660X>

A avaliação das capacidades de Atenção e Concentração são aspectos fundamentais que podem contribuir para uma aprendizagem mais ajustada, especialmente em atividades que exigem um elevado esforço mental. São, de facto, parâmetros considerados como as capacidades cognitivas básicas dos seres humanos para executar qualquer tarefa ou desenvolver uma certa capacidade. Normalmente, a aprendizagem é mais eficaz quando a atenção e a concentração são elevadas.

Alguns estudos descrevem características das alterações do sinal EEG relacionadas com o esforço mental. Na literatura, existem fortes evidências da atividade de potencial evocado da onda Theta (4-8 Hz) durante atividades que envolvem atenção focada [11]. O aumento da atividade EEG na banda Theta e Beta Low (13-15 Hz) sobre as regiões da linha média frontal do couro cabeludo tem sido observado quando há necessidade de controlo executivo (atenção e memória de trabalho) [11].

Este artigo apresenta um dos trabalhos introdutórios que estamos a realizar para estudar vários parâmetros de interesse, como atenção, concentração e energia de várias ondas cerebrais, enquanto um indivíduo executa tarefas orientadas à resolução de problemas de programação. Como também acreditamos que a motivação dos alunos, a autopercepção de competência e o tipo de sentimentos que experienciam durante a realização de uma tarefa são fatores-chave na aprendizagem, procurámos também saber o tipo de sentimentos que os alunos tiveram durante as atividades. Para isso, usámos o instrumento “Geneva Emotion Wheel2” (GEW) [12], [13].

## II. ENSINO E APRENDIZAGEM DE PROGRAMAÇÃO

As elevadas taxas de reprovação e desistência nas unidades curriculares de programação introdutória são um problema comum a instituições de ensino superior em todo o mundo [14], [15]. Variadas razões foram identificadas e várias propostas foram apresentadas na literatura para ajudar a reduzir as dificuldades dos alunos na aprendizagem de programação introdutória [16], [17]. Embora existam estudos que mostram algumas melhorias [18], esse problema subsiste em muitas instituições. Vários autores apontaram algumas razões para essas dificuldades, como a natureza abstrata da programação, não havendo correspondência com o desenvolvimento dessas abstrações na resolução de problemas do mundo real, a falta de uma sólida capacidade de resolução de problemas e base matemática, o uso de abordagens de estudo inadequadas para a programação e também as abordagens e condições de ensino presentes em muitas instituições [19], [20], [21].

Um aspecto menos mencionado é a natureza heterogénea da maioria das turmas. É comum ter alunos com níveis muito diferentes de conhecimento, interesses, comprometimento e ritmo de aprendizagem. Consequentemente, é muito difícil para o professor usar uma abordagem pedagógica apropriada e interessante para cada aluno. Frequentemente, os professores tentam alcançar todos os alunos, projetando atividades para o “aluno médio”. No entanto, nas aulas de programação é comum encontrar principalmente alunos com bons resultados e alunos com fracos resultados, sendo o “aluno médio” menos comum. Assim, as dificuldades dos alunos mais fracos só podem ser reduzidas com uma supervisão e apoio personalizados. Nesse sentido, vemos os BCIs como uma ferramenta que pode criar condições para promover o conhecimento sobre os processos

envolvidos na aprendizagem coletiva e individual, bem como melhorar aspectos cruciais como atenção e concentração.

Para nós, a principal causa das dificuldades dos alunos é a sua deficiente capacidade de resolução de problemas. Vários autores veem essa capacidade como a atividade cognitiva mais importante nos contextos cotidianos, profissionais e educacionais. Portanto, neste estudo, estamos interessados em medir a carga cognitiva associada à dificuldade de várias tarefas de resolução de problemas, medindo as bandas de energia que a podem avaliar.

## III. EEG E PROGRAMAÇÃO

Existe um interesse crescente na utilização dos BCI e EEG em várias áreas, incluindo contextos educacionais [22], [23]. Por exemplo, [24] apresenta uma compilação do uso de BCIs em várias áreas, como aplicações médicas (prevenção de doenças, detecção e diagnóstico, reabilitação ou restauração), neuroergonomia, ambientes inteligentes, neuromarketing e propaganda, campos de segurança e autenticação, jogos e entretenimento. Também se refere à aplicação de BCIs em sistemas educacionais, ou seja, para fornecer feedback personalizado a cada aluno [25] e promover a auto-regulação e a aprendizagem de determinadas capacidades [26]. No entanto, a aplicação de sistemas baseados em EEG em contextos de aprendizagem ainda não é comum, e o número de estudos sobre esse tópico é relativamente pequeno [27]. O foco principal dos estudos disponíveis reside nos aspectos de atenção e motivação, tentando medir os níveis de atenção dos alunos durante a execução de tarefas mentais (como ler ou visualizar conteúdos didáticos). Uma pesquisa recente [27] encontrou e integrou na sua análise apenas 22 artigos sobre esse assunto. Concluíram que o EEG era usado principalmente em ambientes de aprendizagem *online* e não em contextos tradicionais *offline*. Tem sido usado principalmente em contextos de análise de capacidades motoras e menos em contexto de análise de capacidades intelectuais. Os autores também apontaram que essa tecnologia não é frequentemente usada para apoiar cursos em tópicos específicos, como matemática ou programação. Referem-se, contudo, à utilização de BCIs para avaliar o desempenho de leitura dos alunos em vários contextos [22], [28], [29], [30], para estudar as melhores características dos materiais de aprendizagem [26], [31], [32], [33], para obter informações sobre o comportamento interativo e feedback dado pelos alunos às perguntas dos professores [23], [28], [34], [35], [36] e em pesquisas gerais sobre e-learning [28], [33], [37].

## IV. ESTUDO

### A. Objectivos

O principal objetivo deste estudo foi o de analisar os níveis de atenção e concentração e a energia das principais bandas de sinais EEG em função da complexidade das tarefas de resolução de problemas orientados à programação, para além de melhorar o entendimento dos fenómenos associados à sincronização e dessincronização dos processos cerebrais inerentes à dificuldade da tarefa em questão.

### B. Participantes

O grupo de estudo incluiu 30 alunos matriculados no 2º ano do Curso de Engenharia Informática do Departamento

de Informática e de Sistemas (DEIS) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) do Instituto Politécnico de Coimbra (IPC), com idades compreendidas entre os 18 e os 50 anos, com uma média de 22,3 anos, principalmente do sexo masculino (98%). Esses alunos já tinham tido algumas bases de programação desenvolvidas durante o ano letivo anterior. Os alunos foram convidados a jogar um clássico jogo de Labirinto - *Angry Birds* (Código), composto por 20 níveis com grau crescente de dificuldade. O objetivo do jogo é o de unir 2 objetos, usando blocos de código disponível. Ao longo do jogo são disponibilizados diferentes blocos e em certos níveis, o paradigma da codificação muda.

### C. Protocolo experimental

Os participantes jogaram o jogo num local tranquilo, sem interferência externa. Primeiramente, foram convidados a responder a um questionário para permitir a caracterização do grupo. Posteriormente, foi feita uma breve explicação do procedimento a ser seguido, passando imediatamente para a fase de implementação da atividade (jogando o jogo). Durante a atividade não houve comunicação entre o participante e o pesquisador. Cada participante tinha um limite de 10 minutos para completar o jogo. A recolha experimental dos dados EEG seguiu um protocolo projetado considerando três etapas importantes (“Fig. 1”). Para um maior controlo do conjunto de dados, recolhemos o sinal EEG de cada aluno durante 3 minutos no seu estado normal ou relaxado, antes de começar a jogar. Após 3 minutos, os participantes começaram a jogar o jogo durante um máximo de 10 minutos, tentando passar o maior número possível de níveis. Após o término do jogo, o sinal EEG foi recolhido novamente por 3 minutos, a fim de caracterizar o estado dos participantes após o jogo.

#### C.1 O jogo

O jogo usado foi uma versão do clássico jogo *Angry Birds* (Code) [38], ilustrado na “Fig. 2”. É composto por 20 níveis de dificuldade crescente. O objetivo do jogo é o de fazer com que a personagem principal alcance o objeto alvo, usando blocos de código disponível, conforme mostrado na “Tabela I”. Ao longo do jogo são disponibilizados diferentes blocos e cenários.

Os níveis 1 a 5 têm pouca dificuldade usando apenas instruções sequenciais. Os 1º e 2º níveis requerem apenas instruções de “avançar”. No entanto, do nível 3 ao 5, são necessárias instruções de rotação para a esquerda ou direita, com um ligeiro aumento na dificuldade de nível para nível. No nível 6, a dificuldade aumenta com a introdução de ciclos

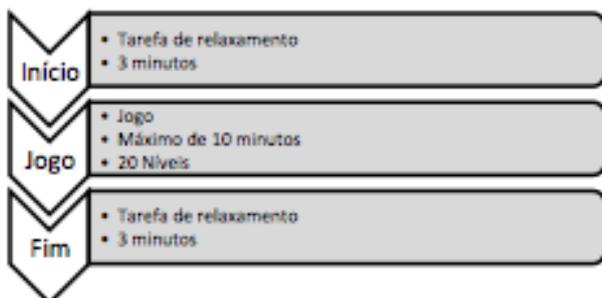


Fig. 1. Fluxograma das fases da atividade

simples. Os níveis 7 e 8 também exigem a utilização de um único ciclo, mas são introduzidas pequenas diferenças, como uma instrução de virar ou mais de um ciclo. No nível 9, o grau de dificuldade aumenta com a introdução de um ciclo que não pode ser removido do código, ou seja, deve ser usado e não é possível alterar o número de repetições. O nível 10 tem uma dificuldade semelhante, mas é introduzido um novo tipo de ciclo (do... while). No nível 11, o grau de dificuldade muda ligeiramente em relação ao nível anterior, exigindo apenas o uso extra de uma instrução de “virar”. O nível 12, apesar de incluir um ligeiro aumento de dificuldade em comparação com os níveis 10 e 11, inclui uma mudança “repentina” de cenário e elementos estruturantes, tendo inclusivamente elementos não imediatamente apreensíveis, causando confusão no número de vezes que a personagem principal precisa de se mover. O nível 13 é semelhante ao anterior. O nível 14 também inclui blocos imóveis, mas também inclui uma seleção na repetição “faça ... enquanto”. Os níveis 15 a 19 têm um grau semelhante de dificuldade e paradigma de resolução. O último nível deste jogo também é o mais difícil, apresentando 3 blocos obrigatórios que consistem num ciclo (do ... while) contendo seleções encadeadas.

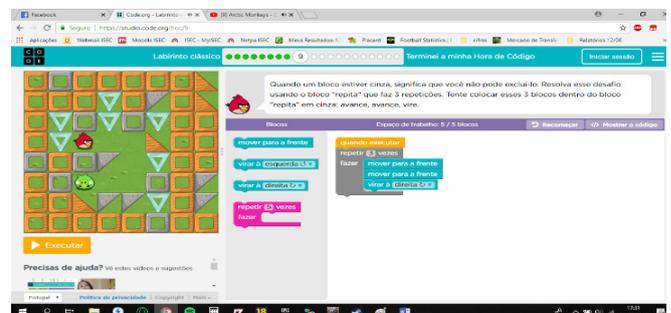


Fig. 2. Jogo “Angry Birds”

TABELA I  
DESCRIÇÃO DOS BLOCOS

Blocos	JavaScript	Função
	moveForward();	Move a personagem para a frente.
	turnLeft();	Vira a personagem 90º à esquerda.
	turnRight();	Vira a personagem 90º à direita.
	for (var count=0; count<5; count++) { }	A personagem repete as instruções um certo número de vezes.
	while (notFinished) { }	A personagem repete as instruções até atingir um certo objetivo.
	if (isPathRight()) { }	Se existir caminho numa certa direção, executa as instruções.
	if (isPathForward()) { } else { }	Se existir caminho numa certa direção, executa umas instruções. Se não, executa outras instruções.



## C.2 Interpretação das Emoções

Após o término da atividade, foi utilizado um questionário para determinar as emoções desencadeadas pelo jogo e a sua relação com os dados eletrofisiológicos encontrados. Para isso, usamos o instrumento “Geneva Emotion Wheel2” (GEW) [12], [13]. É um instrumento empírico baseado na colocação teórica de vários rótulos correspondentes a emoções, para medir reações emocionais a coisas, ações e circunstâncias. Consiste em 20 condições emocionais que combinam as abordagens dimensionais e discretas das emoções. O GEW combina as duas abordagens através da colocação das emoções relatadas numa determinada posição de uma circunferência, de acordo com a intensidade da emoção expressa. Além disso, existem duas dimensões/abordagens a serem consideradas, a Valência e o Controle/Poder.

A Valência é usada para verificar se a experiência foi vista pela pessoa como positiva/agradável/desejada ou se foi negativa/desagradável/indesejada. O Controle/Poder indica se a pessoa acredita e tem confiança em influenciar a situação para controlá-la, mantê-la ou melhorá-la [12].

Na nossa experiência, depois de os alunos jogarem o jogo, foi-lhes solicitado que selecionassem as emoções que consideravam mais adequadas aos sentimentos que experimentaram durante o jogo. Foram também convidados a definir o nível de intensidade com que experimentaram essas emoções. No final, marcaram um dos círculos correspondentes a esse grupo emocional (“Fig. 3”). Emoções menos intensas correspondem a círculos menores e emoções mais intensas correspondem a círculos maiores. Existem cinco graus de intensidade, representados por círculos de tamanhos diferentes. Os alunos puderam escolher várias emoções. Além disso foram instruídos a selecionar o semicírculo inferior (rotulado como “Outro”), se tivessem experimentado uma emoção muito diferente de qualquer uma das outras emoções da roda.

## C.3 Gravação e Préprocessamento do sinal EEG

Neste estudo, usamos o dispositivo Mindwave que inclui dois eletrodos, um para registros do conjunto de dados EEG (canal Fp1), outro para sinais de referência (o clipe para o ouvido) e um interruptor [39], usando uma frequência de amostragem de 512 Hz. O sensor Mindwave EEG processa as

ondas cerebrais em sinais digitais usando o algoritmo eSense para calcular níveis de atenção e concentração.

Foi usado o *software* eeg\_ID e uma conexão *Bluetooth* com o Mindwave. Este *software* permite a visualização de dados EEG, como níveis de atenção, níveis de meditação e níveis de “pestanejo”. Adicionalmente, fornece dados brutos EEG que permitem obter informações sobre os tipos de ondas cerebrais: Delta, Theta, Alpha Low, Alpha High, Gamma Low, Gamma High, Beta Low e Beta High. Outra vantagem desse software é a possibilidade de gravar os dados facilmente (em ficheiros .csv), incluindo a data e a hora em que os dados foram obtidos.

## C.4 Dados Comportamentais

Nos diferentes estágios de aquisição do sinal (Momento Inicial, Jogo e Momento Final), foram calculadas as energias nas bandas Delta, Theta, Alpha Low, Alpha High, Beta Low, Beta High, Gamma Low e Gamma High. O tempo gasto em cada nível, bem como a energia das bandas, foram considerados e relacionados neste estudo.

Em geral, as diferentes bandas podem ser caracterizadas da seguinte forma [40]. A banda Delta (0,1Hz a 4Hz) ocorre frequentemente em adultos durante o sono, mas é bastante comum em crianças ao longo do dia. A banda Theta (4 Hz a 8 Hz) ocorre quando o indivíduo está num estado de profundo relaxamento. A banda Alpha (8 Hz a 13 Hz) é a onda mais comum em adultos num estado de relaxamento comum, como com os olhos fechados, sem qualquer tipo de pensamento. Estados de sonolência ou letargia diminuem a amplitude destas ondas. A onda Beta (13 Hz a 30 Hz) é comum em adultos em estado de alerta ou concentrados nalgum tipo de problema. Existem estudos que consideram a divisão desse tipo de onda em Beta Low (13 Hz a 17 Hz) e Beta High (17 Hz a 30 Hz). As ondas Gama (30 Hz a 100 Hz) são menos estudadas, mas alguns autores afirmam que estão relacionadas com estados de hiperalerta, percepções visuais sobre aspetos circundantes [41] e trabalho cerebral relacionado com memorização. Conhecer as ondas e a proporção das suas energias permite-nos inferir certos parâmetros relacionados com certos estados mentais, que podem ser cruciais para o sucesso da aprendizagem.

## C.5 Correlação de Pearson e test-t

Foi calculada a correlação de Pearson entre as várias ondas cerebrais e o tempo gasto em cada nível de jogo, por indivíduo. Para cada nível de jogo foi calculada a energia média em cada banda, e o teste-t foi utilizado com um nível de confiança de 95%. A ideia subjacente era a de perceber quais os níveis que produziram mudanças significativas nas várias bandas de energia.

## C.6 ERS/ERD

Para uma melhor caracterização dos dados, foi feita uma análise do complexo Dessincronização Relacionada a Eventos (ERD)/Sincronização Relacionada a Eventos (ERS), a fim de refletir a ativação ou inibição da atividade cerebral durante o jogo. O ERD geralmente reflete a ativação ou excitação das áreas corticais, contrastando com o ERS que geralmente representa a inibição das áreas corticais. O valor ERD pode, portanto, ser interpretado como uma correlação de uma área cortical ativada com maior excitabilidade ou dessincronização. Um EEG dessincronizado significa que,

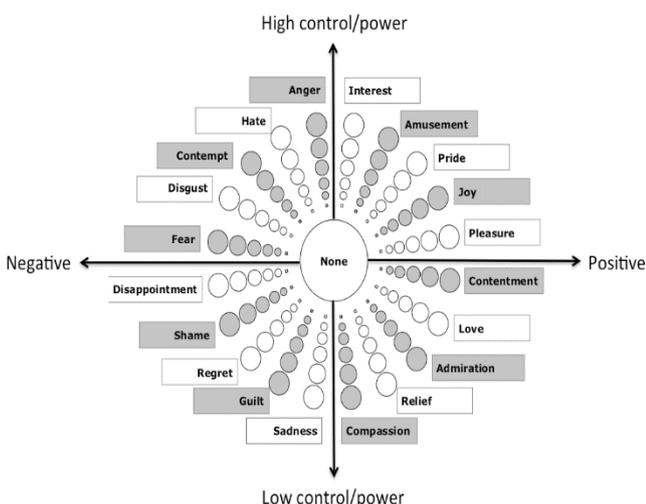


Fig. 3. Roda das Emoções de Geneva para quantificação das emoções

no circuito neuronal, um pequeno número de neurónios ou aglomerados neuronais funciona de maneira independente ou dessincronizada, representando um estado de agilidade máxima e grande capacidade de armazenar informações. Por outro lado, o ERS é referido como um estado desativado e de processamento de informações diminuído, bem como de diminuição da excitação de neurónios corticais [20], [42]. Portanto, o mapeamento espacial de ERD/ERS pode ser usado para estudar a dinâmica dos padrões de ativação cortical [42]. Ter um estado de dessincronização durante um momento de aprendizagem nas bandas Theta ou Beta significa momentos de grande agilidade e foco mental, o que significa que um indivíduo estará num estado de concentração total, refletindo uma elevada ativação e excitação de áreas corticais. Por exemplo, estamos interessados em saber se um estudante num determinado momento no tempo está mais ou menos concentrado. Para isso, é importante analisar o sinal de frequência de certas ondas, como Theta ou Beta, bem como as suas taxas de sincronismo.

Para obter valores percentuais do complexo ERD/ERS, é calculada a energia dentro da gama de frequência de interesse no intervalo de atividade (dado por A) em relação ao intervalo de referência inicial (dado por R). ERD/ERS é uma medida para quantificar a percentagem de energia definida como:  $(ERD/ERS) = (R-A)/R$ . Com base na equação, é possível distinguir duas condições. Se  $R > A$ , o complexo ERD/ERS tem um valor positivo. Isso significa que a potência da banda dos intervalos de teste é menor em comparação com o intervalo de referência. Isso também indica que as oscilações aumentam a sua sincronia, traduzindo-se numa sincronização. Se  $R < A$ , o complexo ERD/ERS tem um valor negativo. Isso significa que a energia da banda dos intervalos de teste é maior em comparação com as oscilações, indicando que as oscilações diminuem a sua sincronia, traduzindo-se numa dessincronização.

## V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados obtidos no estudo serão apresentados e discutidos.

### A. Dados de Desempenho

O nível de jogo alcançado (“Tabela II”) e o tempo gasto (“Fig. 4”) por cada participante nos 10 minutos permitidos de jogo definem o seu desempenho. A “Tabela II” mostra o número de participantes que atingiram cada um dos 20 níveis do jogo. Pode-se observar que todos os indivíduos atingiram pelo menos o nível 9.

O tempo médio gasto por cada indivíduo em cada nível, bem como a energia média das bandas em cada um deles, varia de acordo com o indivíduo. A “Fig. 4” mostra que foi gasto mais tempo nos níveis 9 e 12. Essa aspecto não foi surpreendente uma vez que nesses níveis foi introduzido um novo bloco ou paradigma, aumentando o esforço mental.

TABELA II  
NÚMERO DE INDIVÍDUOS QUE ALCANÇARAM CADA NÍVEL

Nível	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
# Ind	27	25	18	15	9	5	3	1	0	0	0

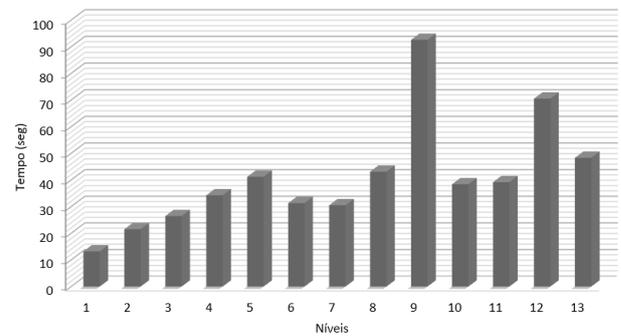


Fig. 4. Tempo médio em cada nível do jogo (Nível 1 ao Nível 13).

### A.1 Valores da Atenção e Meditação

Medimos a Meditação e a Atenção usando o dispositivo Mindwave durante os três estágios da aquisição de sinal EEG. O parâmetro Meditação mostra o nível de “calma” ou “relaxamento” mental do utilizador. O parâmetro Atenção mostra o nível de “foco” ou “atenção” mental do utilizador.

A “Fig. 5” representa os valores médios de Atenção e Meditação para todos os participantes durante as três fases deste processo de pesquisa: primeira etapa, jogo (nível 1-9) e última etapa.

Observou-se que o nível médio de atenção de todos os indivíduos foi sempre superior a 70%, atingindo cerca de 80% em alguns níveis do jogo. O pico médio do nível de atenção foi atingido no nível 9. Como o tempo médio gasto no nível 9 também foi o mais elevado de todos, consideramos que a atenção foi estimulada por desafios e novos elementos introduzidos na sequência, desencadeando maior atividade cerebral. Os valores da Meditação foram sempre inferiores a 50%, mostrando que os participantes não estavam relaxados, em qualquer das etapas da atividade experimental. Note-se que o nível de atenção foi reduzido na primeira e na última etapa, correspondendo aos momentos em que os participantes não estavam a jogar.

A “Tabela III” mostra os valores do desvio-padrão da Atenção e Meditação em cada nível do jogo. Pode-se observar que houve uma maior variabilidade nos valores de Meditação (Med.) do que nos valores da Atenção (At.).

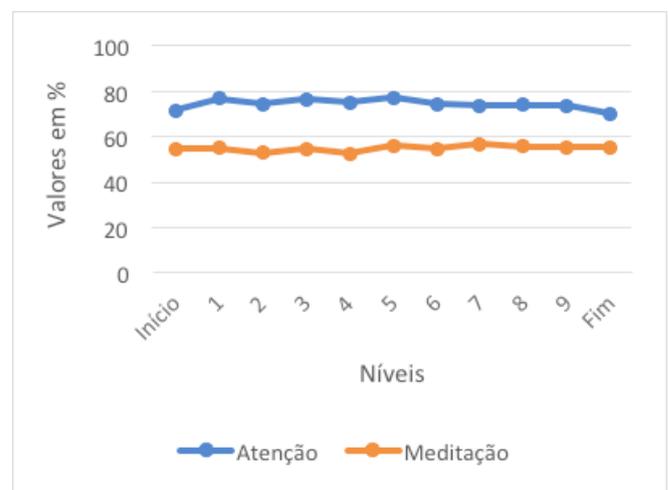


Fig. 5. Média dos valores de Atenção e Meditação considerando as três etapas do protocolo de aquisição de EEG: Primeira Etapa; Jogo (nível 1-9) e Última Etapa.

TABELA III

DESVIO-PADRÃO DOS VALORES DE MEDITAÇÃO E ATENÇÃO PARA TODOS OS PARTICIPANTES CONSIDERANDO O CONJUNTO DE DADOS REPRESENTADO NA “FIG. 5”.

Etapas	1st	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3rd
At.	2,4	2,3	2	1,5	2	0,6	0,9	0,6	1,2	0,6	1,8
Med.	8,7	9,5	8,7	6,7	6,6	7,1	7,3	6	5,9	4,5	4,7

A.2 Análise de frequência: bandas Theta e Beta

Para entender melhor os valores da Atenção e da Meditação, também foram analisadas as energias das frequências das ondas Theta e Beta, considerando os gráficos de extremos e quartis, como mostra a “Fig. 6” e a “Fig. 7”, respectivamente.

A “Fig. 6” mostra uma energia elevada das ondas Theta no estado inicial. Como essas ondas estão tipicamente associadas ao estado de sonolência e relaxamento profundo, podemos concluir que os participantes estavam num estado calmo antes da atividade de jogo. Essa energia das ondas teve uma redução abrupta no início da atividade de jogo. Isso sugere que o início da tarefa produziu alguma tensão, talvez devido à natureza inerente a uma atividade de resolução de problemas. Durante o jogo, houve uma pequena variabilidade da média da energia Theta relacionada com uma pequena oscilação da dificuldade do jogo. O nível 9 apresenta uma deflexão alta, motivada pela sua dificuldade.

A “Fig. 7” mostra que os valores médios das ondas Beta estiveram estáveis durante a atividade de jogo, com exceção

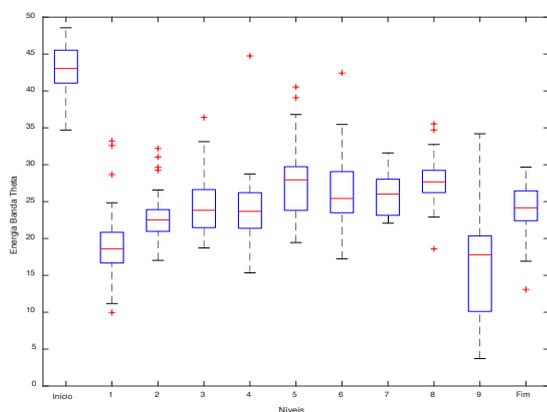


Fig. 6. Energia média de Theta

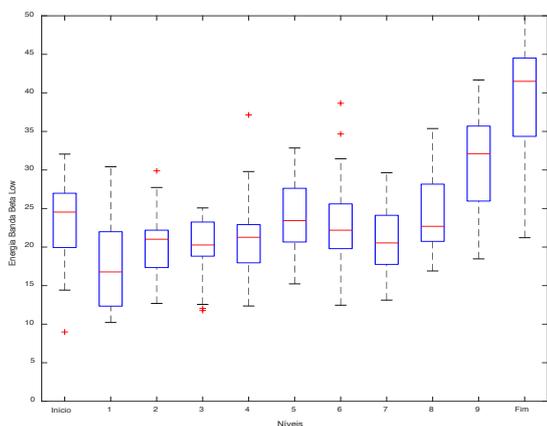


Fig. 7. Energia média de Beta Low

dos níveis 5 e 9 que produziram valores mais altos. Essas ondas geralmente estão associadas à intensificação de estados de tensão e ansiedade. A literatura também associa o aumento dessas ondas à criatividade, estado de alerta elevado, pensamento lógico, capacidade de resolução de problemas, concentração ou quando a mente está ativamente envolvida em atividades mentais [44].

Podemos observar que no estado inicial, as ondas Theta apresentaram energia elevada e as ondas Beta apresentaram baixa energia. O contrário aconteceu na última etapa, após o jogo. Isso pode ser interpretado como um estado mais relaxado dos participantes no início da atividade e um estado mais tenso (talvez devido à carga de trabalho) imediatamente após o jogo.

Calculamos a correlação de cada faixa de energia com o tempo gasto em cada nível pelos 30 participantes (“Fig. 8”).

Podemos verificar que houve uma pequena variação nas bandas Delta, Theta e Alpha Low e maiores variações nas restantes. Nesse caso, os valores de correlação destacaram-se ao longo do tempo, com valores acima de 0,8. Isso significa que quanto maior o tempo gasto para resolver um determinado nível, maior a carga de energia dessas duas bandas, mostrando uma maior carga cognitiva.

Para entender a dinâmica entre os 30 indivíduos, calculou-se a média das correlações entre as bandas Theta e Alpha e o tempo gasto em cada nível para cada indivíduo (“Fig. 8”). Os valores obtidos ficaram próximos de 1 para a maioria dos indivíduos, mostrando uma correlação muito alta entre os dois valores.

Com base nos dados da “Tabela II” e da “Fig. 9” foram considerados dois estudos de caso diferentes: 1. Caso 1: análise do grupo total, 30 indivíduos, que jogaram até o nível 9; 2. Caso 2: análise dos 15 indivíduos que ultrapassaram o nível 9 e atingiram o nível 13.

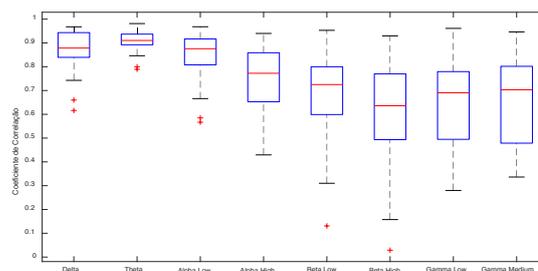


Fig. 8. Valores do coeficiente de correlação entre todas as faixas de frequência e o tempo em cada nível, considerando os 30 indivíduos.

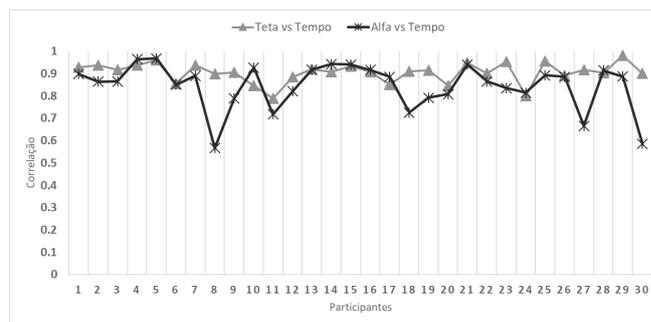


Fig. 9. Coeficiente de correlação entre a energia média das frequências (Theta e Alfa) e o tempo usado em cada nível.

### B. Análise de frequência

Utilizamos o teste-t para procurar diferenças estatisticamente significativas entre as médias das diferentes ondas em níveis consecutivos das atividades. Foi utilizado o nível de significância de 0,05 (nível de confiança de 95%).

#### B.1 Case de Estudo 1: 9 níveis

A “Fig. 10” mostra as variações médias de energia de cada banda durante os níveis da atividade. Os valores de p são indicados para aqueles que apresentaram diferenças estatisticamente significativas. A “Tabela IV” mostra que essas diferenças foram encontradas em todas as ondas sempre que houve mudança para níveis em que a dificuldade da atividade era superior. Pode-se observar a diferença de energia em todas as ondas, especialmente ao mudar do nível 1 para o nível 2 (L1-L2), exceto nas bandas Gamma, e ao mudar do nível 8 para o nível 9 (L8-L9), exceto na banda Gamma High. A passagem do nível 7 para o nível 8 (L7-L8) também apresenta algumas diferenças de energia, especialmente em Theta, Alpha High, Alpha Low e Beta High.

#### B.2 Caso de Estudo 2: 13 níveis

Para entender melhor o comportamento após o nível 9, selecionamos os 15 participantes que atingiram o nível 13 (dos 20 possíveis). O resultado é representado graficamente

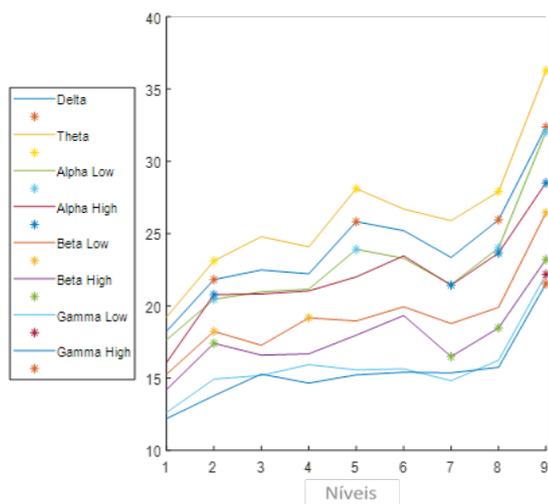


Fig. 10. Representação gráfica dos níveis de energia das ondas Theta, Delta, Alpha Low / High, Beta Low / High and Gamma Low / Medium nos 9 níveis. Os asteriscos representam diferenças estatisticamente significativas.

TABELA IV

CASO DE ESTUDO 1: DIFERENÇAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DE CADA BANDA EM CADA TRANSIÇÃO DE NÍVEL (DE 1 A 9)

i.	D	T	AL	AH	BL	BH	GL	GH
L1-L2	8.82e-21	0.002	0.045	0.002	0.013	0.025		
L2-L3	8.01e-04							
L3-L4					0.037			
L4-L5		5.80e-04	0.010					
L5-L6	0.002					0.003		
L6-L7				0.033				
L7-L8		0.006	0.008	0.010		0.016		
L8-L9	5.61e-04	1.78e-07	1.82e-08	1.02e-04	1.98e-07	2.60e-05	3.21e-06	

na “Fig. 11” e mostrado na “Tabela V”. Pode-se observar a diferença de energia em todas as ondas, exceto na banda Gamma, especialmente ao mudar do nível 8 para o nível 9 (L8-L9) e ao mudar do nível 9 para o nível 10 (L9-L10). A passagem do nível 1 para o nível 2 (L1-L2) e do nível 11 para o nível 12 (L11-L12) também apresentou algumas diferenças de energia, especialmente nas bandas Delta, Theta, Alpha High e Alpha Low. Essas mudanças de nível também mostram diferenças nas restantes ondas, mas em bandas diferentes para cada nível. Embora as ondas nos níveis 10 e 13 apresentassem diferenças significativas em relação ao nível anterior, o tempo médio gasto pelos participantes nesses níveis foi menor. O gráfico da “Fig. 11” mostra que houve uma diminuição na energia das ondas cerebrais. Este evento não era esperado, mas pode ser justificado pela ligeira diminuição da dificuldade após um nível complicado.

As tabelas anteriores sobre os dois Casos de Estudo mostram algumas diferenças estatisticamente significativas na energia de cada banda ao transitar entre níveis, especialmente quando essa transição envolve uma clara diferença na dificuldade da tarefa. Esse aspecto é evidente na

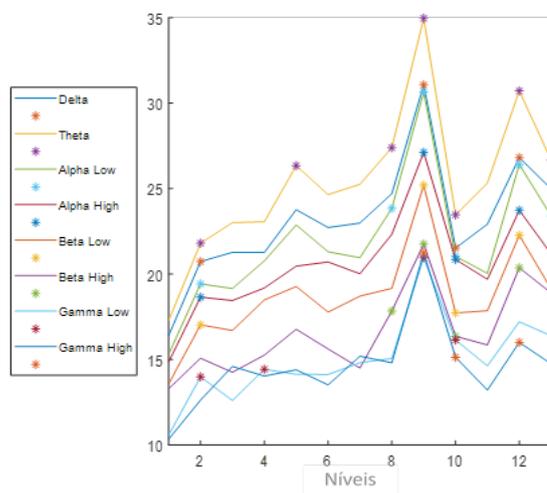


Fig. 11. Representação gráfica dos níveis de energia das ondas Theta, Delta, Alpha Low / High, Beta Low / High and Gamma Low / High nos 13 níveis. Os asteriscos representam diferenças estatisticamente significativas.

TABELA V

CASO DE ESTUDO 2: DIFERENÇAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DE CADA BANDA EM CADA TRANSIÇÃO DE NÍVEL (DE 1 A 13)

	D	T	AL	AH	BL	BH	GL	GH
L1-L2	3.040e-04	8.760e-04	0.0265	0.0249	0.0207		0.0094	
L2-L3								
L3-L4							0.0348	
L4-L5		0.0218						
L5-L6								
L6-L7								
L7-L8		0.0131	0.0424			0.0033		
L8-L9	5.972e-04	4.395e-04	4.543e-05	0.0038	2.017e-05	0.0091	3.093e-04	3.523e-04
L9-L10	0.0036	0.0029	0.0078	0.0348	0.0051	0.0340	0.0188	0.0247
L10-L11								
L11-L12	0.0350	0.0166	6.897e-04	0.0130		8.481e-05		0.0303
L12-L13		0.0204	0.0415		0.0336			

“Tabela IV” na transição do nível 8 para o nível 9 (L8-L9) que corresponde a um claro aumento no nível de dificuldade. Na “Tabela V”, a mesma situação pode ser observada em L9-L10, correspondendo a uma diminuição na dificuldade. O mesmo acontece em L11-L12 e L12-L13.

### C. Análise ERD/ERS

A “Fig. 12” e a “Fig. 13” representam os valores de ERD/ERS considerando as bandas Theta e Alpha Low, respectivamente. É possível ver que há uma diminuição do complexo ERD/ERS nos níveis 5, 9 e 12 indicando uma dessincronização.

Existe uma situação análoga na banda Alpha, com uma dessincronização nos níveis 11, 12 e 13. Podemos concluir a partir desses resultados que existe uma dessincronização em relação ao estado inicial quando a dificuldade aumenta ou o paradigma muda, significando maior dificuldade. A literatura também se refere ao ERD como uma atenuação de amplitude localizada e de curta duração dos ritmos na banda Alpha [42], significando uma diminuição no estado de relaxamento e um aumento na ansiedade.

### D. Análise das Emoções

A “Tabela VI” resume a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) de cada emoção classificada (#). Os valores variam entre 1 e 5 e é possível observar uma alta variabilidade nas emoções negativas quando comparadas com as positivas. Além disso, o número de indivíduos que expressam emoções positivas é alto (por exemplo: 29 indivíduos manifestaram interesse).

A “Fig. 14” ilustra as emoções referenciadas pelos alunos em relação à tarefa realizada. Embora tenha havido alguma oscilação em relação às emoções mais negativas, ficou

TABELA VI  
RESULTADOS DAS EMOÇÕES: # - NÚMERO DE INDIVÍDUOS;  
M - VALORES MÉDIOS;  $\sigma$  - DESVIO-PADRÃO

Emoções	#	$\mu$	$\sigma$
Anger	16	1,88	0,98
Contempt	10	1,10	0,18
Disgust	10	1,10	0,18
Hate	10	1,00	0,00
Regret	15	2,00	0,40
Disappointment	17	2,00	0,82
Guilt	10	1,00	0,00
Shame	15	1,80	0,75
Fear	13	1,69	0,75
Sadness	10	1,40	0,48
Compassion	10	1,10	0,18
Admiration	20	2,40	0,84
Relief	16	2,25	0,78
Contentment	12	2,08	0,63
Love	10	1,40	0,56
Pleasure	24	2,96	0,97
Joy	19	2,68	0,68
Pride	19	2,84	0,57
Amusement	27	3,19	0,77
Interest	29	3,72	0,57

evidente a satisfação manifestada pelas emoções positivas (prazer, alegria, orgulho, diversão e interesse) que obtiveram as maiores médias.

## VI. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O nosso estudo apresenta algumas limitações causadas pelo tipo de dispositivo utilizado e pelo número de alunos envolvidos.

Embora o Mindwave tenha alta portabilidade e a aquisição de sinal seja fácil e confiável, a existência de um único canal significa que os resultados não são abrangentes em termos de análise cerebral. A utilização de um dispositivo com um número maior de canais permitiria o estudo de outras zonas do cérebro, além de outros parâmetros que levariam a descobertas e conclusões mais amplas.

O número de alunos envolvidos limita a possibilidade de generalização dos resultados. De qualquer forma, esse não era o nosso objetivo principal, a ideia era a de reunir indicadores que pudessem ser explorados em pesquisas futuras.

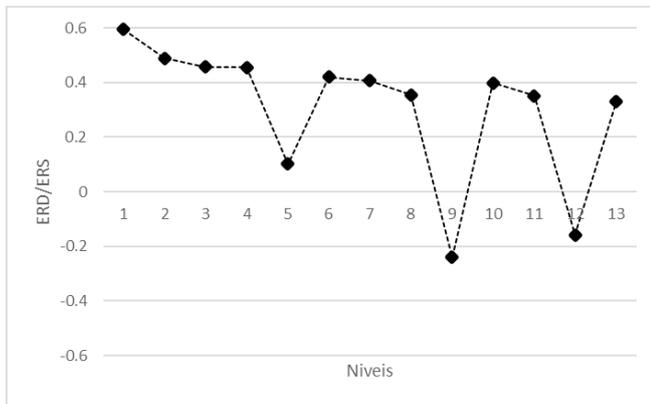


Fig. 12. Valores de ERD/ERS considerando a banda Theta

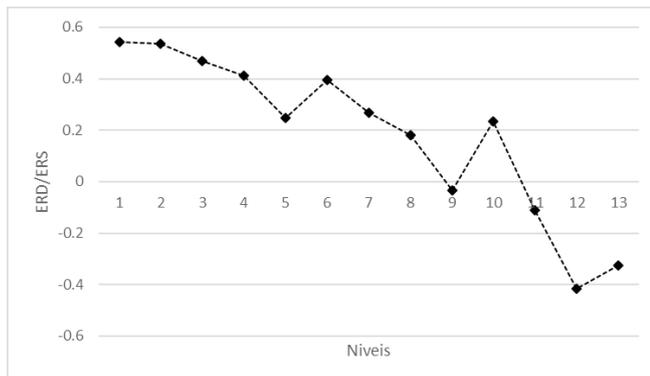


Fig. 13. Valores de ERD/ERS considerando a banda Alpha Low

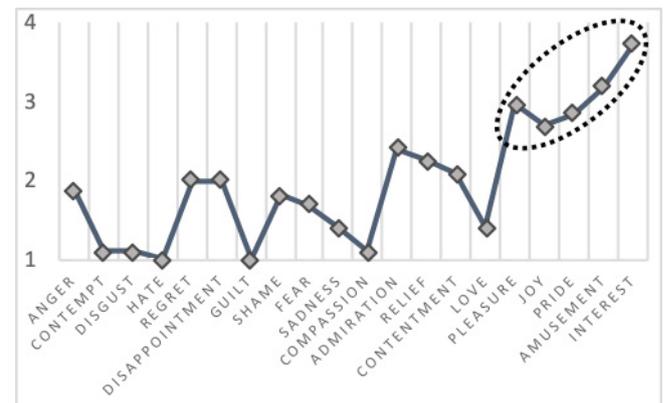


Fig. 14. Média da classificação das emoções

## VII. CONCLUSÕES

A avaliação neuropsicológica desempenha um papel importante no diagnóstico de problemas de desenvolvimento e aprendizagem. Um dos seus tópicos de pesquisa importantes é o estudo das funções executivas. O problema que está a ser investigado é o estudo das ondas cerebrais que nos podem fornecer indicadores úteis sobre os estados cognitivos, mentais, emocionais e outros de um indivíduo, enquanto executa uma tarefa cognitiva desafiadora. No nosso caso, o objetivo principal é o de medir o que realmente está a acontecer com o utilizador ao executar uma tarefa orientada à programação.

Os resultados do nosso estudo mostraram que em tarefas em que o nível de dificuldade aumentou de alguma forma ou foi introduzido um novo elemento ou paradigma, os níveis de atenção foram mais altos e os de meditação foram reduzidos. Em relação às energias das bandas, com especial interesse nas bandas Theta e Beta, notou-se que os valores de Theta diminuíram, significando uma diminuição no relaxamento. Isso também aconteceu no último nível e no final (última etapa), o que significa que os indivíduos estavam menos relaxados ou mais exaustos. Nas situações em que a dificuldade da tarefa aumentou, os valores da onda Beta diminuíram, significando um aumento na carga cognitiva (que no estado inicial era quase zero). O oposto é verdadeiro para os níveis de atenção, meditação e energia das bandas Theta e Beta em tarefas em que a dificuldade é menor.

Em relação ao complexo ERD/ERS, verificou-se que em tarefas onde a complexidade é maior, há dessincronização das bandas Theta e Beta. Isso não aconteceu em tarefas mais fáceis ou onde a dificuldade não foi aumentada. A correlação entre a energia das bandas (Theta e Beta) e o tempo em cada nível também foi alta, o que também aconteceu nas outras bandas, mas de forma menos abrupta.

Após esses resultados preliminares, acreditamos que o uso de BCIs para entender e apoiar a aprendizagem de questões complexas, como programação, deve ser mais explorado, eventualmente utilizando sistemas que podem analisar em tempo real as informações produzidas e reagir adequadamente, por exemplo, na definição do nível de apoio dado a um aluno em particular.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. Eloy, A. R. Teixeira, A. Gomes. and A. J. Mendes, "Using Brain Computer Interaction in Programming Problem Solving," in *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2019, pp. 510-518.
- [2] D. Dietrich, R. Lang, D. Bruckner, G. Fodor, and B. Muller, "Limitations, possibilities and implications of Brain-Computer Interfaces," in *3rd International Conference on Human System Interaction*, 2010, pp. 722-726.
- [3] A. Vourvopoulos and F. Liarokapis, "Robot Navigation Using Brain-Computer Interfaces," in *2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, 2012, pp. 1785-1792.
- [4] L. F. Nicolas-Alonso and J. Gomez-Gil, "Brain computer interfaces, a review.," *Sensors (Basel)*, vol. 12, no. 2, pp. 1211-79, 2012.
- [5] P. Gerjets, K. Scheiter, and G. Cierniak, "The Scientific Value of Cognitive Load Theory: A Research Agenda Based on the Structuralist View of Theories," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 21, no. 1, pp. 43-54, Mar. 2009.
- [6] M. Spüler, T. Krumpe, C. Walter, C. Scharinger, W. Rosenstiel, and P. Gerjets, "Brain-Computer Interfaces for Educational Applications," in *Informational Environments*, Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 177-201.
- [7] J. D. R. Millán *et al.*, "Combining Brain-Computer Interfaces and Assistive Technologies: State-of-the-Art and Challenges.," *Front. Neurosci.*, vol. 4, 2010.
- [8] M. Ahn, M. Lee, J. Choi, and S. C. Jun, "A review of brain-computer interface games and an opinion survey from researchers, developers and users.," *Sensors (Basel)*, vol. 14, no. 8, pp. 14601-33, Aug. 2014.
- [9] D. C. Hammond, "What Is Neurofeedback?," *J. Neurother.*, vol. 10, no. 4, pp. 25-36, 2007.
- [10] L. Carelli *et al.*, "Brain-Computer Interface for Clinical Purposes: Cognitive Assessment and Rehabilitation," *Biomed Res. Int.*, vol. 2017, pp. 1-11, Aug. 2017.
- [11] P. Luu, D. M. Tucker, and S. Makeig, "Frontal midline theta and the error-related negativity: neurophysiological mechanisms of action regulation," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 115, no. 8, pp. 1821-1835, 2004.
- [12] K. R. Scherer, V. Shuman, J. R. J. Fontaine, and C. Soriano, "The GRID meets the Wheel: Assessing emotional feeling via self-report1," in *Components of Emotional Meaning*, Oxford University Press, 2013.
- [13] K. R. Scherer "What are emotions? And how can they be measured?," *Soc. Sci. Inf.*, vol. 44, no. 4, pp. 695-729, 2005
- [14] J. Bennedsen and M. E. Caspersen, "Failure rates in introductory programming," *ACM SIGCSE Bull.*, vol. 39, no. 2, p. 32, Jun. 2007.
- [15] C. Watson and F. W. B. Li, "Failure rates in introductory programming revisited," in *Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education - ITiCSE '14*, 2014.
- [16] M. Craig, J. Smith, and A. Petersen, "Familiar contexts and the difficulty of programming problems," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2017.
- [17] C. Izu *et al.*, "Program Comprehension," in *Proceedings of the 2019 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education - ITiCSE '19*, 2019, pp. 261-262.
- [18] S. Fincher and A. V. Robins, *The Cambridge Handbook of Computing Education Research*. 2019
- [19] A. Gomes and A. Mendes, "A teacher's view about introductory programming teaching and learning: Difficulties, strategies and motivations," in *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 2014, pp. 1-8.
- [20] A. Gomes, Á. Santos, and A. J. Mendes, "A Study on Students' Behaviours and Attitudes towards Learning to Program." 2012.
- [21] Y. Qian and J. Lehman, "Students' Misconceptions and Other Difficulties in Introductory Programming," *ACM Trans. Comput. Educ.*, vol. 18, no. 1, pp. 1-24, Oct. 2017.
- [22] C.-S. Lin, Y.-C. Lai, J.-C. Lin, P.-Y. Wu, and H.-C. Chang, "A novel method for concentration evaluation of reading behaviors with electrical activity recorded on the scalp," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 114, no. 2, pp. 164-171, Apr. 2014.

- [23] J. C.-Y. Sun, "Influence of polling technologies on student engagement: An analysis of student motivation, academic performance, and brainwave data," *Comput. Educ.*, vol. 72, pp. 80–89, Mar. 2014.
- [24] S. N. Abdulkader, A. Atia, and M. S. M. Mostafa, "Brain computer interfacing: Applications and challenges," *Egyptian Informatics Journal*. 2015.
- [25] S. Mealla, A. Oliveira, X. Marimon, T. Steffert, S. Jordà, and A. Väljamäe, "The role of personalization and multiple EEG and sound features selection in real time sonification for neurofeedback," in *PhyCS 2014 - Proceedings of the International Conference on Physiological Computing Systems*, 2014.
- [26] V. Zotev, R. Phillips, H. Yuan, M. Misaki, and J. Bodurka, "Self-regulation of human brain activity using simultaneous real-time fMRI and EEG neurofeedback," *NeuroImage*. 2014.
- [27] J. Xu and B. Zhong, "Review on portable EEG technology in educational research," *Computers in Human Behavior*, vol. 81, pp. 340–349, apr 2018.
- [28] C.-C. Wei and M.-Y. Ma, "Influences of Visual Attention and Reading Time on Children and Adults," *Read. Writ. Q.*, vol. 33, no. 2, pp. 97–108, Mar. 2017.
- [29] C.-M. Chen and Y.-J. Lin, "Effects of different text display types on reading comprehension, sustained attention and cognitive load in mobile reading contexts," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 24, no. 3, pp. 553–571, Apr. 2016.
- [30] C.-M. Chen and S.-H. Huang, "Web-based reading annotation system with an attention-based self-regulated learning mechanism for promoting reading performance," *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 45, no. 5, pp. 959–980, 2014.
- [31] C.-M. Chen and C.-H. Wu, "Effects of different video lecture types on sustained attention, emotion, cognitive load, and learning performance," *Comput. Educ.*, vol. 80, pp. 108–121, Jan. 2015.
- [32] M.-Y. Ma and C.-C. Wei, "A comparative study of children's concentration performance on picture books: age, gender, and media forms," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 24, no. 8, pp. 1922–1937, Nov. 2016.
- [33] R. Shadiev, T.-T. Wu, and Y.-M. Huang, "Enhancing learning performance, attention, and meditation using a speech-to-text recognition application: evidence from multiple data sources," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 25, no. 2, pp. 249–261, Feb. 2017.
- [34] M. T. C. Suarez, "Predicting Student's Appraisal of Feedback in an ITS Using Previous Affective States and Continuous Affect Labels from EEG Data," in *Res. Pract. Technol. Enhanc. Learn.*, 2011.
- [35] I. Ghergulescu and C. H. Muntean, "ToTCompute: A Novel EEG-Based TimeOnTask Threshold Computation Mechanism for Engagement Modelling and Monitoring," *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, 2016.
- [36] C.-H. Lai, M.-C. Liu, C.-J. Liu, and Y.-M. Huang, "Using Positive Visual Stimuli to Lighten The Online Learning Experience through In Class Questioning," *Int. Rev. Res. Open Distrib. Learn.*, vol. 17, no. 1, Feb. 2016.
- [37] C.-M. Chen and J.-Y. Wang, "Effects of online synchronous instruction with an attention monitoring and alarm mechanism on sustained attention and learning performance," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 26, no. 4, pp. 427–443, May 2018.
- [38] Code.org. (2018). The largest learning event in history Retrieved June 12, 2018 from <https://code.org>
- [39] Neurosky Mindwave User Guide, "Neurosky Mindwave User Guide," 2018.
- [40] K. Yoshida, F. Hirai, and I. Miyaji, "Learning System Using Simple Electroencephalograph Feedback Effect During Memory Work," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 35, pp. 1596–1604, 2014.
- [41] C. H. Vanderwolf, "Are neocortical gamma waves related to consciousness?," *Brain Res.*, vol. 855, no. 2, pp. 217–24, Feb. 2000.
- [42] G. Pfurtscheller, "Functional brain imaging based on ERD/ERS," *Vision Res.*, vol. 41, no. 10–11, pp. 1257–1260, May 2001.

**Anabela Gomes Doutora**, Mestre e Bacharel em Engenharia Informática pela Universidade de Coimbra. É professora do Departamento de Engenharia Informática e de Sistemas do Instituto Politécnico de Coimbra (IPC). Tem mais de 90 artigos científicos em revistas e conferências internacionais de prestígio. É membro do grupo de investigação "Cognitive and Media Systems" do Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra e do "Instituto de Investigação Aplicada" do IPC. Os seus interesses de investigação focam-se na área do Ensino e Aprendizagem de Programação, Tecnologias Assistivas e Interação Humano-computador.

**Ana Rita Assunção Teixeira** Doutora e Mestre em Engenharia Eletrónica pela Universidade de Aveiro e Bacharel em Matemática pela Universidade do Porto. É professora do Departamento de Informática na Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Coimbra. Tem mais de 70 artigos científicos em revistas e conferências internacionais de prestígio. É membro do grupo de investigação de "Processamento de sinal" do Instituto de Engenharia Eletrónica da Universidade de Aveiro e do "Instituto de Investigação Aplicada" do Instituto Politécnico de Coimbra. Os seus interesses centram-se na área de Tecnologias Assistivas, Interação Humano-Computador e Métodos e Aplicações de Processamento de Sinais.

**Joana Eloy Bacharel** em Engenharia Biomédica no Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico de Coimbra, onde está a realizar o mestrado.

**António José Mendes** é licenciado em Engenharia Electrotécnica (1983) e doutorado em Informática (1996). É Professor Associado do Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra e Coordenador do Projeto de Educação a Distância da mesma universidade; É autor ou co-autor de mais de 150 artigos em revistas e congressos internacionais; É membro do grupo de investigação "Cognitive and Media Systems" no Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra. Os seus interesses de investigação estão focados no ensino de ciências da computação e ensino a distância.