



CATÓLICA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO E PSICOLOGIA

PORTO

*OS EFEITOS DO CAFÉ NA PERFORMANCE
COGNITIVA AO NÍVEL DA ATENÇÃO EM
ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS: fNIRS*

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do
grau de mestre em Psicologia

- Especialização em Psicologia Clínica e da Saúde -

Vitória Carneiro de Almeida Pereira

Porto, fevereiro 2025



CATÓLICA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO E PSICOLOGIA

PORTO

*OS EFEITOS DO CAFÉ NA PERFORMANCE
COGNITIVA AO NÍVEL DA ATENÇÃO EM
ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS: fNIRS*

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do
grau de mestre em Psicologia

- Especialização em Psicologia Clínica e da Saúde –

Vitória Carneiro de Almeida Pereira

Trabalho efetuado sob orientação de

Prof.^a Doutora Patrícia Batista

Prof.^a Doutora Patrícia Oliveira - Silva

Porto, fevereiro 2025

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado representa o culminar de um percurso académico desafiante e enriquecedor. Assim, gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação e para a concretização deste importante capítulo da minha vida.

À minha orientadora, Prof.^a Doutora Patrícia Batista, pelo apoio, dedicação e rigor académico. A sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho, e a sua paciência e incentivo ajudaram-me a superar os desafios que surgiram ao longo deste percurso. Obrigada por nunca ter desistido de mim.

À minha co-orientadora Prof.^a Doutora Patrícia Oliveira-Silva, pelas sugestões valiosas e pela disponibilidade ao longo deste processo. A sua orientação foi fundamental para a concretização deste trabalho e para o meu crescimento académico e profissional.

Ao Professor e engenheiro Pedro Ribeiro, pela valiosa ajuda na área da informática, cuja contribuição foi essencial para o desenvolvimento deste estudo.

À Professora Ana Moreno, pelo acompanhamento e pelas sugestões que enriqueceram este trabalho, tornando-o mais completo e rigoroso.

À minha mãe, pela dedicação incansável em todas as fases da minha vida. O seu esforço e sacrifício foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este objetivo. Tudo o que conquistei até hoje tem, em grande parte, o seu mérito. Obrigada por ser o meu maior exemplo de força e determinação.

À minha avó, pela preocupação constante, pelo carinho e pelo amor inestimável que sempre me dedicou. As suas palavras de encorajamento e o seu apoio incondicional foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Obrigada por estar sempre presente e por ser uma fonte inesgotável de amor e conforto.

Por fim, a todos os meus amigos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projeto, direta ou indiretamente, expresso o meu mais sincero agradecimento.

Resumo

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo. O interesse por estudar esta bebida no sentido de perceber melhor o seu impacto na saúde física e mental tem sido um desafio para os investigadores. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do consumo de café nas três dimensões da atenção (alerta, orientação e controlo executivo) em estudantes universitários, com recurso ao Teste de Redes de Atenção (ANT) e ao *Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS). Realizou-se um estudo duplo-cego, em que os participantes realizaram tarefas atencionais antes e após a ingestão de café/placebo, enquanto a atividade cerebral no córtex pré-frontal era monitorizada pelo fNIRS. Este procedimento experimental permitiu comparar os dados comportamentais e neurofisiológicos entre os momentos pré e pós-consumo, bem como entre os grupos, para compreender o impacto do café no desempenho das três redes de atenção. De igual forma, também permitiu analisar as alterações da atividade cerebral nas regiões do córtex pré-frontal antes e após o consumo de café ou placebo, com recurso ao fNIRS. Os resultados indicaram que o consumo de café melhorou o desempenho na rede de controlo executivo, o que sugere um aprimoramento na regulação do comportamento e inibição de respostas automáticas. A análise das alterações da atividade cerebral realizadas pelo fNIRS revelou pequenas alterações hemodinâmicas, com o aumento da ativação do córtex pré-frontal ventrolateral esquerdo (L-VLPFC) e dorsolateral direito (R-DLPFC), mas não de forma significativa. A investigação destaca a relevância de que o café possa modular a ativação cortical, mas o seu impacto varia entre indivíduos e pode depender de fatores como tolerância e consumo habitual.

Palavras-Chave: café, atenção, córtex pré-frontal, fNIRS, ANT

Abstract

Coffee is one of the most widely consumed beverages in the world. The interest in studying this beverage to better understand its impact on physical and mental health has posed a challenge for researchers. The present study aimed to examine the effects of coffee consumption on the three dimensions of attention (alerting, orienting, and executive control) in university students, using the *Attention Network Test* (ANT) and *Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS). A double-blind experimental design was conducted, in which participants performed attentional tasks before and after consuming coffee or a placebo, while brain activity in the prefrontal cortex was monitored using fNIRS. This approach enabled the comparison of behavioural and neurophysiological data between pre- and post-consumption conditions, as well as across groups, providing a more comprehensive understanding of the impact of coffee on attentional networks. Furthermore, it facilitated the analysis of changes in prefrontal cortical activity following coffee or placebo consumption. The findings indicated that coffee consumption significantly enhanced performance in the executive control network, suggesting an improvement in behavioural regulation and the inhibition of automatic responses. fNIRS analysis revealed small haemodynamic variations, with increased activation in the left ventrolateral prefrontal cortex (L-VLPFC) and right dorsolateral prefrontal cortex (R-DLPFC), however, these changes did not reach statistical significance. This study highlights the potential for coffee to modulate cortical activation, though its effects appear to vary between individuals, likely depending on factors such as caffeine tolerance and habitual consumption patterns.

Keywords: coffee consumption, selective attention, sustained attention, fNIRS, ANT

Índice

Introdução	11
1. Enquadramento Teórico	12
1.1 Café: impacto na saúde física, mental e cognição.....	12
1.2 Café e o consumo nos estudantes universitários	12
1.3 Contributos das neurociências na avaliação do impacto do café nas funções cerebrais	14
2. Método	16
2.1 Amostra	17
2.2 Instrumentos	20
2.2.1 <i>Questionário sociodemográfico</i>	20
2.2.2 <i>Medidas Neurofisiológicas: através do fNIRS</i>	20
2.2.3 <i>Teste de Rede de Atenção (ANT)</i>	22
2.3 Procedimento experimental do estudo	23
2.4 Análise Estatística	25
3. Resultados	26
4. Discussão de Resultados	30
5. Conclusão	33
6. Referências Bibliográficas	34
Anexos	40

Índice de Figuras

Figura 1

Representação esquemática da configuração do fNIRS 20

Figura 2

Representação do procedimento ANT: estímulos e condições experimentais.....22

Figura 3

Representação esquemática do procedimento laboratorial realizado com os participantes
..... 25

Índice de Tabelas

Tabela 1

Caracterização Sociodemográfica da Amostra 17

Tabela 2

Comparação das Dimensões Alerta, Orientação e Controlo Executivo Dentro dos Grupos Café e Descafeinado..... 25

Tabela 3

Comparação das Dimensões Alerta, Orientação e Controlo Executivo Entre os Grupos Café e Descafeinado.....27

Tabela 4

Média e Desvio Padrão da Variação Hemodinâmica em Cada Região Cerebral Antes (ANT1) e Após (ANT2) o Consumo de Café.....17

Tabela 5

Média e Desvio Padrão da Variação Hemodinâmica em Cada Região Cerebral Antes (ANT1) e Após (ANT2) o Consumo de Café.....18

Índice de Gráficos

Gráfico 1

Varição da Ativação Hemodinâmica (ΔHbO_2) nas Diferentes Regiões Pré-Frontais, Antes e Após da Ingestão de Café.....28

Gráfico 2

Varição da Ativação Hemodinâmica (ΔHbO_2) nas Diferentes Regiões Pré-Frontais, Antes e Após da Ingestão de Descafeinado.....29

Índice de Siglas e Acrónimos

ANT: *Teste de Rede de Atenção*

ANT1: Teste de Rede de Atenção antes do consumo de café/placebo

ANT2_café: Teste de Rede de Atenção após o consumo de café

ANT2_descafeinado: Teste de Rede de Atenção após o consumo de descafeinado

CCQ: *Caffeine Consumption Questionnaire*

EDA: Atividade eletrodérmica

ECG: Eletrocardiograma

EEG: Eletroencefalografia

fNIRS: *Functional Near-Infrared Spectroscopy*

HbO₂: Hemoglobina oxigenada

HbR: Hemoglobina desoxigenada

TOVA: *Test of Variables of Attention*

TR: Tempo de Reação

R-VLPFC- Córtex Pré-frontal Ventrolateral Direito

R-DLPFC- Córtex Pré-frontal Dorsolateral Direito

L-DLPFC- Córtex Pré-frontal Dorsolateral Esquerdo

L-VLPFC- Córtex Pré-frontal Ventrolateral Esquerdo

dmPFC- Córtex Pré-frontal Dorsomedial (dmPFC)

Introdução

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, sendo que, aproximadamente 80% da população consome café diariamente (Cho, Kim & Chu, 2024). Devido à sua popularidade e ao seu crescente consumo, diversos estudos científicos têm explorado os padrões de ingestão e os seus efeitos na saúde física e mental (Zhang et al., 2021; Klevebrant & Frick, 2022; Min et al., 2023). Segundo a literatura o consumo de café tem impacto nos processos cognitivos como na atenção, aprendizagem e memória, devido à presença de cafeína (um composto psicoativo que atua como um antagonista dos recetores de adenosina) na sua composição (Reddy et al., 2024).

De entre os principais consumidores de café, destacam-se os estudantes universitários, que recorrem frequentemente a este psicoativo para enfrentarem as exigências cognitivas e físicas associadas à sua rotina académica (Mahoney et al., 2018). Padrões de consumo neste grupo estão associados à necessidade de aumentar o estado de alerta e a gestão do cansaço. No entanto, apesar de vários estudos terem analisado os efeitos da cafeína na cognição (Beydoun et al., 2014; Dietz et al., 2017), ainda há lacunas quanto à sua influência sobre as diferentes componentes da atenção e os mecanismos cerebrais subjacentes.

Estudos prévios demonstraram que a atenção está associada a mudanças no fluxo sanguíneo cerebral nas regiões do córtex pré-frontal (Shabir et al., 2018; Yuan et al., 2020). Neste sentido, a *Functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS) surge como uma ferramenta promissora para monitorizar, de forma não invasiva, as alterações na concentração de hemoglobina oxigenada (HbO₂) e desoxigenada (HbR), permitindo um entendimento detalhado da ativação neuronal durante tarefas atencionais (Pinti et al., 2020). Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar as mudanças no desempenho atencional (estados de alerta, orientação e controlo executivo) antes e após o consumo de café ou placebo. Para além disso, procurou-se comparar as alterações da atividade cerebral nas regiões do córtex pré-frontal antes e após o consumo de café ou placebo, através do fNIRS. Embora estudos anteriores tenham explorado os efeitos da cafeína na cognição, através de questionários de autorrelato e de outros métodos neurofisiológicos, a combinação da análise específica das redes de atenção e a monitorização pelo fNIRS oferece uma abordagem inovadora que pode contribuir para um melhor entendimento dos mecanismos subjacentes ao impacto do café na cognição.

Como proposto, este estudo encontra-se organizado em cinco secções principais. Na primeira secção é apresentado o enquadramento teórico que aborda os efeitos do café na saúde física, mental e cognitiva, com destaque para o consumo entre estudantes universitários e a aplicação de novas tecnologias de neuroimagem para avaliar o impacto a nível cerebral. Na segunda secção estão detalhados os métodos utilizados, que incluem os objetivos específicos e hipóteses, caracterização da amostra, instrumentos e os procedimentos de recolha e análise de dados. A terceira secção apresenta os resultados obtidos, seguidos da quarta secção, onde são discutidos. Por fim, a quinta secção expõe as conclusões, limitações e vantagens, bem como sugestões para pesquisas futuras.

1. Enquadramento Teórico

1.1 Café: impacto na saúde física, mental e na cognição

O café é amplamente reconhecido como uma bebida psicoestimulante devido à presença de cafeína na sua composição (Reddy et al., 2024). Após a ingestão, a cafeína é metabolizada no fígado e absorvida pela corrente sanguínea, com uma meia-vida média de 4 a 5 horas em adultos saudáveis, contudo o seu processo de metabolização e absorção varia de acordo com fatores genéticos e fisiológicos (Reddy et al., 2024). Esta molécula psicoativa atua no sistema nervoso central como antagonista dos recetores de adenosina, os quais são fundamentais na regulação de neurotransmissores. Ao bloqueá-los, a cafeína promove a libertação de serotonina, acetilcolina, noradrenalina e dopamina, que apresentam papéis cruciais em diversas funções cognitivas (Reddy et al., 2024).

Para além dos benefícios reportados na literatura ao nível de patologias como a diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares, hepáticas e oncológicas (Abalo, 2021), esta molécula psicoativa também apresenta benefícios relacionados com a saúde mental, nomeadamente ao nível de perturbações de ansiedade e depressão (Min et al., 2023; Yin et al., 2023). O momento relacionado com a ingestão do café também pode impactar a saúde mental, por exemplo segundo o estudo desenvolvido por Min e colaboradores (2023), a ingestão de café durante o período matinal está associada a uma menor prevalência de depressão, bem como a um menor risco de perturbações de ansiedade. Contudo, apesar de vários estudos reportarem que o consumo moderado de café apresenta benefícios para a saúde mental, a literatura também apresenta resultados contraditórios. Klevebrant e Frick (2022) relataram que doses elevadas de café podem aumentar os níveis de ansiedade e induzir ataques de pânico em indivíduos com predisposição. Para além disso, o consumo de café fora dos períodos matinais, pode estar

associado ao aumento dos níveis de ansiedade e sintomas depressivos (Klevebrant & Frick, 2022; Yin et al., 2023).

Ao nível do desempenho cognitivo, vários estudos têm demonstrado os efeitos benéficos do café, contudo esses efeitos podem variar consoante fatores como a tolerância adquirida, a frequência do consumo e as características individuais dos consumidores (Cornelis et al., 2020; Ajjimaporn et al., 2022; Yin et al., 2023; Beydoun et al., 2014). Num estudo recente desenvolvido por Ajjimaporn e colaboradores (2022), em que utilizaram uma amostra de estudantes universitários, verificou-se que o café, quando ingerido em pequenas doses (50 mg), pela manhã, apresenta melhorias ao nível da memória de trabalho e atenção. Também num estudo conduzido por Beydoun e colaboradores (2014) observaram-se melhorias na cognição global e na memória verbal dos estudantes universitários, com um consumo regular de café. Contudo, como referido anteriormente, a dose ingerida e o perfil individual do consumidor, podem condicionar o impacto benéfico do café (Cornelis et al., 2020; Dietz et al., 2017, Ulrich et al., 2021). A tolerância desenvolvida com o consumo habitual de café pode atenuar os seus efeitos positivos no desempenho cognitivo, apesar de se observarem melhorias pontuais na atenção e na memória de trabalho (Dietz et al., 2017). Ullrich e colaboradores (2021) identificaram que os efeitos da cafeína em homens saudáveis foram significativos, mas a generalização para mulheres é limitada devido a fatores hormonais, como o ciclo menstrual. Deste modo, é importante investigar fatores individuais e contextuais que podem condicionar o impacto do café no organismo, no sentido de se maximizar os seus benefícios e minimizar potenciais riscos associados.

1.2 Café e o consumo nos estudantes universitários

Os estudantes são uma população considerável que recorre ao café para impulsionar funções cognitivas, como: aumentar a vigília, diminuir a sonolência e estimular a atenção (Ajjimaporn et al., 2022). Segundo a literatura, a atenção é considerada um termo central para a neurociência cognitiva (Rueda et al., 2021). É um processo cognitivo que permite focar num determinado objeto ou atividade específica, excluindo estímulos irrelevantes ou distratores (Rueda et al., 2021). É a capacidade de direcionar e manter a concentração num estímulo por um determinado período de tempo e é fundamental para muitas atividades mentais, como aprender, recordar, raciocinar e tomar decisões (Rueda et al., 2021).

No contexto académico, a capacidade de manter o foco por longos períodos (atenção sustentada) é essencial para o desempenho de tarefas complexas (Esterman & Rothlein, 2019). No entanto, muitos estudantes enfrentam dificuldades em manter a atenção ativa por longos

períodos devido a fatores como: fadiga mental, privação de sono, *stress* crônico e falta de motivação (Rodrigues, 2013; Pintrich & Schunk, 2002). A fadiga mental, por exemplo, ocorre após tarefas prolongadas que exigem altos níveis de concentração, enquanto o *stress* crônico reduz a atenção seletiva, aumentando as interferências de estímulos irrelevantes (Rodrigues, 2013). A privação de sono, outro fator comum, prejudica a capacidade da atenção sustentada e aumenta a dificuldade de concentração em tarefas monótonas (Rodrigues, 2013). Perante estas dificuldades, o consumo de café tornou-se uma estratégia comum para melhorar a performance atencional. Neste sentido, estima-se que 31% dos estudantes consomem café especificamente para aumentar a atenção (Mahoney et al., 2018).

Deste modo, existe uma necessidade de se compreender melhor os mecanismos biológicos da atuação do café a nível cerebral. Neste sentido, vários estudos têm sido desenvolvidos para compreender o impacto do café ao nível cognitivo (Ullrich et al., 2015; Cornelis et al., 2020). Se por um lado, Cornelis e colaboradores (2020), através do *PairsMatching*, *Trail Making Test* e do *Symbol Digit Substitution Test* verificaram a inexistência de diferenças significativas na função cognitiva, em consumidores habituais de café e, ainda um decréscimo no desempenho dos testes psicológicos (Cornelis et al., 2020). Por outro lado, Ullrich e colaboradores (2015) verificaram um aumento da ativação cerebral, após ingestão de café, através do Teste de Matrizes de *Bochum*, o Teste de Trilhas e o Teste de *Span* de Dígitos.

Estudos recentes têm incluído técnicas avançadas de neuroimagem e metodologias das neurociências, que permitem uma análise mais detalhada sobre os efeitos da cafeína no cérebro (Sargent et al., 2020; Yuan et al., 2020).

1.3 Contributo das neurociências na avaliação do impacto do café nas funções cerebrais

A maioria dos estudos que investigam o impacto do café no perfil atencional têm-se baseado em métodos subjetivos, como questionários de autorrelato e testes psicológicos (Ullrich et al., 2015; Cornelis et al., 2020; Laatar et al., 2021; Helwig et al., 2024). Um dos instrumentos amplamente utilizados é o *Caffeine Consumption Questionnaire* (2010), que avalia os padrões de consumo de cafeína e a sua relação com as funções cognitivas (Laatar et al., 2021; Helwig et al., 2024). De igual forma, o Inventário de Atenção de *Frankfurter*, também é comumente utilizado para avaliar a atenção seletiva e a velocidade de processamento (Ullrich et al., 2015). De forma a avaliar o perfil atencional, têm sido utilizados na literatura o *Test of Variables of Attention* (TOVA), que avalia diferentes dimensões da atenção, e o Teste de Redes de Atenção (ANT), amplamente reconhecido pela sua capacidade de medir a eficiência

das três principais redes atencionais no cérebro humano: dimensão alerta, relacionada à prontidão e vigilância; dimensão orientação, responsável pela seleção e processamento de estímulos sensoriais relevantes e dimensão controlo executivo, associada ao controlo cognitivo e à resolução de conflitos (O'Shea et al., 2017; Posner & Rothbart, 2023). O ANT fornece dados comportamentais quantitativos e detalhados, o que permite uma análise precisa dos efeitos neurocognitivos do café (Posner & Rothbart, 2023). Nos últimos anos, abordagens baseadas em medidas psicofisiológicas têm emergido como alternativas promissoras, que oferecem avaliações mais objetivas e detalhadas das funções cognitivas. A atividade eletrodérmica (EDA) é considerada uma mais-valia na avaliação das respostas emocionais, através da análise da condutância elétrica da pele (Sargent et al., 2020; Wortman & Corey R.J. Stephenson, 2023). De igual forma, o eletrocardiograma (ECG) também pode ser utilizado como mecanismo para averiguar a atividade elétrica cardíaca (Varandas et al., 2022). Entre os métodos disponíveis, a eletroencefalografia (EEG) é uma das técnicas mais amplamente utilizadas, uma vez que permite monitorizar a atividade elétrica cerebral em tempo real, bem como fornecer informações detalhadas sobre processos cognitivos, como a atenção, memória de trabalho e o processamento de estímulos sensoriais (Bruce et al., 2014; Ajjimaporn et al., 2022). Outra técnica avançada, como a ressonância magnética funcional (fMRI), tem permitido investigar a dinâmica da atividade cerebral, através de imagens tridimensionais detalhadas do cérebro (Pierri & Schettini, 2023).

De entre as técnicas mais recentes e inovadoras, a Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS) tem vindo a destacar-se por diversos motivos. Esta tecnologia não invasiva e altamente tolerante a artefactos de movimento, permite monitorizar a atividade cerebral através da absorção de luz infravermelha e da alteração nas concentrações de hemoglobina oxigenada (HbO₂) e desoxigenada (HbR) em áreas corticais específicas, como as regiões do córtex pré-frontal (Pinti et al., 2020). Estas regiões estão associadas às funções cognitivas de ordem superior e realizam funções executivas essenciais para o planeamento e execução de ações complexas do controlo motor (Yuan et al., 2020). Assim, para analisar a relação do mecanismo subjacente entre luz e a cognição, o córtex pré-frontal desempenha um papel central, o que torna o fNIRS uma ferramenta valiosa para investigações sobre os efeitos do café nas funções cognitivas (Pinti et al., 2020). Apesar do potencial do fNIRS, ainda são poucos os estudos que têm utilizado esta técnica para explorar o impacto do café no cérebro. Contudo, um estudo pioneiro realizado por Yuan e colaboradores (2020) demonstrou que o consumo de café aumenta a atividade cerebral no córtex pré-frontal durante tarefas que requeriam atenção seletiva e sustentada, com a integração de tecnologias avançadas, como o

fNIRS, em conjunto com testes comportamentais objetivos, como o *Stroop Test*, para avaliar os efeitos neurofisiológicos da cafeína (Shabir et al., 2018; Yuan et al., 2020). Ou seja, Yuan e colaboradores (2020) verificaram mudanças hemodinâmicas nas regiões do córtex pré-frontal ventrolateral (VLPFC) esquerdo e direito, e as regiões de ativação cerebral variaram com diferentes condições de café. (Yuan et al., 2020)

Dado o impacto significativo da atenção no desempenho acadêmico e o consumo de café como estratégia para otimizar o funcionamento cognitivo, torna-se essencial investigar os seus efeitos de forma sistemática. Neste contexto, o presente estudo contribui para a investigação, ao analisar os possíveis efeitos do consumo de café no desempenho atencional (estados de alerta, orientação e controlo executivo) antes e após o consumo de café ou placebo e comparar as alterações da atividade cerebral nas regiões do córtex pré-frontal antes e após o consumo de café ou placebo.

2. Método

Com o propósito de cumprir o objetivo geral mencionado anteriormente, foram definidos os seguintes objetivos específicos e as seguintes hipóteses:

(1) Avaliar as mudanças no desempenho das redes de atenção (alerta, orientação e controlo executivo) antes e após o consumo de café ou placebo;

(2) Comparar as alterações da atividade cerebral nas regiões do córtex pré-frontal antes e após o consumo de café ou placebo.

H0: Não há diferenças significativas no desempenho das redes de atenção (alerta, orientação e controlo executivo) antes e após o consumo de café ou placebo.

H1: O consumo de café melhora significativamente o desempenho nas redes de atenção (alerta, orientação e controlo executivo), em comparação com os valores observados antes do consumo e com o grupo placebo.

H0: Não há diferenças significativas da atividade cerebral nas regiões do córtex pré-frontal antes e após o consumo de café ou placebo.

H1: O consumo de café induz um aumento significativo na atividade cerebral nas regiões do córtex pré-frontal, em comparação com os valores observados antes do consumo e com o grupo placebo.

2.1 Amostra

A amostra foi composta por 14 participantes adultos, predominantemente do sexo feminino (n=11) com idades compreendidas entre os 18 e os 30 anos (M= 24.07; DP=1.67). Todos os participantes apresentam licenciatura (n=14) e a maioria encontra-se a frequentar o mestrado (n=9). Os participantes foram recrutados por meio de contacto direto e divulgação nas redes sociais durante o período de dezembro de 2023 a março de 2024. Os critérios de inclusão do estudo passaram por incluir estudantes universitários com idades compreendidas entre os 18 e os 30 anos, que consumissem, de forma diária, uma média de dois cafés e que concordassem em participar na recolha de dados de forma voluntária, anónima e confidencial. Foram excluídos participante com antecedentes de problemas neurológicos ou psiquiátricos ou outra condição médica que pudesse afetar a performance cognitiva ou que pudesse ser agravada pela ingestão de café. Dada a predominância de mulheres na amostra, reconhece-se a possibilidade de um viés de sexo nos resultados, uma vez que o metabolismo da cafeína pode ser influenciado por fatores hormonais (Ullrich et al., 2021). Essa limitação será considerada na análise dos dados e na discussão dos resultados. Na tabela 1 encontram-se descritas as características sociodemográficas da amostra.

Tabela 1

Caracterização Sociodemográfica dos Participantes

Variáveis Sociodemográficas	N	%
Sexo		
Feminino	11	78.57
Masculino	3	21.43
Idade		
18-20	4	29.6
21-23	5	40.7
24-26	3	18.5
27-29	2	11.1
Nacionalidade		
Portuguesa	14	100
Habilitações literárias		
Licenciatura	4	40.7
Mestrado	9	55.6

Doutoramento	1	3.7
Acompanhamento psicológico/psiquiátrico		
Sim	6	40.7
Não	8	59.3
Frequência diária de Café		
1 vez por dia	6	40.7
2 vezes por dia	3	25.9
3 vezes por dia	4	29.6
4 vezes por dia	1	3.7
Objetivo do consumo de café		
Estado de alerta	4	14.8
Sabor	5	18.5
Socialmente	1	3.7
Cansaço/sonolência	5	44.4
Desempenho cognitivo	2	7.4
Pequeno-almoço	4	14.8
Hábito	1	3.7
Dores de cabeça	1	3.7
Momento do dia		
Manhã	6	29.6
Tarde	2	11.1
Noite	-	-
Todas	6	29.6
Tipo de café		
Cápsula	8	51.9
Solúvel	3	22.2
Moído	1	11.1
Em grão	2	14.8
Pastilha	-	-
Efeitos com o consumo de café		
Energia	9	81.5
Nervosismo	1	3.7
Palpitações	2	7.4

Alterações de humor	1	3.7
Dores de cabeça	1	3.7

2.2 Instrumentos

Para a realização deste estudo foram utilizados instrumentos de avaliação com o objetivo de recolher dados sociodemográficos, comportamentais e neurofisiológicos dos participantes. De seguida, encontram-se descritos os instrumentos utilizados.

2.2.1 *Questionário sociodemográfico*

O questionário sociodemográfico foi desenvolvido especificamente para este estudo, através da plataforma *Google Forms (Anexo II)*. Foi elaborado para recolher informações detalhadas sobre os participantes, com o objetivo de caracterizar a amostra e identificar fatores que pudessem influenciar o desempenho cognitivo. Dividido em duas secções, a primeira abordou variáveis sociodemográficas como idade, sexo, nacionalidade e habilitações literárias, sendo estas recolhidas por perguntas diretas e de escolha múltipla. A segunda secção focou no consumo de café e fatores relacionados, incluindo questões sobre acompanhamento psicológico, frequência de consumo, motivos, tipo de café preferido, efeitos percebidos e tolerância à cafeína. A estrutura do questionário permitiu uma análise detalhada dos hábitos de consumo e seus possíveis impactos no desempenho cognitivo.

2.2.2 *Medidas Neurofisiológicas: através do fNIRS*

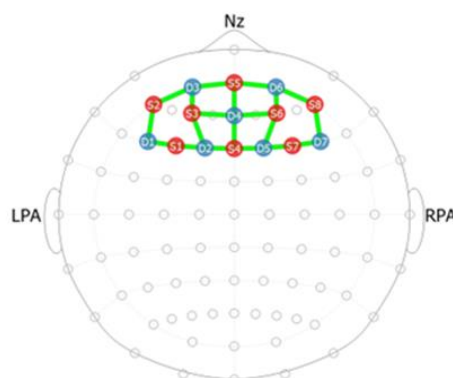
O fNIRS foi a técnica neurofisiológica selecionada para a recolha de dados neste estudo. Trata-se de uma tecnologia não invasiva que permite a medição das alterações nas concentrações de oxi-hemoglobina (HbO) e desoxi-hemoglobina (HbR) e fornece informações detalhadas sobre a atividade cerebral associada às tarefas cognitivas realizadas pelos participantes (Pinti et al., 2020). Quando uma região cerebral está ativada, há um aumento do consumo de oxigénio e um aumento do fluxo sanguíneo local, que reflete a resposta hemodinâmica subjacente à atividade neuronal (Pinti et al., 2020). Uma das principais vantagens do fNIRS é a sua menor sensibilidade a artefatos de movimento, tornando-o uma opção mais robusta para estudos experimentais que envolvem tarefas cognitivas dinâmicas. Para além disso, permite um foco específico em áreas corticais de interesse, o que garante uma análise mais direcionada das regiões associadas ao processamento atencional (Pinti et al., 2020). Assim, quando comparado com outras técnicas de neuroimagem, o fNIRS apresenta um menor custo operacional e maior conforto para os participantes. Outro benefício crucial é a capacidade

de fornecer dados contínuos e em tempo real sobre as concentrações de HbO e HbR, o que possibilita inferências diretas sobre respostas neurovasculares, algo que outras técnicas não permitem. Este recurso torna o fNIRS uma ferramenta valiosa para investigações sobre os efeitos da cafeína na cognição, permitindo a análise da dinâmica cerebral durante a execução de tarefas cognitivas de forma mais natural e acessível.

Para este estudo foi utilizado o NIRx NIRSport 2 (*Nirx Medical Technologies LLC, Berlin, Germany*), um sistema de imagem de onda contínua que registou as respostas hemodinâmicas e a atividade cortical com uma taxa de amostragem de 12,52 Hz. A recolha e o processamento dos dados foram realizados através do *Matlab* (versão 2023b) e o *software Homer3*, que possibilitou a filtragem de artefactos de movimento, a normalização dos dados e o cálculo das variações na concentração de HbO e HbR ao longo do tempo, garantindo uma análise precisa das respostas hemodinâmicas. Os sensores e fontes do fNIRS foram posicionados de acordo com o sistema internacional 10-20 (Koessler et al., 2019), garantindo uma cobertura precisa das áreas cerebrais de interesse. Este sistema é amplamente utilizado em estudos de neuroimagem devido à sua padronização, permitindo um posicionamento confiável dos sensores em áreas específicas do cérebro. Neste caso, o córtex pré-frontal, envolvido no controlo executivo e na regulação dos processos atencionais (Kim et al., 2020). A Figura 1 ilustra a configuração dos canais fNIRS, sendo que abrange cinco regiões diferentes, como o (a) córtex pré-frontal ventrolateral direito (R-VLPFC) (canais s7d5, s7d7, s8d6 e s8d7), o córtex pré-frontal dorsolateral direito (R-DLPFC) (canais s5d6, s6d4, s6d5, s6d6), o córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (L-DLPFC) (canais s3d2, s3d3, s3d4, s5d3), o córtex pré-frontal ventrolateral esquerdo (L-VLPFC) (canais s1d1, s1d2, s2d1, s2d3) e o córtex pré-frontal dorsomedial (dmPFC) (canais s4d2, s4d4, s4d5, s5d4). No total, foram definidos 20 canais.

Figura 1

Representação esquemática da configuração do fNIRS.



Para minimizar o ruído fisiológico e otimizar a qualidade dos dados hemodinâmicos, todas as fontes foram acopladas a canais curtos. Para evitar interferências de luz externa, foi utilizado um *blackout* no ambiente de teste, garantindo que apenas a luz emitida pelo equipamento fNIRS fosse utilizada na medição. Antes das tarefas cognitivas, foi realizada uma calibração para estabelecer uma linha de base da atividade cerebral em repouso. Essa calibração foi essencial para comparar os níveis de oxigenação cerebral antes e após a ingestão de café ou placebo, bem como durante a execução do ANT. A configuração do equipamento incluiu a colocação de uma touca na cabeça dos participantes, equipada com 8 fontes de luz LED e 7 detetores de luz, totalizando 20 canais que cobriram toda a região pré-frontal. Para a recolha de dados, foi utilizado o *software Aurora* fNIRS (versão 2023.1.2), com os dados posteriormente exportados para o *software Homer3* para análise (Huppert et al., 2009). Essa configuração permitiu a recolha de dados de alta qualidade, proporcionando uma análise robusta das alterações hemodinâmicas associadas às tarefas cognitivas e ao impacto do consumo de café.

2.2.3 Teste de Rede de Atenção (ANT)

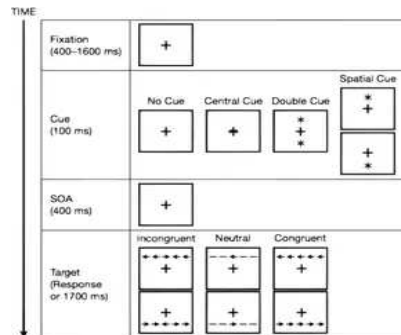
O Teste de Rede de Atenção foi desenvolvido por Fan e colaboradores (2002) com o objetivo de medir as três redes de atenção propostas por Posner e Petersen (1990): estado de alerta, orientação e controlo executivo. Este teste combina a tarefa de flanqueamento desenvolvida por Erikson (1974) e a tarefa de indicação espacial de Posner (1980), consolidando-se como uma ferramenta informatizada amplamente utilizada na investigação sobre a atenção (Arora et al., 2020).

A tarefa consiste na apresentação de uma sequência de estímulos visuais numa tela de computador (Figura 2). O participante deve responder rapidamente à direção da seta central, indicando para que lado está apontada, ao mesmo tempo que ignora os estímulos distratores ao seu redor (Arora et al., 2020). O tempo de reação (TR) e a precisão das respostas são registados para avaliar o desempenho do participante nas três componentes da atenção. Os constituintes da atenção são calculados por subtrações no TR em diferentes condições experimentais, permitindo uma análise detalhada de cada rede atencional (Arora et al., 2020).

Figura 2

Representação do Procedimento ANT: estímulos e condições experimentais.

Fonte: Arora et al., 2020



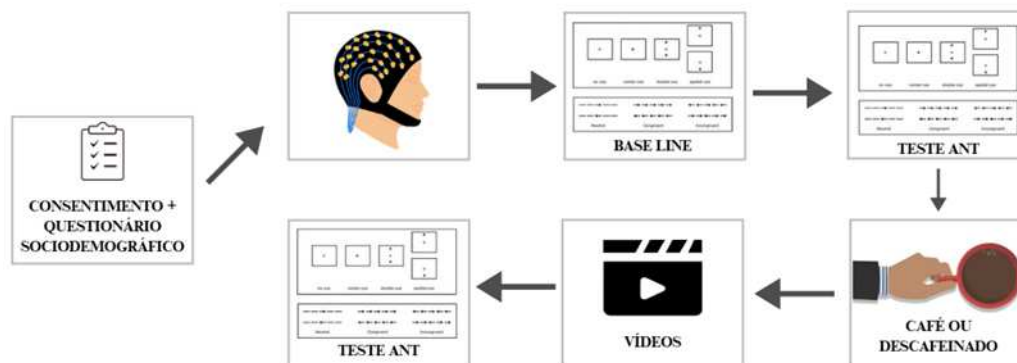
2.3 Procedimento experimental do estudo

A recolha de dados foi realizada no *Human Neurobehavioral Laboratory* (HNL), da Faculdade de Educação e Psicologia da Universidade Católica do Porto (FEP-UCP).

Inicialmente, os participantes foram sujeitos a um processo de triagem para verificar a sua elegibilidade para o estudo. Após a aprovação ética pelo Comité de Ética da FEP-UCP e o desenvolvimento do consentimento informado, os participantes foram informados sobre o estudo e os procedimentos que seriam seguidos. Importa salientar que dias antes da participação laboratorial, os participantes foram orientados a manter o mesmo padrão de consumo de café até à recolha dos dados, para evitar enviesamentos nos resultados. Antes de iniciar as atividades experimentais, foram verificadas as condições do laboratório, como a regulação da temperatura ambiente e a ausência de ruídos externos que pudessem interferir no desempenho dos participantes nas tarefas. Foi disponibilizado aos participantes o Termo de Consentimento Informado que detalhava o processo da recolha de dados e garantia de confidencialidade. Apenas aqueles que consentiram formalmente puderam avançar para as próximas etapas do estudo (Figura 3). Posteriormente, foi aplicado um questionário sociodemográfico, por meio da plataforma *Google Forms*.

Figura 3

Representação esquemática do procedimento laboratorial realizado neste estudo.



Posteriormente a touca (do equipamento de fNIRS) foi colocada na cabeça dos participantes e estes foram instruídos a permanecer relaxados por alguns minutos para se habituarem ao ambiente envolto. Procedeu-se ao início da realização das tarefas propostas computadorizadas. Primeiro foi realizada uma tarefa de linha de base (“baseline”), cujo objetivo foi estabelecer uma referência para a atividade cerebral e fisiológica dos participantes (Figura 3). Seguidamente, o participante realizou uma tarefa, através da aplicação do ANT, utilizado para medir as três redes de atenção (alerta, orientação e controlo executivo). Após terminada a primeira tarefa, foi oferecido ao participante uma bebida café/placebo (descafeinado), de forma aleatória e em condições de duplo-cego, o que garantiu que nem os participantes nem os investigadores soubessem qual substância estava a ser administrada. De seguida, foi concedido um intervalo de 25 minutos para permitir que o café ou placebo produzisse os seus efeitos no organismo. Durante esse período, os participantes assistiram a vídeos neutros, cuidadosamente selecionados para evitar qualquer interferência cognitiva ou emocional que pudesse influenciar os resultados. Após o intervalo, o teste ANT foi repetido com o objetivo de avaliar possíveis mudanças no desempenho das redes de atenção (alerta, orientação e controlo executivo) em resposta ao consumo de café ou placebo. Este procedimento permitiu comparar os efeitos do café sobre a atenção e no controlo executivo, com dados comportamentais (i.e., desempenho no teste ANT) e dados neurofisiológicos (i.e., atividade cerebral medida pelo fNIRS).

Após a conclusão da atividade experimental, foi conduzido um *debriefing* com os participantes para garantir o seu bem-estar e responder a potenciais dúvidas sobre o estudo.

2.4 Análise Estatística

As análises foram realizadas utilizando o *software* estatístico *Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics)*, versão 30.

Inicialmente, aplicou-se o teste de *Shapiro-Wilk* para avaliar a normalidade das variáveis, considerando o tamanho reduzido da amostra ($n=14$), e o teste de *Levene* para verificar a homogeneidade das variâncias. Como algumas variáveis não apresentaram uma distribuição normal, optou-se pelo uso de testes não paramétricos nas análises inferenciais.

Para comparar o desempenho das redes atencionais (alerta, orientação e controlo executivo) antes e após o consumo de café dentro do mesmo grupo, utilizou-se o teste t de amostras emparelhadas para as variáveis que atendiam à normalidade e o teste de *Wilcoxon* para aquelas que não seguiram a normalidade. Para a realização da análise que avaliou possíveis diferenças entre os grupos café e placebo, aplicou-se o teste t para amostras independentes sempre que os pressupostos paramétricos foram atendidos, e o teste de *Mann-Whitney* quando a normalidade não foi verificada.

A análise da atividade cerebral, baseada nos dados obtidos pelo fNIRS, seguiu um procedimento semelhante. Primeiramente, foi utilizado o teste de *Shapiro-Wilk* para determinar a normalidade dos dados em cada canal do fNIRS. Para canais com distribuição normal, foram aplicados o teste t para amostras emparelhadas nas comparações antes e após o consumo de café/placebo e o teste t para amostras independentes nas comparações intergrupos. Para os canais que não seguiram uma distribuição normal, recorreu-se ao teste de *Wilcoxon* nas análises intra-grupo e ao teste de *Mann-Whitney* para comparações intergrupos.

Os efeitos foram considerados estatisticamente significativos para $p < 0.05$, enquanto valores entre $p < 0.10$ foram reportados como tendências estatísticas relevantes. As análises detalhadas e os respetivos resultados estatísticos são apresentados na secção de resultados.

3. Resultados

Primeiramente a amostra foi caracterizada com base nos dados sociodemográficos e hábitos de consumo de café dos participantes. A amostra foi composta por 14 participantes (3 homens e 11 mulheres), com uma média de idades de 24.07 anos ($DP = 1.67$). Todos os participantes eram estudantes universitários e relataram um consumo médio de café de 2 chávenas por dia ($DP = 1.04$).

Antes de realizar as análises comparativas, foi necessário testar a normalidade das variáveis em estudo (estado de alerta, orientação e controlo executivo) através do teste *Shapiro-*

Wilk, dado o tamanho da amostra ($n=14$). Os resultados do teste de *Shapiro-Wilk* indicaram que todas as variáveis seguem uma distribuição normal, exceto a variável orientação no grupo do café ($p < 0,05$). Foi realizado um teste *t* de amostras emparelhadas para avaliar a existência de diferenças intraindividuais entre as dimensões de atenção, alerta e controlo executivo, respetivamente nos grupos café e descafeinado. Para a dimensão orientação, foi necessário a realização do teste de *Wilcoxon*. A Tabela 2 apresenta os graus de liberdade para o teste *t* ($t(6)$) e os valores exatos do teste *W*, com o intuito de garantir a transparência nos resultados estatísticos. Verifica-se que não houve diferenças significativas nas dimensões alerta e orientação em ambos os grupos. Os resultados para a dimensão controlo executivo indicaram a existência de diferenças para o grupo café ($t(6) = 3.035$, $p = 0,011$), enquanto no grupo descafeinado, essa diferença não foi estatisticamente relevante ($t(6) = 1.152$, $p = 0.147$). Estes resultados sugerem que a ingestão de café teve um impacto significativo apenas na dimensão controlo executivo, sem influência nas dimensões alerta e orientação, as quais não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Importa ressaltar que a análise foi feita dentro de cada grupo, e não entre os grupos café e descafeinado, o que pode justificar a ausência de diferenças estatísticas.

Tabela 2

Comparação das Dimensões Alerta, Orientação e Controlo Executivo Dentro dos Grupos Café e Descafeinado

Grupo	Dimensões	Média (DP)	$t(6)$	<i>W</i>	<i>p</i>
Café	Alerta	0.009 (0.047)	0.545	-	0.303
	Controlo executivo	0.037(0.032)	3.035	-	0.011*
	Orientação	0.007(0.043)	-	0.169	0.433
Descafeinado	Alerta	-0.004 (0,020)	-0.548	-	0.302
	Controlo executivo	0.0155 (0.035)	1.152	-	0.147
	Orientação	0.005 (0.023)	0.645	-	0.271

Nota: $p < 0.05^*$

A normalidade das variáveis foi testada previamente com o teste de *Shapiro-Wilk*, tendo sido observada que a dimensão Orientação ($p = 0.046$) não segue uma distribuição normal. Deste modo, um teste t para amostras independentes (Tabela 3) foi conduzido para avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos café e descafeinado, da variação relativa ao consumo nas dimensões alerta e controlo executivo. Como a normalidade não foi atendida para a dimensão orientação ($p < 0.05$, no teste de *Shapiro-Wilk*), um teste *Mann-Whitney* foi realizado.

A tabela 3 apresenta os resultados das comparações das três dimensões atencionais entre os grupos. Os resultados mostraram que a dimensão orientação não revelou diferenças significativas entre os grupos café e descafeinado ($p = 0.620$). A dimensão alerta, não indicou diferenças significativas entre os grupos café e descafeinado ($t(12) = 0.716, p = 0.244$). De igual forma, na dimensão controlo executivo, o teste t não encontrou diferenças significativas entre os grupos café e descafeinado ($t(12) = 1.214, p = 0.124$). Estes resultados sugerem que, ao considerar a variação antes e depois do consumo, não há evidências que o grupo café tenha causado um efeito diferencial em comparação ao grupo descafeinado nas três dimensões analisadas.

Tabela 3

Comparação das Dimensões Alerta, Orientação e Controlo Executivo Entre os Grupos Café e Descafeinado

Dimensões	Média da variação(café) \pm DP	Média da variação (descafeinado) \pm DP	t(12)	U	P
Alerta	0.0098 \pm 0.0478	-0.0042 \pm 0.0203	0.716	-	0.244
Orientação	0.0073 \pm 0.0430	0.0056 \pm 0.0232	-	20.00	0.620
Controlo executivo	0.0378 \pm 0.0329	0.0155 \pm 0.0356	1.214	-	0.124

A ativação hemodinâmica foi analisada em diferentes regiões do córtex pré-frontal para avaliar o impacto do consumo de café e descafeinado. As médias de variação da ativação hemodinâmica (ΔHbO_2) e os desvios padrão (DP) foram calculados antes (ANT1) e após (ANT2) o consumo de cada substância. Para além disso, foram conduzidos testes estatísticos para determinar se as diferenças observadas eram estatisticamente significativas. O teste de *Shapiro-Wilk* foi utilizado para verificar a normalidade dos dados, e, com base nesses

resultados, foram aplicados o teste t para amostras independentes e o teste de *Mann-Whitney* para dados não normativos.

A Tabela 4 apresenta a variação da ativação hemodinâmica (ΔHbO_2) nas regiões pré-frontais antes (ANT1) e após consumo de café (ANT2). Como ilustrado no Gráfico 1, as barras de erro representam o desvio padrão (DP), que indica a variabilidade interindividual das respostas cerebrais. Os resultados indicam que, após a ingestão de café (ANT2), houve uma redução na ativação das regiões R-VLPFC, L-DLPFC e dmPFC, conforme evidenciado pelos valores médios da Tabela 4 e pela diminuição das barras no Gráfico 1. Em contrapartida, observou-se um aumento na ativação das regiões L-VLPFC e R-DLPFC, também visível na tabela e no gráfico. Estas variações podem indicar que o café modulou a ativação dessas regiões, possivelmente influenciando o controle executivo e a regulação cognitiva. No entanto, as barras de erro relativamente grandes indicam uma elevada variabilidade interindividual (Gráfico 1), o que pode sugerir que os efeitos do café podem não ser homogêneos entre os participantes. Para além disso, como as barras de erro de ANT1 e ANT2 sobrepõem-se significativamente, a diferença observada pode ser explicada por flutuações naturais da ativação cerebral, sem necessariamente refletir um efeito direto da cafeína.

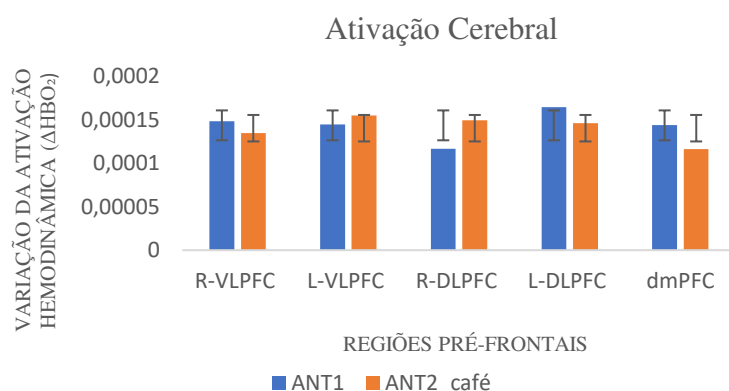
Tabela 4

Média e Desvio Padrão da Variação da Ativação Hemodinâmica (ΔHbO_2) em Cada Região Cerebral Antes (ANT1) e Após (ANT2) o Consumo de Café

Regiões cerebrais	<i>Média da variação (ANT1) \pm DP</i>	<i>Média da variação (ANT2) \pm DP</i>
R-VLPFC	0.000148 \pm 2.09417E-05	0.000134 \pm 2.36867E-05
L-VLPFC	0.000144 \pm 5.26927E-05	0.000154 \pm 7.73869E-05
R-DLPFC	0.000116 \pm 3.75335E-05	0.000149 \pm 3.31923E-05
L-DLPFC	0.000164 \pm 4.44247E-05	0.000145 \pm 2.73181E-05
dmPFC	0.000143 \pm 4.76566E-05	0.000116 \pm 2.48058E-05

Gráfico 1

Variação da Ativação Hemodinâmica (ΔHbO_2) nas Diferentes Regiões Pré-Frontais Antes e Após da Ingestão de Café (ANT1 e ANT2)



A Tabela 5 apresenta a variação da ativação hemodinâmica (ΔHbO_2) nas regiões pré-frontais antes (ANT1) e após o consumo de descafeinado (ANT2). Conforme ilustrado no Gráfico 2, as barras de erro representam o desvio padrão (DP), que indica a variabilidade interindividual das respostas cerebrais. Os dados indicam que, após a ingestão de descafeinado (ANT2), não houve uma redução clara da ativação em nenhuma das regiões analisadas. Pelo contrário, verificou-se uma ligeira estabilidade ou aumento na ativação de todas as áreas do córtex pré-frontal, com valores praticamente idênticos no dmPFC e aumentos discretos no L-VLPFC, R-DLPFC e L-DLPFC. Essas variações sugerem que o consumo de descafeinado não levou a mudanças expressivas na ativação cortical, o que difere do que foi observado no grupo que ingeriu café. Para além disso, como ilustrado no Gráfico 2, as barras de erro relativamente grandes indicam uma elevada variabilidade interindividual, o que pode sugerir que os efeitos do descafeinado podem ser altamente dependentes de fatores individuais.

Assim como observado no grupo do café, a sobreposição significativa das barras de erro entre ANT1 e ANT2 sugere que as diferenças observadas podem ser explicadas por flutuações naturais da ativação cerebral e não por um efeito real do descafeinado.

Tabela 5

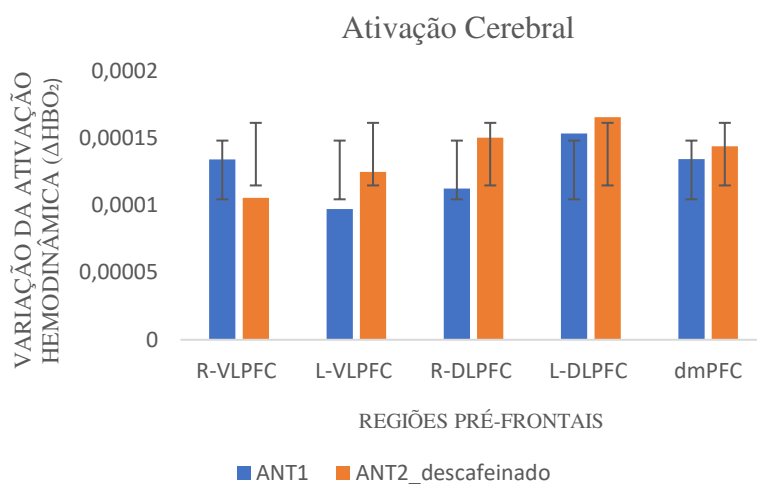
Média e Desvio Padrão da Variação da Ativação Hemodinâmica (ΔHbO_2) em Cada Região Cerebral Antes (ANT1) e Após (ANT2) o Consumo de Descafeinado

Regiões cerebrais	Média da variação (ANT1) \pm DP	Média da variação (ANT2) \pm DP
-------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

R-VLPFC	0.00013 ± 4.93773E-05	0.00010 ± 9.03024E-06
L-VLPFC	0.00097 ± 9.83979E-05	0.000124 ± 5.76027E-05
R-DLPFC	0.000112 ± 3.3463E-05	0.000150 ± 3.46919E-05
L-DLPFC	0.000153 ± 2.88587E-05	0.000165 ± 3.32241E-05
dmPFC	0.000134 ± 4.40551E-05	0.000143 ± 4.40551E-05

Gráfico 2

Variação da Ativação Hemodinâmica (ΔHbO_2) nas Diferentes Regiões Pré-Frontais Antes e Após da Ingestão de Descafeinado (ANT1 e ANT2)



No que diz respeito aos testes estatísticos, verificou-se que os canais s1d1 ($p = 0.024$), s1d2 ($p = 0.048$), pertencentes à região L-VLPFC, os canais s4d4 ($p = 0.011$), s4d5 ($p = 0.004$), s5d4 ($p = 0.022$), pertencentes à região dmPFC, os canais s5d6 ($p = 0.046$) e s6d6 ($p < 0.001$), pertencentes à região R-DLPFC, não seguem uma distribuição normal, conforme evidenciado pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Assim, para estes canais foi utilizado o teste de *Mann-Whitney*, enquanto os restantes canais foram analisados por meio do teste t para amostras emparelhadas. Os resultados demonstraram que nenhuma das variáveis analisadas apresentou um $p < 0.05$, o

que sugere que não houve diferenças estatisticamente significativas na ativação hemodinâmica antes e após o consumo de café em nenhuma das regiões cerebrais analisadas

4. Discussão dos Resultados

O presente estudo investigou o impacto do consumo de café no desempenho das redes atencionais (alerta, orientação e controlo executivo) e analisou as alterações na atividade cerebral, através da monitorização das alterações hemodinâmicas nas regiões do córtex pré-frontal.

Os resultados deste estudo indicam que a ingestão de café tem um impacto significativo no subdomínio controlo executivo, o que corrobora um estudo anterior que demonstrou que a cafeína pode melhorar a eficiência dos mecanismos de controlo executivo ao modular a atividade cerebral em regiões responsáveis pelo planeamento e tomada de decisão (Yuan et al., 2020). Para além disso, um estudo conduzido por Renda e colaboradores (2015), veio demonstrar que a adenosina influencia os efeitos do café no controlo executivo. Estes resultados permitem corroborar Reddy e colaboradores (2024), que verificaram que, o café, um psicoativo que atua como antagonista dos recetores de adenosina, impacta diversos processos mentais, incluindo a atenção, particularmente ao nível do controlo executivo. De igual forma, estudos anteriores indicaram que a cafeína pode otimizar aspetos específicos das funções cognitivas de ordem superior envolvidos na monitorização ativa e na coordenação do comportamento, como é o caso do controlo executivo (Einother & Giesbrecht, 2013; Yuan et al., 2020).

No subdomínio alerta, não foram observadas diferenças significativas nos tempos de reação antes e após o consumo de café e descafeinado. Estes resultados podem sugerir que a ingestão de café pode não ter um impacto relevante na capacidade de atingir e manter um estado de prontidão para responder a estímulos inesperados, uma vez que o RT não foi modificado de forma significativa. Estes resultados são consistentes com o estudo de Beydoun e colaboradores (2014), que indicou que a cafeína não exerce um impacto significativo na atenção sustentada. Este facto pode estar relacionado com a rede de alerta estar fortemente modulada pelo sistema noradrenérgico, e não apenas pelo antagonista dos recetores de adenosina, mecanismo primário de ação da cafeína (Reddy et al., 2024).

No subdomínio orientação, não foram observadas diferenças significativas antes e após o consumo de café e descafeinado. Isto sugere que a cafeína não influenciou de forma relevante a capacidade de direcionar seletivamente a atenção para estímulos específicos no espaço, permitindo um processamento mais eficiente das informações. Este resultado vem contradizer

o estudo de Renda e colaboradores (2015) que verificou efeitos benéficos da cafeína sobre a orientação (Renda et al., 2015). Contudo, essa discrepância pode ser explicada por diferentes fatores, como a tolerância individual à cafeína, frequência de consumo e características da amostra (Dietz et al., 2017; Cornelis et al., 2020; Reddy et al., 2024). Indivíduos habituados ao consumo regular de cafeína podem desenvolver uma adaptação fisiológica, capaz de reduzir os efeitos da substância em determinados processos cognitivos, neste caso ao nível dos subdomínios alerta e orientação (Dietz et al., 2017). Assim, é possível que o impacto da cafeína seja menos expressivo em indivíduos que consomem este psicoativo de forma regular (Dietz et al., 2017). No grupo do descafeinado, os testes estatísticos indicaram que não houve diferenças significativas no desempenho de nenhuma das três redes atencionais antes e após a sua ingestão. Estes resultados reforçam a ideia de que os efeitos observados no grupo do café podem ser atribuídos à presença de cafeína e não a fatores psicológicos, como o efeito placebo (Min et al., 2023).

No que diz respeito à ativação cerebral, a análise detalhada dos canais fNIRS revelou pequenas variações na oxigenação cerebral após o consumo de café, mas essas diferenças não foram estatisticamente significativas. Estes resultados podem sugerir que os efeitos da cafeína podem ser mais evidentes a nível comportamental (melhorias ao nível do controlo executivo) do que a nível neurofisiológico (Yuan et al., 2020). Para além disso, a elevada variabilidade interindividual observada pode indicar que o impacto da cafeína pode ser influenciado por fatores como o consumo habitual, metabolismo e diferenças individuais como resposta à substância (Dietz et al., 2017; Cornelis et al., 2020)). Ullrich e colaboradores (2021) identificaram que os efeitos da cafeína em homens saudáveis foram significativos, mas que a sua generalização para mulheres é limitada devido a fatores hormonais, como o ciclo menstrual. Assim, considerando que a amostra deste estudo foi predominantemente feminina, é possível que diferenças biológicas entre os sexos tenham influenciado a magnitude dos efeitos da cafeína na cognição. Estes resultados não se apresentam consistentes com o estudo de Yuan e colaboradores (2020) que identificou alterações hemodinâmicas aparentes nas regiões VLPFC bilaterais. Tendo em conta a aparência de padrões de ativação diferentes entre os grupos, podemos dizer que a cafeína poderá ter um efeito modulador na atividade cortical, especialmente em regiões associadas ao controlo executivo e à regulação cognitiva.

Este estudo apresentou algumas limitações metodológicas que devem ser consideradas. O tamanho reduzido da amostra pode ter comprometido a robustez estatística dos resultados, tornando-os mais suscetíveis a variações individuais. A elevada variabilidade interindividual, poderá ser um indicador que fatores como hábitos de consumo e ritmo circadiano podem ter

influenciado os efeitos observados. Para além disso, a composição predominantemente feminina da amostra pode ter limitado a generalização dos resultados para a população universitária em geral, uma vez que o metabolismo da cafeína pode ser influenciado por fatores hormonais.

Apesar das limitações, o estudo apresenta importantes vantagens metodológicas que fortalecem a sua relevância. O uso do fNIRS permitiu uma análise detalhada da ativação hemodinâmica no córtex pré-frontal, como medida neurofisiológica robusta para avaliar os efeitos do café na cognição. Esta abordagem permitiu capturar mudanças hemodinâmicas na atividade cerebral de forma não invasiva, como um complemento de avaliações comportamentais tradicionais. A inclusão de diferentes subdomínios da atenção, como alerta, orientação e controlo executivo, possibilitou uma análise mais detalhada do impacto da cafeína nos processos cognitivos, contribuindo para um entendimento mais aprofundado da relação entre consumo de café e desempenho atencional.

5. Conclusão

Estudos recentes reforçam a importância da utilização de técnicas de neuroimagem para a avaliação das funções cognitivas, com o intuito de permitir uma análise mais aprofundada dos mecanismos neuronais subjacentes ao desempenho cognitivo. Neste estudo, foi possível analisar as mudanças no desempenho atencional antes e após a ingestão de café ou placebo, fornecendo uma visão mais detalhada dos efeitos da cafeína em cada rede atencional.

Os resultados indicaram que a cafeína não teve um impacto significativo nas dimensões alerta e orientação, mas promoveu uma melhoria significativa na dimensão controlo executivo. Estes resultados sugerem que o consumo de café pode contribuir para a inibição de respostas automáticas e para a regulação cognitiva, auxiliando na execução de tarefas que exigem maior controlo mental. Contudo, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, o que pode indicar que o efeito da cafeína pode ser modulado por fatores individuais, como a tolerância adquirida e a metabolização individual deste psicoativo.

A análise da ativação cerebral revelou um aumento da ativação no córtex pré-frontal após o consumo de café, embora sem diferenças significativas. Estes resultados sugerem que, embora a cafeína possa modular a ativação cortical associada ao controlo executivo, o seu impacto pode variar consideravelmente entre indivíduos, o que reforça a necessidade de uma abordagem mais personalizada na compreensão dos efeitos da cafeína na cognição.

Dado o carácter exploratório deste estudo, pesquisas futuras devem considerar amostras mais amplas e diversificadas, além de testar diferentes dosagens e horários de ingestão para

avaliar possíveis variações nos efeitos do café. Para além disso, a integração do fNIRS com outras técnicas complementares, como o EDA, pode representar uma mais-valia para aprofundar a compreensão dos mecanismos fisiológicos subjacentes à influência da cafeína no desempenho cognitivo.

Para finalizar, este estudo contribui para a literatura ao demonstrar que a cafeína pode influenciar o controlo executivo, mas os seus efeitos na ativação cerebral ainda necessitam de investigações mais robustas. Os resultados reforçam a necessidade de metodologias complementares e de um desenho experimental mais refinado, a fim de compreender melhor a complexidade dos seus efeitos na cognição humana.

6. Referências Bibliográficas

- Ajjimaporn, A., Noppongsakit, P., Ramyarangsi, P., Siripornpanich, V., & Chaunchaiyakul, R. (2022). A low- dose of caffeine suppresses EEG alpha power and improves working memory in healthy University males. *Physiology & Behavior*, *256*, 113955. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113955>
- Arora, S., Lawrence, M. A., & Klein, R. M. (2020). The Attention Network Test Database: ADHD and Cross-Cultural Applications. *Frontiers in Psychology*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00388>
- Beydoun, M. A., Gamaldo, A. A., Beydoun, H. A., Tanaka, T., Tucker, K. L., Talegawkar, S. A., Ferrucci, L., & Zonderman, A. B. (2014). Caffeine and Alcohol Intakes and Overall Nutrient Adequacy Are Associated with Longitudinal Cognitive Performance among U.S. Adults. *The Journal of Nutrition*, *144*(6), 890–901. <https://doi.org/10.3945/jn.113.189027>
- Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, *59*(1), 125–139.
- Castro, S., Cunha, L., & Martins, L. (2000). Teste Stroop Neuropsicológico em Português. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/9191/2/44478.pdf>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience* *3*(3), 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Cordero, A., Seisdedos, N., González, M., & De la Cruz, V. (2013). Toulouse-Piéron revisado - Prueba perceptiva y de atención. Madrid, España: *TEA Ediciones*.
- Coull, J. T., Frith, C. D., Büchel, C., & Nobre, A. C. (1998). Monitoring for target objects: activation of right frontal and parietal cortices with increasing time on task. *Neuropsychologia*, *36*(11), 1303-1313.
- Cornelis, M. C., Weintraub, S., & Morris, M. C. (2020). Caffeinated Coffee and Tea Consumption, Genetic Variation and Cognitive Function in the UK Biobank. *The Journal of Nutrition*, *150*(8), 2164–2174. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa147>

- Dietz, C., Dekker, M., & Piqueras-Fiszman, B. (2017). An intervention study on the effect of matcha tea, in drink and snack bar formats, on mood and cognitive performance. *Food Research International*, 99(1), 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.002>
- do Amaral, J. R. (1967). O teste de barragem de Toulouse e Piéron (na medição e diagnóstico da atenção): Elementos de aferição para a população portuguesa. *Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian*
- Einöther, S. J. L., & Giesbrecht, T. (2012). Caffeine as an attention enhancer: Reviewing existing assumptions. *Psychopharmacology*, 225(2), 251–274. <https://doi.org/10.1007/s00213-012-2917-4>
- Esterman, M., & Rothlein, D. (2019). Models of sustained attention. *Current Opinion in Psychology* 29, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.005>
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 340–347. <https://doi.org/10.1162/089892902317361886>
- Fernández-Castillo, A., & Caurcel, M. J. (2014). State test-anxiety, selective attention and concentration in university students. *International Journal of Psychology*, 50(4), 265–271. <https://doi.org/10.1002/ijop.12092>
- Greenberg, L., Holder, C., Ma, C., Kindschi, T., & Dupuy. (2022). The TOVA Company. <https://files.tovatest.com/installers/development/manuals/9/Clinical%20Manual.pdf>
- Grosso, G., Godos, J., Galvano, F., & Giovannucci, E. L. (2017). Coffee, Caffeine, and Health Outcomes: An Umbrella Review. *Annual Review of Nutrition*, 37(1), 131–156. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064941>
- Hameleers, P. A. H. M., Van Boxtel, M. P. J., Hogervorst, E., Riedel, W. J., Houx, P. J., Buntinx, F., & Jolles, J. (2000). Habitual caffeine consumption and its relation to memory, attention, planning capacity and psychomotor performance across multiple age groups. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*, 15(8), 573–581. <https://doi.org/10.1002/hup.218>

- Harvanko, A. M., Derbyshire, K. L., Schreiber, L. R. N., & Grant, J. E. (2015). The effect of self-regulated caffeine use on cognition in young adults. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*, 30(2), 123–130. <https://doi.org/10.1002/hup.2464>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of behavioral research*. Wadsworth/Thomson Learning.
- Klevebrant, L., & Frick, A. (2022). Effects of caffeine on anxiety and panic attacks in patients with panic disorder: a systematic review and meta-analysis. *General Hospital Psychiatry*, 74(74), 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsy.2021.11.005>
- Lal, S. K. L., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 55(3), 173–194. [https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(00)00085-5)
- Lucas, Lopes, E., Santos, Lopes, L., Da, F., Pereira, C., & Oliveira, C. (2017). Artigo Original Avaliação neuropsicológica de universitários com queixas de desatenção: um estudo de caso Neuropsychological evaluation of college students with inattention complaints: a case study. <http://periodicos.estacio.br/index.php/e-revistafacitec/article/viewFile/5234/47964824>
- Mahoney, C. R., Giles, G. E., Marriott, B. P., Judelson, D. A., Glickman, E. L., Geiselman, P. J., & Lieberman, H. R. (2018). Intake of caffeine from all sources and reasons for use by college students. *Clinical Nutrition*, 38(2). <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.04.004>
- Martins, C. (2011). Manual de análise de dados quantitativos com recurso ao IBM SPSS: Saber decidir, fazer, interpretar e redigir. *Psiquilibrios*
- McLellan, T. M., Caldwell, J. A., & Lieberman, H. R. (2016). A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 71(1), 294–312. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.09.001>
- Min, J., Cao, Z., Cui, L., Li, F., Lu, Z., Hou, Y., Yang, H., Wang, X., & Xu, C. (2023). The association between coffee consumption and risk of incident depression and anxiety: Exploring the benefits of moderate intake. *Psychiatry Research*, 326, 115307. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2023.115307>

- O'Shea, K., Dix, S., Bode, C., McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2017). Tests of variables of attention: An evaluation of the effects of test duration and task demands on the sustained attention of children and adolescents. *Journal of Attention Disorders*, 21(10), 896-908. <https://doi.org/10.1177/1087054715587120>
- Pierri, G., & Schettini, R. (2023). Advances in MRI: Peptide and peptidomimetic-based contrast agents. *Journal of Peptide Science*, 30(3). <https://doi.org/10.1002/psc.3544>
- Pinti, P., Tachtsidis, I., Hamilton, A., Hirsch, J., Aichelburg, C., Gilbert, S., & Burgess, P. W. (2018b) (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 5-29. <https://doi.org/10.1111/nyas.13948>
- Pinti, P., Tachtsidis, I., Hamilton, A., Hirsch, J., Aichelburg, C., Gilbert, S., & Burgess, P. W. (2020). The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 5-29. <https://doi.org/10.1111/nyas.13948>
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 25-42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Ranjan, R., & Prasad, T. (2017). A review of existing psychological stress models and a suggested new approach. *Research Journal of Social Science and Management*, 7, 7-18.
- Reddy, V. S., Shiva, S., Manikantan, S., & Ramakrishna, S. (2024). Pharmacology of Caffeine and Its Effects on the Human Body. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 10, 100138. <https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100138>
- Rodrigues, P. J. da R. (2013, October 1). Vulnerabilidade ao stress, qualidade do sono, fadiga e consumo de substâncias em estudantes universitários. *Comum.rcaap.pt*. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/6140>
- Rogers, P. J., Heatherley, S. V., Hayward, R. C., Seers, H. E., Hill, J., & Kane, M. (2005). Effects of caffeine and caffeine withdrawal on mood and cognitive performance degraded by sleep restriction. *Psychopharmacology*, 179(4), 742-752. <https://doi.org/10.1007/s00213-004-2097-y>

- Ryan, L., Hatfield, C., & Hofstetter, M. (2002). Caffeine Reduces Time-of-Day Effects on Memory Performance in Older Adults. *Psychological Science*, 13(1), 68–71. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00412>
- Rueda, M. R., Moyano, S., & Rico-Picó, J. (2021). Attention: The grounds of self-regulated cognition. *WIREs Cognitive Science*. <https://doi.org/10.1002/wcs.1582>
- Ruxton, C. H. S. (2008). The impact of caffeine on mood, cognitive function, performance and hydration: a review of benefits and risks. *Nutrition Bulletin*, 33(1), 15–25. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2007.00665.x>
- Scherer, L. C., Kahlaoui, K., & Ansaldo, A. I. (2009). Espectrografia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS): a técnica e sua aplicação em estudos da linguagem. *Neuropsicologia Latinoamericana*, 1(1), 57–62. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2075-94792009000100007
- Teplan, M. (2002). FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT. MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, 2(2). <http://www.edumed.org.br/cursos/neurociencia/MethodsEEGMeasurement.pdf>
- Ullrich, S., de Vries, Y. C., Kühn, S., Repantis, D., Dresler, M., & Ohla, K. (2015). Feeling smart: Effects of caffeine and glucose on cognition, mood and self-judgment. *Physiology & Behavior*, 151, 629–637. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.028>
- Velasco, P. M. (2023). Dependência química: Causas, consequência e tratamento. In Google Books. Digitaliza Conteúdo. <https://books.google.com.br/books?hl=pt->
- Yin, J., Yu, D., Xu, F., Zhao, L., Gong, R., Yang, J., & Liu, Y. (2023). Does the timing of intake matter? Association between caffeine intake and depression: Evidence from the National Health and Nutrition Examination Survey. *Journal of Affective Disorders*, 340, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.07.115>
- Yuan, Y., Li, G., Ren, H., & Chen, W. (2020). Caffeine Effect on Cognitive Function during a Stroop Task: fNIRS Study. *Neural Plasticity*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/8833134>

- Sargent, A., Watson, J., Topoglu, Y., Ye, H., Suri, R., & Ayaz, H. (2020). Impact of Tea and Coffee Consumption on Cognitive Performance: An fNIRS and EDA Study. *Applied Sciences*, 10(7), 2390. <https://doi.org/10.3390/app10072390>
- Shabir, A., Hooton, A., Tallis, J., & F. Higgins, M. (2018). The Influence of Caffeine Expectancies on Sport, Exercise, and Cognitive Performance. *Nutrients*, 10(10), 1528. <https://doi.org/10.3390/nu10101528>
- Wortman, A. K., & Corey R.J. Stephenson. (2023). EDA photochemistry: Mechanistic investigations and future opportunities. *Chem*, 9(9), 2390–2415. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2023.06.013>

Anexos

Anexo I- Consentimento Informado



DECLARAÇÃO DO CONSENTIMENTO INFORMADO

O presente termo de consentimento informado refere-se ao estudo intitulado “*Os Efeitos do Café na Performance Cognitiva ao Nível da Atenção, em Estudantes Universitários: Fnirs*” conduzido por investigadores associados ao *Human Neurobehavioral Laboratório* (HNL) da Faculdade de Educação e Psicologia da Universidade Católica Portuguesa - Porto (FEP-UCP). O objetivo deste estudo é analisar os possíveis efeitos do consumo de café na atenção em estudantes universitários, utilizando a técnica de neuroimagem funcional por infravermelho próximo (*Functional Near-Infrared Spectroscopy – fNIRS*).

A participação no estudo envolve duas fases. Na primeira, os participantes preencherão um questionário sobre dados sociodemográficos, padrões de consumo de café, hábitos de higiene do sono e uma avaliação geral da atenção. Na segunda fase, os participantes deslocar-se-ão ao laboratório HNL para realizar o *Attention Network Test* (ANT), um teste que avalia as três componentes distintas da atenção (alerta, orientação e controlo executivo). Durante a realização desta tarefa, a atividade cerebral será monitorizada através do fNIRS, em condições com ou sem consumo de café. Importa destacar que o fNIRS é uma técnica de neuroimagem não invasiva e segura, baseada na utilização de luz infravermelha próxima para monitorizar a atividade cerebral.

A informação recolhida em Portugal e tratada pela FEP-UCP no âmbito deste estudo será estritamente confidencial, sendo assegurado o anonimato de todos os participantes do estudo. Informamos que, dado o caráter de anonimato deste estudo, não será possível aos participantes exercer o direito de acesso e retificação dos dados ou requerer a sua eliminação. Os dados recolhidos serão usados apenas para fins de investigação e terão acesso aos mesmos somente os investigadores deste estudo. Os dados de identificação e instrumentos dos participantes serão eliminados após o final do estudo.

A participação no estudo é totalmente voluntária, podendo o participante desistir a qualquer momento, sem que isso envolva qualquer prejuízo para o mesmo. Não está prevista qualquer despesa ou forma de remuneração aos participantes e não foram identificados quaisquer riscos que possam advir da participação neste estudo.

CONSENTIMENTO INFORMADO

Eu _____ (nome completo) declaro ter lido e compreendido este documento e a informação que foi fornecida acerca da investigação. Tomei conhecimento de que a informação ou explicação que me foi prestada versou os objetivos, os métodos, os benefícios previstos, os riscos potenciais e eventual desconforto que possa advir do presente estudo. Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências.

Desta forma, aceito participar neste estudo e consinto que me sejam aplicados os instrumentos propostos pelos investigadores e autorizo que os dados sejam apresentados nas garantias de confidencialidade e anonimato, sejam disseminados através de apresentações públicas, congressos científicos e publicações.

Assinatura do Participante:

Data:/...../.....

Para esclarecimento de qualquer dúvida, pedido de mais informações sobre o presente estudo ou dúvidas sobre a informação presente neste documento, poderá contactar o investigador principal associado a este estudo através do seguinte contacto:

Nome: Vitória Pereira

E-mail: s-vcapereira@ucp.pt

Anexo II- Questionário Sociodemográfico



Efeitos do Café, em Estudantes Universitários: Questionário

B I U ☰ ☹

Se és estudante universitário e consumes café regularmente, convidamos-te a preencher o nosso questionário para nos ajudares a entender os teus hábitos de consumo de café.

Por favor, preencha o formulário com as informações solicitadas.

Agradecemos a tua contribuição para a nossa investigação!

Idade *

- 18-20 anos
- 21-23 anos
- 24-26 anos
- 27-29 anos

Género *

- Feminino
- Masculino
- Outros...

Nacionalidade *

Texto de resposta curta

Neste momento, encontra-se a frequentar: *

- Licenciatura
- Mestrado
- Doutoramento

Apresenta alguma condição de saúde (ex: a nível visual, auditivo ou cardíaco)? Se sim, qual? *

Texto de resposta curta

Atualmente tem acompanhamento psiquiátrico e/ou psicológico? *

- Sim
- Não

Com que frequência consome café, de forma diária? *

- 1 vez por dia
- 2 vezes por dia
- 3 vezes por dia
- 4 vezes por dia ou mais.

Com que objetivo costuma consumir café no seu dia-a-dia? *

- Para aumentar o estado de alerta
- Pelo sabor
- Como parte integrante de momentos sociais
- Combater o cansaço ou a sonolência
- Para aumentar o desempenho cognitivo

Em que momentos do dia consome café? *

- Manhã
- Tarde
- Noite
- Durante as várias fases do dia

Qual o tipo de café que consome com mais frequência? *

- Cápsula
- Solúvel
- Moído
- Em grão
- Pastilha

Quais os efeitos que percebe após consumir café? *

- Aumento de energia
- Nervosismo
- Palpitações
- Alterações de humor
- Outros...

Outro

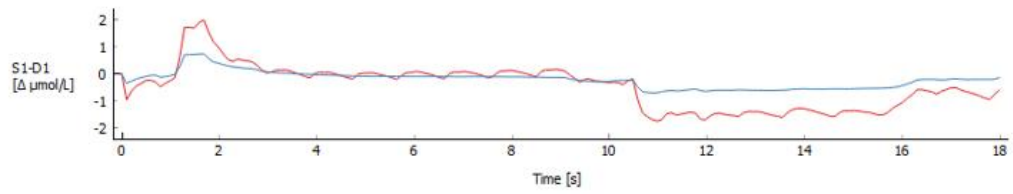
Texto de resposta curta

Sente que desenvolveu tolerância à cafeína? *

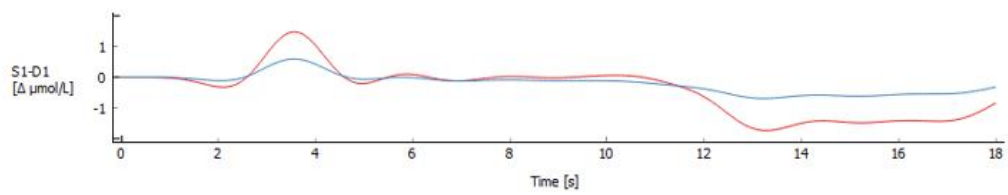
- Sim
- Não

Anexo III - Sinal obtido a partir do fNIRS

Sem processamento



Com processamento



Article Review

Coffee and Cognitive Performance: A Review of Evidence, Methodologies, and Future Directions

Vitória Pereira ¹, Patrícia Oliveira-Silva ¹, Patrícia Batista ^{1*}

¹ Universidade Católica Portuguesa, Research Centre for Human Development, Human Neurobehavioral Laboratory, Rua de D. Inês Botelho, 1327, 4169-005 Porto, Portugal

* Correspondence: pbatista@uicp.pt (P.B.)

Abstract: Coffee is one of the most popular beverages worldwide. Its ability to boost energy and its flavor are some of the main reasons for its consumption. There is a lot of discussion about its potential to improve cognitive function, but few clinical studies provide conclusive evidence. This review aims to explore the relationship between coffee consumption and cognitive performance, memory, and attention by analyzing quantitative studies and their assessment measures. In this systematic review, we used the terms “coffee”, “caffeine”, “cognitive performance”, “attention”, “memory”, and “participants” in searches conducted on PubMed and Science Direct through March 2024. A total of 20 studies were included in this review, according to the inclusion criteria. Several studies have demonstrated that coffee/caffeine can enhance alertness and cognitive vigilance, improving performance in simple reaction and choice tasks, as well as overall cognition. However, consensus is lacking, and further research is necessary. Additionally, this review proposes that integrating neuropsychological and neurophysiological measures can enhance the precision and reliability of research findings in this field.

Keywords: Coffee; Caffeine; Cognitive performance; Memory; Attention; Quantitative data; Neuropsychological measures.

1. Introduction

Coffee is one of the most common and favourite beverages in the world, with approximately 80% of the global population consuming coffee or other caffeinated products daily [1,2]. The literature encompasses various studies on coffee from economic (coffee markets, consumer purchasing behaviour, quantified consumption), social (consumption habits, culture environment), and health perspectives (impact on health and well-being, perceptions of the consumption) [2]. In recent years, there has been increased interest in understanding the impact of coffee consumption on cognitive functions, particularly memory and attention. Given caffeine’s role as a psychoactive compound that acts as an antagonist of adenosine receptors, its potential to influence mental processes such as attention, learning, and memory is widely acknowledged. This review hypothesizes that coffee, as a bioactive product, significantly impacts cognitive performance, particularly memory and attention. Furthermore, we propose that integrating neuropsychological and neurophysiological measures, such as EEG and fMRI, can enhance the precision and reliability of research findings in this field.

Coffee contains several bioactive compounds that confer excellent biological properties, such as anti-inflammatory, antioxidant, antihypertensive, and anticancer effects, which have shown promising results in several pathologies [3,4]. Nutritional studies highlight the beneficial role of coffee in cancer, cardiovascular, diabetes diseases, as well as brain disorders and cognitive performance [4,5]. Over the years, scientific research has demonstrated the impact of coffee on physical and mental health [2,3,5-7].

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname
Lastname

Received: date
Revised: date
Accepted: date
Published: date



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Nowadays, there is an increased interest in studying coffee's impact on mental disorders. Given the known relationship between coffee and brain/nervous system, its potential effect on brain disorders is anticipated. Caffeine, a psychoactive compound, is the most studied substance in coffee due to its action as an antagonist of adenosine receptors [7,8]. Several studies indicate that caffeine (depending on the dose) affects various mental processes such as attention, learning, memory, and appraisal [9]. However, many studies present inconclusive results regarding caffeine's effects on cognition [9]. Most coffee studies are based on research about consumption perceptions, relying on self-report questionnaires, observational designs, and qualitative assessments of cognitive function. While this information is important, quantitative studies that report dosages, and their physiological and neurological impacts are also necessary. Additionally, inconsistencies in caffeine dosage measurement, small sample sizes, and the absence of neurophysiological tools (e.g., EEG, fMRI) limited the ability to draw robust conclusions. These methodological shortcomings, combined with uncontrolled confounding variables like age, habitual caffeine use, and genetics, contributed to the inconclusive results in literature. Despite decades of research, few papers report quantitative studies.

New studies with more precise methodologies are necessary. Today's neurosciences can significantly contribute to the field by incorporating neuropsychological measures, enhancing our understanding of coffee consumption's impact on cognitive performance. So, this review summarizes studies using quantitative data to assess cognitive performance, aiming to understand the research methodologies and emphasizing the relevance of adopting neuropsychophysiological measures. This review hypothesizes that coffee, as a bioactive product, has a significant impact on cognitive performance, memory and attention, and the use of neuropsychological measures can provide more precise and reliable data.

2. Methodology

This study aimed to analyze research on coffee or caffeine consumption related to cognitive, memory, and attention performance. The systematic review was conducted from June to September 2024 using PubMed and Science Direct. Several descriptors were used: "coffee OR caffeine" AND "consumption" OR "cognitive performance OR memory OR attention" AND "participants".

The review followed the PRISMA criteria for preferred reporting items in systematic reviews and meta-analysis (PRISMA) [10,11]. The process flow chart, adapted from PRISMA guidelines, is presented in Figure 1. The screening of the articles following eligibility criteria:

a) Inclusion: research articles; clinical trials; studies with objective measurement of cognitive, memory and attention performance; and full-text original research studies published in English.

b) Exclusion: studies outside the scope of the subject (e.g., specific samples like football players, samples with associated pathologies); qualitative studies (e.g., analysis by questionnaires without consumption of drink); other types of publications (e.g., conference abstracts, short communications, books and documents, reviews); publications in languages other than English; and studies whose full texts were not available.

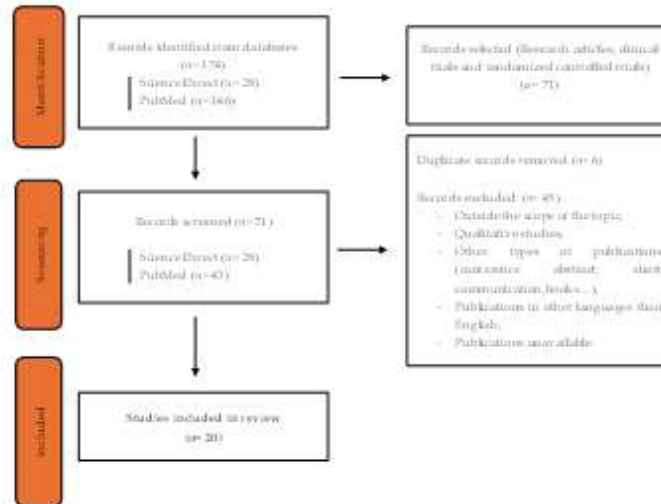


Figure 1. PRISMA Flow Chart (study selection methodology).

The collected data were compiled and analyzed based on the year of publication, authors, participants, coffee/caffeine consumption, type of study, measures, objectives, and main results. Bibliographic references were managed using the EndNote bibliographic referencing software.

3. Results

This systematic review included 183 publications from international journals indexed in the digital databases used for this search. After screening, duplicates and studies that met exclusion criteria were removed. Consequently, 20 research articles met the defined inclusion criteria, as shown in the PRISMA flow diagram presented in Figure 1. A summary of the most important characteristics of these articles is presented in Table 1 (more information was included in supplementary document Supl 1).

Table 1. Summary characteristics of the included studies, using the descriptors: (coffee OR caffeine) AND consumption AND (Cognitive performance OR memory OR attention) AND participants.

Year	Participants	Caffeine intake	Type of study	Measurements	Brain impact	Main results	Reference
2024	n= 25	120mg 240mg	double-blind, randomized, placebo-controlled	- neurocognitive test battery; - motor-cognitive tests; - POMS, ECG.	mood, cognitive and motor-cognitive performance	- Lower doses of caffeine seem to optimize cognitive and mood outcomes, increased perceived energy, and enhanced both motor and psychomotor speed. Higher doses may be needed to further enhance motor-cognitive performance.	[12]
	n= 99	66.2mg	double-blind, randomized, placebo-controlled	- neurocognitive test battery; - MMSE, MoCA, ADCS-MCI-ADL, ADAS, RBANS, PSQI, ST, SAT, CPT, FOET, POMS.	cognitive function and sleep	- Matcha consumption significantly improved social acuity score, and PSQI scores indicated a trend toward improvement. - Regular matcha consumption could enhance emotional perception and sleep quality in older adults with mild cognitive decline.	[13]
2022	n= 25	50mg	double-blind, randomized	- EEG; - cognitive tests: visual scanning, visuomotor processing speed, working memory and inhibition, digit span Forwards test.	cognitive function: working memory and attention	- caffeine significantly decrease in the percentage changes from baseline of alpha wave activity over frontal, central, and occipital areas after consumption. - improvement of cognitive function on working memory assessed	[14]
2021	n= 25	100mg	double-blind, randomized, placebo-controlled	- CCQ; - Tasks: single and dual.	cognitive and motor and performance	- without caffeine, participants showed difficulties managing situations in which a cognitive and a motor task performed concurrently. - after CC no significant difference in the motor performance between single and dual tasks conditions was observed.	[15]
	n= 42	7.5mg	double-blind, randomized, placebo-controlled	- VAS; cognitive function test; - Uchida-Kraepelin test; - Hematologic tests.	attentional function	- matcha did not affect participants' performance or mood under stress, but it may have reduced the decline in attentional function caused by mild stress.	[16]

Beverages 2023, 9, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

www.mdpi.com/journal/beverages

	n= 31	0mg/kg, 1mg/kg, 3mg/kg	double-blind, placebo-controlled	- CCQ; - ESS-CHAD; - IP-CFT.	attentional function	- caffeine acutely and dose-dependently improves sustained attention.	[17]
2020	n= 502 633	-1 or more cups of coffee	Cross-sectional	- questionnaires; - cognitive function tests: Prospective memory, fluid intelligence tests, Symbol Digit Substitution test, Trail Making tests); - genetic data by UK Biobank.	cognitive function	- the results provide little support for the habitual consumption of regular coffee or tea and caffeine in improving cognitive function.	[18]
	n= 88	200mg	double-blind, randomized, placebo-controlled	- Questionnaires: mood, CCQ; - ATTA; CRA; Keep Track.	creative thinking and problem-solving abilities	- participants who consumed 200mg of caffeine showed significantly better problem-solving abilities compared to those in the placebo group. - caffeine had no significant effects on creative generation or on working memory.	[19]
2015	n= 20	3mg/kg	double-blind, randomized	- VAS; CAVE; - Dynavision D2 Visuomotor Training Device; - Blood pressure, heart rate, respiratory rate, and physiological and metabolic measures.	energy, focus and alertness functions	- coffee consumption significantly improved reaction time and increased feelings of energy in habitual caffeine users, and coffee led to significantly faster times compared to decaffeinated coffee. - no significant benefits were observed in cognitive function measures.	[20]
	n= 55	200mg	double-blind, placebo-controlled	- CCQ; - Battery of Cognitive tests: VAS, ZVT, PANAS scales, BOMAT, Reverse Digit Span Test, BackSpan traditional and highest, FAIR tests.	cognitive performance	- results showed that neither caffeine nor glucose significantly affect cognitive performance compared to placebo, water, or no treatment in a multi-task setting.	[21]
2014	n= 3047	0mg/d, 300mg/d	longitudinal study	- cognitive tests: MMSE, BVRT, CVLT, VFT-C, Trails Making tests, Diets Scan Forward and Backward	cognitive performance	- potential benefits of caffeine intake and nutrient adequacy on global cognition, verbal memory, and attention, with mixed effects of alcohol on letter fluency, attention and working memory.	[22]

	<i>n</i> = 20	200mg l	single-blind caffeine/placebo experiment	- MRI: motor and visual tasks.	functional connectivity	- caffeine decreased functional connectivity in the motor/visual cortex, but its effects on DMN varied among subjects; - after caffeine ingestion, the DMN involved more attentional networks, and more extrastriate areas were integrated into the functional connectivity of the visual cortex's functional connectivity.	[23]
	<i>n</i> = 60	without	double-blind, randomized, placebo-controlled	- EEG; - Neuropsychological tasks: CPT, Austin Maze, Go/No-Go Task, Digit Symbol Substitution, Trail Making Test.	neurocognitive and electrophysiological effects	- the beverage significantly improved sustained attention, cognitive effort and reaction times, and overall enhanced brain activation.	[24]
2013	<i>n</i> = 19	80mg	double-blind, placebo-controlled	- stimulus degradation tasks	behavioural performance (specifically reaction time)	- caffeine showed positive effects in the stimulus degradation task, with significantly faster reaction times compared to the placebo.	[25]
2012	<i>n</i> = 48	0mg, 200mg	double-blind, randomized, (mixed design)	- Questionnaires: TCQ, WQ; - Cognitive tasks: ANT, NB, RTT; - Measures of arousal: salivary cortisol, heart rate.	cognitive performance and mood	- Caffeine improved executive control and working memory, tension and vigor, and reduced simple and choice reaction time, and feelings of fatigue.	[26]
2011	<i>n</i> = 63	0mg/d, 100mg/d	double-blind, placebo-controlled	- Questionnaires: CCQ, MEQ; - TOVA; - WAIS.	attentional performance	- caffeine consumption led to significantly faster response times, but only for participants who typically consumed little caffeine.	[27]
2008	<i>n</i> = 48	250mg	double-blind, randomized, placebo-controlled	- MAPS; - STAT; - Depression, Anxiety and Stress Scales; - Visual probe and facial expression discrimination tasks. - Blood pressure and heart rate.	behavioral and cognitive performance	- caffeine increased self-rated alertness, jitteriness, and blood pressure.	[28]

2007	<i>n</i> = 49	400mg	double-blind, randomized placebo-controlled	- Questionnaires; - Cognitive tasks: reaction time, visual processing, mood measures.	performance and mood	- high consumers showed significantly faster simple and choice reaction times after caffeine compared to placebo, and they more likely to report positive effects of caffeine.	[29]
2006	<i>n</i> = 102	0, 50, 150, or 450mg	double blind, placebo-controlled	- Physiological measures: heart rate, blood pressure, saliva samples; - Subjective measures: VAS, POMS, ARCI, DEQ; - Behavioral tasks: DSST, Digit Span, Vigilance Task, ST.	behavioral and cognitive performance	- caffeine significantly increased blood pressure, produced feelings of arousal, positive mood, and decreased reaction times in a vigilance task, but impaired performance on a memory task.	[30]
2002	<i>n</i> = 24	200mg	double-blind, placebo-controlled	- saliva samples; - visual analogue mood scales; - performance: dual tracking/detection task, reaction time task, attention task.	cognitive performance	- caffeine increased alertness and anxiety and improved performance on simple and choice reactive tasks, a cognitive vigilance task, a task requiring sustained response and a dual task involving tracking and target detection.	[31]

Abbreviations: POMS - Profile of Mood States; ECG - electrocardiography; MMSE - Mini Mental State Examination; MoCA - Montreal Cognitive Assessment; ADCS-MCI-ADL - Alzheimer's Disease Cooperative Study Activity of Daily Living; ADAS - Alzheimer's Disease Assessment Scale-Cognitive Subscale; RBANS - Repeatable Battery for the Assessment of Neuropsychological Status; PSQI - Pittsburgh Sleep Quality Index; ST - Stroop Test; SAT - Shifting Attention Test; CPT - Continuous Performance Test; POET - Perception Of Emotions Test; EEG - electroencephalography; STA - single-task assessments; DT - dual task; CCQ - Coffee Consumption Questionnaire; CC - caffeine consumption; VAS - visual analogue scale; ESS-CHAD - Epworth Sleepiness Scale for Children and Adolescents; ATTA - Abbreviated Torrance Test for Adults; CRA - Compound Remote Associates; CAVE - Cave Automatic Virtual Environment; ZVT - Zahlenverbindungstest; PANAS scales - Positive and Negative Affect Schedule; BOMAT - Bochum matrices test; MMSE - Mini Mental State Examination; BVRT - Benton Visual Retention Test; CVLT - California Verbal Learning Test; VFT-C - Verbal Fluency Tests; MRI - functional imaging; DMN - Default Mode Network; CPT - Continuous Performance Task; TCQ - Typical Consumption Questionnaire; WQ - Withdrawal Questionnaire; ANT - Attention Network Test; NB - N-back task; RTT - Reaction Time Task; MEQ - Morningness-Eveningness Questionnaire; TOVA - Test of Variables of Attention; WAIS-IV - Wechsler Adult Intelligent Scale; MAPS - Mood, Alertness and Physical Symptoms questionnaire; STAT - State-Trait Anxiety Inventory; ARCI - Addiction Centre Research Inventory; DEQ - Drug Effects Questionnaire; DSST - Digit Symbol Substitution Test.

121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131

This review encompasses various studies examining the impact of coffee or caffeine consumption on cognitive performance, memory, and attention. The studies span different participant groups, caffeine dosages, and methodologies, providing a comprehensive overview of the current state of research in this area.

Literature includes different types of studies, such as longitudinal and cross-sectional studies. For example, Cornelis and collaborators (2020) conducted a cross-sectional study with a large sample from the UK Biobank. They found that regular coffee consumption was associated with decreased performance in several cognitive tests, indicating potential long-term effects of habitual coffee consumption [18]. On the other hand, Laatar and colleagues (2014) evaluated the long-term effects of caffeine and nutrient adequacy on cognitive performance in older adults, finding mixed results [15].

Most of the studies presented in this review were double-blind, randomized, and placebo-controlled (Table 1). These studies included participants of different ages and highlighted the dose-dependent effects of coffee consumption. For example, Helwig and collaborators (2024) examined the dose-dependent effects of caffeine on mood, cognitive, and motor-cognitive performance. Lower doses (600 mg) improved mood and reduced fatigue, while higher doses (1200 mg) enhanced motor-cognitive performance but also increased jitteriness [12]. Additionally, Ajjimaporn and colleagues (2022) found that a low dose of caffeine (50 mg) in the morning significantly decreased alpha wave activity and improved working memory and attention [14].

The studies in this review emphasize the impact of coffee on cognitive performance. Cooper and colleagues (2021) investigated the effects of caffeine on creative thinking and problem-solving. They found that caffeine improved problem-solving abilities but did not significantly affect creative generation or working memory [17]. Similarly, Childs and collaborators (2006) reported that caffeine increased reaction times and impaired memory task performance, highlighting the complexity of caffeine's effects on different cognitive functions [30]. Beyond memory, other studies reported the effects of caffeine on specific cognitive tasks, such as creativity [19] and cognitive-motor interference in middle-aged women. Caffeine helped manage dual-task situations, improving cognitive and motor performance [15].

These studies have highlighted the diversity of methodologies used, including neurocognitive test batteries. Notably, new assessment measures have emerged. For example, Ajjimaporn and colleagues (2022) used EEG to show that caffeine consumption decreased alpha wave activity, suggesting enhanced alertness and cognitive function [14]. Other neurosciences technologies, such as MRI were used to investigate caffeine's effects on functional connectivity in the brain, finding that caffeine decreased connectivity in motor and visual cortices but increased involvement of attentional networks [18].

4. Discussion

This review highlights key findings on the impact of coffee and caffeine consumption on cognitive performance, specifically memory and attention. This literature review focused on two important topics: understanding scientific studies that have been developed regarding the impact of coffee consumption on cognitive performance, memory and attention; and examining the quantitative methodologies used in these studies. The studies reviewed employ diverse methodologies, with most adopting double-blind, randomized, placebo-controlled designs and incorporating neurocognitive tests to ensure reliable and objective assessments. Despite the positive effects of caffeine on attention and problem-solving abilities, its impact on memory and creative tasks remains inconsistent, highlighting the complexity of its influence on cognition and the need for further exploration.

It is known that coffee is widely consumed for its physical and mental benefits, particularly in terms of cognitive performance. However, few studies have conclusively

demonstrate its impact on the brain. Most research addresses the perceived cognitive effects or the motivation to consume coffee, but there is a lack of studies using quantitative methodology to assess its impact on cognitive performance.

The studies reviewed highlight the brain's impact response to caffeine. It is known that caffeine increases alertness and anxiety, and improves performance in simple reactive and choice tasks, as well as cognitive vigilance [24,25,27-29,31]. Additionally, other studies have noted caffeine's beneficial effects on global cognition, verbal memory and attention [22], as well as on executive control, working memory [26], and problem-solving [19]. Laatar and collaborators (2021) found that participants who did not consume caffeine had more difficulty managing tasks that required both cognitive and motor skills simultaneously [15].

However, recent studies still presents some somewhat contradictory results. For example, Helwing and colleagues (2024) found that higher doses of caffeine improved psychomotor speed and motor-cognitive performance, while lower doses optimized cognitive outcomes and improve mood [12]. Cooper and colleagues (2021) also reported that acute caffeine administration impacts sustained attention [17]. Conversely, Cornelis and collaborators (2020) found that cognitive task performance decreased after consuming one or more cups of coffee [18]. Some studies report no effects on cognitive function [20]. For instance, Childs and colleagues (2006) found that caffeine consumption increased reaction time and impaired memory task performance [30]. Similarly, Zabelina and colleagues (2020) noted minimal effects of caffeine on memory and creativity [19]. Thus, the literature provides limited support for understanding the relationship between coffee consumption and cognitive function. This inconsistency between data may be due to variations in dosage, participants diversity, and differing methodologies. This review also emphasizes the importance of the assessment instruments, both in terms of self-report and the use of quantitative measures.

The lack of quantitative evaluation studies highlight the need for more research in this area. Despite the use of various psychological assessment instruments (DT, POMS, PSQI, MEEM, VAS, and others) (see table 1), these tools seem insufficient. Therefore, incorporating additional assessment measures could clarify the results. Combining qualitative and quantitative measures will enhance the reliability and completeness of studies.

Among the analyzed studies, there was a wide range of cognitive test instruments and batteries (see table 1), but a scarcity of neuropsychophysiological measures. The use of these measures is crucial for obtaining more comprehensive information. Among the neurophysiological measures in the literature, ECG [12,30], EEG [14,24] and MRI [23] stand out.

Technologies like EEG provide insights into the real impact on brain areas. For example, Ajjimaporn and colleagues (2022) found that caffeine consumption significantly decreases perceptual changes in alpha wave activity in the frontal, central and occipital areas [14]. Additionally, measures such as ECG and other psychophysiological indicators like electrodermal activity and respiratory rate, are beneficial for understanding caffeine's impact on the body and on the body and nervous system. MRI studies [23] allow observation of how coffee/caffeine affects functional connectivity between different brain regions by analyzing cerebral blood flow. Observing activity in the prefrontal cortex and anterior cingulate cortex provides more information about coffee/caffeine's impact on brain activation.

Studies involving neuropsychological measures will provide more objective data and ensure the reliability and replicability of findings. Nowadays, the use of neuroimaging techniques such as EEG, functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), and MRI, will complement psychological instruments, offering a scientifically rigorous and comprehensive approach to understanding these phenomena.

Some limitations should be noted in this review study. The first limitation was the difficulty in selecting descriptors. Additional descriptors could have been included, such as other cognitive processes or specific assessment measures. Another limitation was the choice of databases; articles from other databases (e.g. google scholar) were not incorporated. The second limitation was the scarcity of clinical studies. The third limitation was the lack of inclusion of more general studies dealing with caffeine and neuropsychological measures. However, our focus was on clinical studies involving coffee/caffeine and psychological assessment, rather than studies on caffeine as a drug and its impact.

5. Conclusions and Future Perspectives

Research on coffee is essential and relevant, given that it is one of the most consumed beverages worldwide across different age groups. While we know that coffee affects physical and mental health, its impact on cognitive functions is less understood. This review highlights the urgent need for more clinical studies to confirm existing findings. Incorporating self-report measures and neuropsychological measures, along with new technologies, is crucial for obtaining more accurate and reliable results.

Future research should focus on more clinical studies on coffee consumption, particularly studies on the whole beverage rather than just caffeine. Additionally, incorporating new neuroimaging techniques such as fNIRS, will be beneficial.

Author Contributions: Conceptualization, P.B.; investigation, V.P.; writing—original draft preparation, V.P.; supervision, P.B.; writing—review and editing, P.B. and P.O.-S.. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The present publication was supported by CEDH, through the CEECINST/00137/2018 and Project UIDB/04872/2020 of Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Cho, S.; Kim, K.M.; Chu, M.K. Coffee consumption and migraine: a population-based study. *Scientific Reports* **2024**, *14*, 6007, doi:10.1038/s41598-024-56728-5.
2. Czarniecka-Skubina, E.; Pielak, M.; Salek, P.; Korzeniowska-Ginter, R.; Owczarek, T. Consumer choices and habits related to coffee consumption by poles. *International Journal of environmental research and Public Health* **2021**, *18*, 3948.
3. Porro, C.; Cianciulli, A.; Panaro, M.A. A cup of coffee for a brain long life. *Neural Regen Res* **2024**, *19*, 158-159.
4. Messina, G.; Zannella, C.; Monda, V.; Dato, A.; Liccardo, D.; De Blasio, S.; Valenzano, A.; Moscatelli, F.; Messina, A.; Cibelli, G. The beneficial effects of coffee in human nutrition. *Biology and Medicine* **2015**, *7*, 1.
5. Brandl, B.; Czech, C.; Wudy, S.I.; Beusch, A.; Hauner, H.; Skurk, T.; Lang, R. Validation of N-Methylpyridinium as a Feasible Biomarker for Roasted Coffee Intake. *Beverages* **2024**, *10*, 12.
6. Batista, P.; Peixoto, J.; Oliveira-Silva, P. An Exploratory Study about the Characterization of Caffeine Consumption in a Portuguese Sample. *Behav Sci (Basel)* **2022**, *12*, doi:10.3390/bs12110386.
7. Irwin, C.; Khaledi, S.; Desbrow, B.; McCartney, D. Effects of acute caffeine consumption following sleep loss on cognitive, physical, occupational and driving performance: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* **2020**, *108*, 877-888, doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.12.008>.
8. Cappelletti, S.; Piacentino, D.; Sani, G.; Aromatario, M. Caffeine: cognitive and physical performance enhancer or psychoactive drug? *Curr Neuropharmacol* **2015**, *13*, 71-88, doi:10.2174/1570159x13666141210215655.