ReGeo ISSN: 2177-3246

TEMPERATURA DE COR DA LUZ DE TELAS E DESEMPENHO ATENCIONAL EM ADOLESCENTES: ESTUDO PILOTO EXPERIMENTAL

SCREEN LIGHT COLOR TEMPERATURE AND ATTENTIONAL PERFORMANCE IN ADOLESCENTS: A PILOT EXPERIMENTAL STUDY

TEMPERATURA DE COLOR DE LA LUZ DE LA PANTALLA Y RENDIMIENTO ATENCIONAL EN ADOLESCENTES: UN ESTUDIO PILOTO EXPERIMENTAL

10.56238/revgeov17n3-129

Bruna Machado Mourão
Mestranda em Saúde Coletiva
Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei
E-mail: brunaammourao@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0005-0578-9746
Lattes: https://lattes.cnpq.br/2170010525875757

Alexandra Nayara Alves Pinto
Graduada em Psicologia
Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Laboratório de Neurociências, Cronobiologia e Psicologia do sono
E-mail: alexandranayara.psicologa@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0001-1513-6096?lang=en
Lattes: https://lattes.cnpq.br/8127791222524222

Bruno Luís Arantes Oliveira
Graduado em Psicologia
Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Laboratório de Neurociências, Cronobiologia e Psicologia do sono
E-mail: brunoarantes20@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0002-3886-8537
Lattes: https://lattes.cnpq.br/4660890839268276

Emilly Francianne Lamego Da Silva
Graduada em Psicologia
Instituição: Laboratório de Pesquisa em Metabolismo, Fisiologia e Exercício Físico, Universidade do Estado de Minas Gerais, Laboratório de Neurociências, Cronobiologia e Psicologia do sono
Orcid: https://orcid.org/0009-0009-1705-8624
Lattes: https://lattes.cnpq.br/2366626304900364

Guilherme Martins
Graduando em Psicologia
Instituição: Laboratório de Pesquisa em Metabolismo, Fisiologia e Exercício Físico, Universidade do Estado de Minas Gerais, Laboratório de Neurociências, Cronobiologia e Psicologia do sono
E-mail: guilherme.1656895@discente.uemg.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0009-5504-2754
Lattes: https://lattes.cnpq.br/8408126367406270

Camila Fernanda Costa E Cunha Moraes Brandão
Doutora em Clínica Médica
Instituição: Laboratório de Pesquisa em Metabolismo, Fisiologia e Exercício Físico, Universidade do Estado de Minas Gerais, Laboratório de Neurociências, Cronobiologia e Psicologia do sono
E-mail: camila.brandao@uemg.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3330-8007
Lattes: https://lattes.cnpq.br/3773367650664199

Michael Jackson Oliveira de Andrade
Doutor em Psicologia
Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais, Laboratório de Neurociências, Cronobiologia e Psicologia do sono
E-mail: michael.andrade@uemg.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2650-451X
Lattes: https://lattes.cnpq.br/6334372161734954

RESUMO
A influência biológica da luz artificial, especialmente em termos de temperatura de cor correlata (CCT), apresenta implicações relevantes para a regulação circadiana, estados de alerta e processos cognitivos em adolescentes. Este estudo piloto exploratório investigou os efeitos da exposição a diferentes filtragens de temperatura de cor da luz de telas (1950K, 2400K, 4500K e 6400K) sobre indicadores subjetivos de sono, sonolência e desempenho atencional em oito adolescentes (idade média = 15,25 ± 1,7 anos), por meio de delineamento experimental de medidas repetidas. Para minimizar a variabilidade circadiana e efeitos de aprendizagem, as sessões foram realizadas em horário padronizado, com ordem randomizada das condições luminosas, em ambiente laboratorial controlado. O desempenho cognitivo foi avaliado por tarefa computadorizada de tempo de reação visual (TRV), realizada em condição binocular a uma distância de 0,40 m da tela, com luminância constante do monitor (42 cd/m²) em todas as condições experimentais. Os resultados indicaram tempos de reação visual significativamente menores (maior velocidade de processamento) durante a exposição à temperatura de cor de 6400K em comparação às condições de 1950K, 2400K e 4500K. Adicionalmente, observaram-se associações positivas entre maior exposição a dispositivos eletrônicos, maior sonolência diurna e atrasos nos horários de sono, especialmente em fins de semana. Os achados sugerem que a temperatura de cor da luz emitida por telas pode modular estados de alerta e desempenho atencional em adolescentes, possivelmente por meio de mecanismos não visuais da luz relacionados à regulação circadiana. Contudo, devido ao tamanho amostral reduzido, à ausência de caracterização espectral da luz (p.ex., SPD e melanopic EDI) e ao uso predominante de medidas subjetivas de sono, os resultados devem ser interpretados como exploratórios e preliminares, orientando estudos futuros

com monitoramento objetivo da exposição luminosa, do ritmo circadiano e das métricas fotobiológicas.

Palavras-chave: Luz de Telas. Temperatura de Cor Correlata. Atenção Visual. Tempo de Reação. Adolescentes. Ritmo Circadiano.

ABSTRACT
Artificial light exposure from electronic screens is a significant environmental modulator of circadian rhythms, alertness, and cognitive functioning, particularly in adolescents, a population characterized by heightened sensitivity to light and delayed sleep phase tendencies. This exploratory pilot study investigated the effects of different screen correlated color temperature (CCT) conditions (1950K, 2400K, 4500K, and 6400K) on subjective sleep indicators, daytime sleepiness, and attentional performance in eight adolescents (mean age = 15.25 ± 1.7 years) using a repeated-measures experimental design. To minimize circadian variability and learning effects, all sessions were conducted at a standardized time of day, with randomized exposure to lighting conditions, in a controlled laboratory environment. Cognitive performance was assessed באמצעות a computerized visual reaction time (VRT) task performed binocularly at a fixed viewing distance of 0.40 m from the screen, with constant monitor luminance (42 cd/m²) across all experimental conditions. Results showed significantly shorter VRT (faster attentional processing) under the 6400K condition compared to 1950K, 2400K, and 4500K exposures. Additionally, greater electronic device use was positively associated with increased daytime sleepiness and delayed sleep timing, particularly on weekends, suggesting behavioral patterns consistent with circadian misalignment. These findings indicate that screen light CCT may modulate alertness and attentional performance in adolescents, potentially through non-visual photobiological pathways related to circadian regulation. However, the small sample size, absence of spectral light characterization (e.g., spectral power distribution and melanopic EDI), and reliance on predominantly subjective sleep measures limit causal inference. Therefore, the results should be interpreted as exploratory and hypothesis-generating, supporting future studies with objective monitoring of light exposure, circadian rhythms, and standardized photobiological metrics.

Keywords: Screen Light. Correlated Color Temperature. Visual Attention. Reaction Time. Adolescents. Circadian Rhythm.

RESUMEN
La influencia biológica de la luz artificial, especialmente en términos de temperatura de color correlacionada (TCC), tiene implicaciones relevantes para la regulación circadiana, el estado de alerta y los procesos cognitivos en adolescentes. Este estudio piloto exploratorio investigó los efectos de la exposición a diferentes filtros de temperatura de color de la luz de pantalla (1950 K, 2400 K, 4500 K y 6400 K) en indicadores subjetivos de sueño, somnolencia y rendimiento atencional en ocho adolescentes (edad media = 15,25 ± 1,7 años) utilizando un diseño experimental de medidas repetidas. Para minimizar la variabilidad circadiana y los efectos de aprendizaje, las sesiones se llevaron a cabo en horarios estandarizados, con condiciones de iluminación aleatorias, en un entorno de laboratorio controlado. El rendimiento cognitivo se evaluó utilizando una tarea computarizada de tiempo de reacción visual (TRV), realizada binocularmente a una distancia de 0,40 m de la pantalla, con luminancia constante del monitor (42 cd/m²) en todas las condiciones experimentales. Los resultados indicaron tiempos de reacción visual significativamente más cortos (mayor velocidad de procesamiento) durante la exposición a una temperatura de color de 6400 K en comparación con las condiciones de 1950 K, 2400 K y 4500 K. Además, se observaron asociaciones positivas entre una mayor exposición a dispositivos electrónicos, una mayor somnolencia diurna y retrasos en los horarios de sueño, especialmente los fines de semana. Los hallazgos sugieren que la temperatura de color de la luz emitida por las pantallas puede modular el estado de alerta y el rendimiento atencional en adolescentes, posiblemente a través de mecanismos lumínicos no visuales relacionados con la regulación circadiana. Sin embargo, debido al pequeño tamaño de la muestra, la ausencia de caracterización espectral de la luz (p. ej., SPD y EDI melanópica) y el uso predominante de medidas

subjetivas del sueño, los resultados deben interpretarse como exploratorios y preliminares, orientando futuros estudios con monitorización objetiva de la exposición a la luz, el ritmo circadiano y las métricas fotobiológicas.

Palabras clave: Luz de Pantalla. Temperatura de Color Correlacionada. Atención Visual. Tiempo de Reacción. Adolescentes. Ritmo Circadiano.

1 INTRODUÇÃO

A cronobiologia desempenha um papel essencial na compreensão dos ritmos biológicos e dos ciclos temporais que organizam o funcionamento fisiológico, cognitivo e comportamental dos indivíduos (Xu et al., 2021). Nesse contexto, o ritmo circadiano, com periodicidade aproximada de 24 horas, constitui um sistema endógeno sincronizado principalmente por estímulos ambientais, sobretudo a luz, atuando na regulação de funções cognitivas como atenção sustentada, vigilância psicomotora, velocidade de processamento, memória de trabalho e controle inibitório, além de modular padrões comportamentais relacionados ao ciclo sono–vigília (Valdez, 2019; Valdez et al., 2005). Em condições naturais de alternância claro/escuro, a luz atua como o principal sincronizador fótico (zeitgeber), influenciando a regulação cerebral e o desempenho em tarefas cognitivas por meio de mecanismos neurobiológicos sensíveis à organização temporal do ambiente (Andrade, 2021; Geib et al., 2003).

A luz visível compreende comprimentos de onda entre aproximadamente 380 e 750 nm, provenientes tanto de fontes naturais quanto artificiais (Sliney, 2016). Dentro desse espectro, a luz azul (400–500 nm), com pico próximo a 450–480 nm, apresenta elevada eficácia na modulação dos ritmos circadianos, especialmente na supressão da melatonina e no atraso de fase circadiana (Danilenko et al., 2011). Evidências contemporâneas indicam que tais efeitos não se restringem à via visual clássica, sendo mediados, em grande parte, pelas células ganglionares retinianas intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), que expressam melanopsina e projetam-se diretamente para o núcleo supraquiasmático (NSQ), principal marcapasso circadiano. Essas vias não visuais da luz estão associadas à modulação do estado de alerta, da vigilância cognitiva e do desempenho atencional, mesmo em condições de luminância moderada e exposição a fontes artificiais de luz.

Entre as propriedades psicofísicas da iluminação artificial, destaca-se a temperatura de cor correlata (Correlated Color Temperature, CCT), que descreve a aparência cromática da luz emitida por uma fonte luminosa, variando entre tons quentes (≤3300K), neutros (3300K–5300K) e frios (>5300K) (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008; Medeiros, 2018). É importante salientar que a CCT não corresponde ao calor físico emitido, mas à composição espectral percebida da luz. Do ponto de vista biológico, fontes luminosas com maior CCT, caracterizadas por maior componente espectral de curta longitude de onda, estão associadas à maior supressão da produção de melatonina, aumento do estado de alerta cortical e modulação dos processos circadianos que regulam o ciclo sono–vigília (Agostini et al., 2017; Dijk et al., 2012; Martau, 2009; Paraginski, 2014).

Estudos recentes têm demonstrado que a temperatura de cor da luz está relacionada não apenas à qualidade do sono, mas também a processos cognitivos dependentes do estado de alerta, como atenção e velocidade de processamento. Haghani et al. (2023) revisaram os impactos biológicos da exposição à luz azul de dispositivos digitais sobre funções cognitivas, visão e regulação circadiana. De

forma convergente, Lan et al. (2020) observaram que configurações de iluminação com maior iluminância e maior temperatura de cor (6000K) favoreceram funções executivas, flexibilidade cognitiva e desempenho analítico em adultos jovens. Resultados semelhantes foram relatados por Weitbrecht et al. (2015), que identificaram maior atenção concentrada sob exposição à luz fria (6000K), sugerindo que propriedades espectrais da luz podem modular o desempenho cognitivo atencional.

No campo da fisiologia do sono, evidências indicam que a exposição à luz artificial de maior temperatura de cor pode alterar a secreção de melatonina e cortisol, além de reduzir a sonolência subjetiva, particularmente em populações mais jovens (Higuchi et al., 2014; Lee et al., 2018). Lee et al. (2018) demonstraram maior supressão de melatonina em crianças e adolescentes expostos à iluminação LED de aproximadamente 6200K, acompanhada de menor sonolência subjetiva quando comparados a condições de luz mais quente. Ademais, Higuchi et al. (2014) destacam que a sensibilidade da melatonina à luz noturna pode ser substancialmente maior em crianças do que em adultos, indicando maior vulnerabilidade circadiana à exposição luminosa artificial nessa fase do desenvolvimento.

Paralelamente, o aumento do uso de dispositivos eletrônicos com telas luminosas, especialmente no período noturno, tem sido associado a alterações na duração e qualidade do sono, maior sonolência diurna, prejuízos atencionais e mudanças nos horários de sono em crianças e adolescentes (Fuller et al., 2017). Diretrizes nacionais recentes sobre o uso de telas por crianças e adolescentes também alertam que a exposição prolongada a dispositivos digitais pode interferir na regulação do ritmo circadiano, no estado de alerta e no funcionamento cognitivo, particularmente quando ocorre em horários biologicamente sensíveis, como o período pré-sono (Brasil, 2024).

Adicionalmente, recomendações metodológicas contemporâneas para estudos em cronobiologia da luz (por exemplo, diretrizes ENLIGHT e CIE S 026) enfatizam que métricas fotométricas tradicionais, como a temperatura de cor correlata (CCT), representam apenas uma aproximação indireta dos efeitos circadianos da luz, sendo ideal a caracterização espectral detalhada (distribuição espectral de potência – SPD) e métricas melanópicas, como a melanopic Equivalent Daylight Illuminance (EDI). Contudo, em contextos experimentais envolvendo dispositivos digitais, a manipulação da CCT tem sido amplamente utilizada como *proxy* ecológica para investigar os efeitos não visuais da luz em ambientes tecnológicos cotidianos, especialmente em populações com alta exposição a telas.

Considerando que a adolescência é caracterizada por atraso de fase circadiana, maior sensibilidade à luz noturna e elevado uso de dispositivos eletrônicos, torna-se particularmente relevante investigar como propriedades espectrais da luz de telas podem modular simultaneamente estados de alerta, desempenho cognitivo atencional e padrões comportamentais do ciclo sono–vigília.

Nesse sentido, a luz artificial emitida por telas digitais pode atuar não apenas como estímulo visual, mas como modulador não visual do sistema circadiano e dos processos neurocognitivos.

Diante desse cenário, e considerando a luz como um dos principais sincronizadores ambientais do ritmo circadiano, o presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos da exposição a diferentes temperaturas de cor correlata da luz de telas (6400K, 4500K, 2600K e 1950K), apresentadas em computador configurado em ambiente laboratorial controlado, sobre indicadores comportamentais do ciclo sono–vigília e sobre o desempenho neurocognitivo atencional, operacionalizado por meio do tempo de reação visual, em adolescentes de 12 a 17 anos.

2 MÉTODO

2.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Trata-se de um estudo piloto experimental, com delineamento exploratório intra-sujeitos (medidas repetidas), conduzido em ambiente laboratorial controlado, com manipulação experimental da temperatura de cor correlata (CCT) da luz emitida pela tela do computador.

2.2 PARTICIPANTES

O estudo contou com a participação de oito adolescentes (M = 15,25 anos; DP = 1,7). A amostra foi equilibrada por sexo, composta por quatro participantes do sexo masculino (M = 14,25 anos; DP = 1,7) e quatro do sexo feminino (M = 16,25 anos; DP = 0,9). A hora estimada de nascimento foi, em média, 09:30 (DP = 1h34min) para os participantes do sexo masculino e 11:35 (DP = 2h29min) para os do sexo feminino. Todos os participantes frequentavam ensino em turno integral (manhã e tarde), sendo cinco provenientes de escolas públicas e três de escolas privadas. Em relação à escolaridade, seis participantes cursavam entre o 7º e o 8º ano do ensino fundamental, enquanto dois estavam matriculados no ensino médio. Quanto às condições domiciliares, o número médio de moradores por residência foi de 3,7 (DP = 1,2) entre os participantes do sexo masculino e 3,5 (DP = 0,8) entre os do sexo feminino. Apenas um participante do sexo masculino relatou compartilhar o quarto com outra pessoa.

2.3 INSTRUMENTOS

2.3.1 Escalas e Questionários

Questionário sociodemográfico e de mídias eletrônicas: questionário online composto por perguntas abertas e fechadas direcionadas aos pais ou responsáveis dos participantes, visando coletar informações importantes em relação aos voluntários, composto por categorias sociais (nome, sexo, gênero, escolaridade), histórico clínico (COVID-19, tratamento médico, transtorno neuropsiquiátrico, transtorno do sono, medicamento controlado ou para o sono, sistema visual) e realização de atividade

física. As perguntas relacionadas ao uso de mídias eletrônicas abrangiam questões sobre o tempo de uso de aparelhos eletrônicos durante o dia, objetivos em relação ao uso de aparelhos eletrônicos, exposição à luz natural, dentre outras questões.

Diário do Sono: este instrumento descreveu características do padrão de sono dos participantes, como por exemplo, tempo na cama, tempo total de sono (tempo decorrido desde o início do sono para o final do sono menos tempo acordado), eficiência do sono (definido como a relação percentual entre o tempo total do sono e o tempo na cama), latência para o início do sono (hora que se apagam as luzes até o primeiro início do ciclo sono), latência de tempo acordado após o sono (definido como o tempo permanecido deitado na cama após acordar). O diário do sono é uma medida subjetiva e não possui um questionário e/ou escala validada mundialmente, contudo, utilizou-se a versão nacional de Sousa et al., (2013).

Escala de Sonolência de Epworth (ESE): é um questionário simples e autoaplicável que fornece uma medida do nível geral de sonolência diurna do sujeito. A Escala consiste em um questionário que busca investigar a probabilidade de o indivíduo adormecer em situações específicas do cotidiano, com escores entre 0 e 24. Uma pontuação ≥10 significa sonolência diurna excessiva (hiper sonolência). A versão no português do Brasil (ESE-BR) possui 8 itens e coeficiente de confiabilidade total de 0,83 (Bertolazi et. al, 2009).

Escala Visual Analógica (VAS): foi desenvolvida com o objetivo de mensurar por autorrelato componentes de processos cognitivos e comportamentais durante uma rotina diária, tais como: sonolência (caracterizado pela propensão ou desejo de dormir), fadiga (caracterizado por exaustão ou diminuição da capacidade de realizar atividades mentais), atenção dividida (capacidade de concentrar-se simultaneamente em múltiplas tarefas ou estímulos), atenção concentrada (capacidade de direcionar e manter o foco em uma única tarefa, estímulo ou conjunto específico de informações) e capacidade de ignorar estímulos irrelevantes (capacidade cognitiva de filtrar informações ou estímulos que não são relevantes para a tarefa ou objetivo em questão). Estes itens foram adequados ao instrumento adaptado ao contexto brasileiro (Bergamasco & Cruz, 2007).

2.4 EQUIPAMENTO OU APARATO

O experimento foi conduzido em computador DELL com monitor de 23,8 polegadas, resolução 1920 × 1080 (60 Hz). A luminância do monitor foi mantida constante em 42 cd/m² em todas as condições experimentais, incluindo fundo e estímulos, por meio de configuração fixa do sistema. A caracterização espectral da luz (SPD), irradiância espectral e métricas melanópicas (melanopic EDI) não foram mensuradas instrumentalmente, sendo a manipulação luminosa realizada exclusivamente por ajuste de software (F.lux) para alteração da temperatura de cor correlata da tela.

2.5 TAREFA DE TEMPO DE REAÇÃO VISUAL (TRV)

A tarefa TRV mensurou a velocidade de processamento visual como uma medida de tempo reacional da atenção manual. Os participantes foram instruídos a pressionar o botão direito do mouse imediatamente após a apresentação do estímulo visual na tela do monitor. O estímulo consistia em um círculo cinza, sem contornos, com diâmetro de 10 cm, apresentado no centro da tela. Ao todo, foram exibidos 150 estímulos ao longo da tarefa. Os estímulos foram apresentados em blocos randomizados com tempo de apresentação com variação de 500, 800, 1500 e 2500 milissegundos (Riccio et al. (2002). Foram avaliados como escores o tempo de reação visual do participante a cada resposta emitida.

2.6 PROCEDIMENTO

O estudo foi conduzido em etapas sequenciais. Inicialmente, estabeleceu-se contato com adolescentes e seus responsáveis por meio de amostragem por conveniência. Paralelamente, a pesquisa foi divulgada em redes sociais (WhatsApp, Instagram e Facebook), com o objetivo de alcançar responsáveis interessados na participação dos adolescentes.

Após a manifestação de interesse, os responsáveis foram direcionados a um link no *Google Forms*, no qual preencheram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e um questionário sociodemográfico, contendo informações sobre aspectos acadêmicos, condições de saúde e uso de mídias eletrônicas. Na etapa subsequente, de caráter presencial, foram realizadas as coletas de dados comportamentais relacionados ao sono e a aplicação de tarefa computadorizada TRV. Para minimizar a influência de variações circadianas e efeitos de aprendizagem sobre o desempenho, todas as avaliações foram realizadas no mesmo período do dia, mantendo-se horário fixo para cada participante, com ordem aleatorizada das condições experimentais de iluminação.

O delineamento adotado foi de medidas repetidas intra-sujeitos, com seguimento ao longo de diferentes níveis de temperatura de cor correlata da luz. Foram realizados quatro encontros presenciais em dias úteis, entre 13:00 e 17:00 horas (horário médio de coleta: 15:40). Os encontros foram organizados conforme as condições experimentais de temperatura de cor da luz: C1 (6400 K), C2 (4500 K), C3 (2600 K) e C4 (1950 K), apresentadas em ordem aleatória. Em cada condição, aplicou-se a ESE antes da execução das tarefa computadorizada. A VAS foi administrada em três momentos: na chegada ao laboratório, após o período de adaptação visual ao escuro e após a realização das tarefas.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado de Minas Gerais (CAAE: 63972222.8.0000.5115). Todos os procedimentos éticos seguiram as diretrizes da Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. A participação foi voluntária, sendo obtido o Termo de Assentimento dos adolescentes e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) de seus responsáveis legais previamente à coleta de dados. Para favorecer a adesão e reduzir perdas amostrais, foram adotadas estratégias de flexibilidade na agenda experimental, incluindo sessões em

dias úteis alternados, além de contato prévio e acompanhamento contínuo com participantes e responsáveis para confirmação das avaliações e sessões experimentais.

2.7 ANÁLISE DE DADOS

Devido ao tamanho amostral reduzido (n = 8) e à natureza piloto do estudo, adotou-se abordagem estatística não paramétrica e exploratória. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro–Wilk. Comparações intraindividuais entre as condições de CCT foram realizadas por teste de Friedman, seguido de comparações pareadas pelo teste de Wilcoxon com correção para múltiplas comparações. Diferenças entre sexos foram analisadas por teste de Mann–Whitney. Associações entre variáveis contínuas foram examinadas por correlações de Spearman (ρ). Além dos valores de p, foram considerados tamanhos de efeito (r e Kendall's W) como indicadores da magnitude dos efeitos, dada a natureza exploratória do estudo. As análises foram realizadas no SPSS versão 21, com nível de significância de $p < 0,05$.

3 RESULTADOS

3.1 USO DE APARELHOS ELETRÔNICOS

Todos os participantes relataram uso diário de aparelhos eletrônicos, incluindo telefone celular (100%) e computador (100%). Metade da amostra (50%) informou utilizar computadores no quarto onde dorme. Quanto à finalidade de uso, um participante relatou uso predominante para jogos, três para interação em redes sociais e quatro para fins acadêmicos. Observou-se que todos os participantes utilizavam aparelhos eletrônicos após se deitarem na cama. Em relação ao uso durante a madrugada, apenas um participante do sexo masculino e quatro do sexo feminino relataram esse comportamento. No período matinal, quatro participantes do sexo masculino e três do sexo feminino referiram utilizar dispositivos eletrônicos ao acordar.

A análise de diferenças entre os sexos por meio do teste U de Mann-Whitney não revelou diferenças estatisticamente significativas para o tempo de uso diário ($p = 0,229$), uso ao deitar ($p = 0,200$) e uso ao acordar ($p = 0,400$). As correlações parciais entre sexo e idade com o consumo diário ($p = 0,333$), uso ao deitar ($p = 0,184$) e uso ao acordar ($p = 0,503$) também não foram significativas. Entretanto, observou-se uma correlação linear positiva forte entre a quantidade de horas de uso diário e a idade dos participantes ($\rho = 0,84$; $p = 0,014$).

Tabela 1 - Características do uso diário de aparelhos eletrônicos por sexo.

Variável	Homens (M ± DP)	Min–Máx.	Mulheres (M ± DP)	Min–Máx.	U	p
Uso diário	07:01 ± 00:56	06:00–08:00	08:00 ± 01:00	07:00–09:00	2,5	0,229
Uso ao deitar	01:01 ± 00:24	00:30–01:30	00:37 ± 00:28	00:30–01:00	3,5	0,200
Uso ao acordar	00:23 ± 00:24	00:05–01:00	00:08 ± 00:02	00:05–00:10	3,0	0,400

Fonte: Autores.

3.2 EXPOSIÇÃO À LUZ, SONOLÊNCIA E ROTINA DIÁRIA

A análise pelo teste U de Mann-Whitney não evidenciou diferenças significativas entre os sexos para horário de acender a luz (p = 0,343), horário de apagar a luz (p = 0,200) e tempo total de exposição à luz no período noturno (p = 0,886). No entanto, foi observada maior sonolência diurna entre as mulheres em comparação aos homens (p = 0,029). Em relação à rotina diária, observaram-se diferenças significativas nos finais de semana. As mulheres apresentaram maior latência para adormecer (00:51 ± 00:21) em comparação aos homens (00:21 ± 00:10) [U = 2,64; Z = 2,18; p = 0,038]. Além disso, acordaram mais tarde (09:07 ± 00:51 vs. 07:20 ± 00:43; p = 0,019) e permaneceram mais tempo na cama (p = 0,010), indicando maior deslocamento do cronotipo social nos finais de semana.

Tabela 2 - Características de exposição à luz, sonolência (ESS) e rotina diária conforme o sexo.

Variável	Homens (M ± DP)	Md	Mulheres (M ± DP)	Md	U	p
Exposição à luz						
Horário de acender a luz	18:36 ± 00:39	18:47	18:48 ± 00:33	19:00	4,0	0,343
Horário de apagar a luz	22:07 ± 00:15	22:00	22:32 ± 00:32	22:35	3,5	0,200
Tempo total de exposição à luz	03:41 ± 00:33	03:10	03:43 ± 00:58	03:30	7,0	0,886
Sonolência diurna						
ESS	7,35 ± 0,9	7,72	12,81 ± 3,7	13,12	2,17	0,029*
Rotina do sono – Dias Úteis (DDS)						
Hora de deitar	21:52 ± 00:15	22:00	22:30 ± 00:34	22:30	3,0	0,096
Hora de dormir	22:26 ± 00:07	22:30	22:55 ± 01:25	22:30	1,0	0,529
Tempo para adormecer	00:20 ± 00:09	00:21	00:35 ± 00:21	00:36	1,21	0,243
Hora de acordar	05:26 ± 00:17	05:33	05:48 ± 00:17	05:46	1,78	0,125
Hora de levantar	05:42 ± 00:30	05:47	06:12 ± 00:30	06:20	1,58	0,164
Rotina do sono – Finais de Semana (FDS)						
Hora de deitar	22:45 ± 00:30	23:00	23:07 ± 01:26	23:45	4,0	0,234
Hora de dormir	23:13 ± 00:07	23:20	23:33 ± 02:39	23:07	1,0	0,817
Tempo para adormecer	00:21 ± 00:10	00:22	00:51 ± 00:21	00:50	2,64	0,038*
Hora de acordar	07:20 ± 00:43	07:26	09:07 ± 00:51	09:15	3,19	0,019*
Hora de levantar	07:39 ± 00:37	07:42	09:36 ± 00:50	09:42	3,69	0,010*

Fonte: Autores.

3.3 ASSOCIAÇÕES ENTRE USO DE DISPOSITIVOS, LUZ E SONOLÊNCIA

Foram observadas correlações lineares positivas fortes entre o tempo diário de uso de aparelhos eletrônicos e o tempo de exposição à luz noturna (ρ = 0,990; p = 0,010), bem como entre o tempo de uso diário e a sonolência diurna (ρ = 0,948; p = 0,049). Adicionalmente, verificou-se correlação positiva entre o horário de deitar em dias úteis e o nível de sonolência diurna (ρ = 0,997; p = 0,003).

3.4 SONOLÊNCIA E TEMPERATURA DE COR DA LUZ

Na condição de 1950 K, foi identificada diferença significativa intragrupo entre as mulheres [$\chi^2(2) = 6,50$; p = 0,039], indicando aumento dos níveis de sonolência após o período de adaptação à luz. Resultados semelhantes foram observados nas condições de 2600 K (p = 0,037) e 4500 K (p = 0,049). Na comparação entre os sexos, as mulheres apresentaram níveis significativamente mais elevados de sonolência antes e após a adaptação luminosa (p = 0,049).

3.5 TEMPO DE REAÇÃO VISUAL (TRV) E TEMPERATURA DE COR DA LUZ

A análise global (teste de Wilcoxon) indicou maior tempo de reação visual (TRV) na condição de 6400 K em comparação às temperaturas de 1950 K (p = 0,017), 2400 K (p = 0,012) e 4500 K (p = 0,012). Considerando que menores valores de TRV indicam maior velocidade de processamento cognitivo, esses resultados sugerem melhor desempenho em maior CCT (6400K). Na análise estratificada por sexo, os participantes do sexo masculino apresentaram maior TRV em 1950 K (433,44 ± 18,5) e menor em 6400 K (339,72 ± 17,7), com diferenças significativas entre as filtragens de temperatura da luz [$\chi^2(3) = 9,90$; p = 0,019]. Não foram observadas diferenças significativas entre as mulheres (p = 0,127). Entretanto, na comparação entre os sexos, foram identificadas diferenças significativas nas condições de 1950 K (p = 0,003) e 6400 K (p = 0,005), com as mulheres apresentando menor TRV, indicando maior velocidade de processamento cognitivo atencional.

Tabela 3 - Desempenho do tempo de reação visual (TRV) conforme a temperatura de cor da luz (CCT).

Temperatura (K)	Geral (M ± DP)	Md	Homens (M ± DP)	Md	Mulheres (M ± DP)	Md	U	p
1950 K	380,35 ± 65,1	398,70	433,44 ± 18,5	432,90	327,23 ± 17,8	322,62	4,71	0,003*
2400 K	347,81 ± 48,1	339,55	378,70 ± 48,1	366,59	316,92 ± 17,7	318,65	1,91	0,104
4500 K	341,09 ± 29,5	338,52	358,02 ± 28,7	369,45	324,07 ± 20,6	329,16	2,30	0,061
6400 K	316,51 ± 27,9	307,27	339,72 ± 17,7	343,95	293,31 ± 8,9	296,68	4,36	0,005*

Fonte: Autores.

4 DISCUSSÃO

A velocidade de processamento é uma habilidade cognitiva frequentemente operacionalizada pela rapidez com que indivíduos respondem a estímulos simples, sendo especialmente sensível a variações no estado de alerta e vigilância (Salthouse, 1996; Tuch et al., 2005). No âmbito da cronobiologia, o desempenho em tarefas rápidas e atencionais pode variar em função de fatores circadianos e de estímulos ambientais que modulam o nível de ativação fisiológica, particularmente a luz, principal sincronizador fótico do sistema circadiano humano (Valdez, 2019; Valdez et al., 2005). No presente estudo, ao mensurar o processamento visual atencional por meio do tempo de reação visual (TRV), investigamos como diferentes temperaturas de cor correlata (CCT) emitidas por telas digitais se associam a variações no desempenho cognitivo e em indicadores subjetivos de sonolência, em adolescentes.

O principal achado do estudo foi a redução significativa do TRV na condição de 6400K em comparação às condições de 1950K, 2400K e 4500K, indicando maior velocidade de processamento e melhor desempenho atencional sob a maior temperatura de cor testada. Esse padrão é consistente com a literatura que aponta maior estado de alerta e facilitação do desempenho cognitivo em condições

de iluminação com maior componente espectral de curta longitude de onda, frequentemente associadas a temperaturas de cor mais elevadas (Lee et al., 2018; Weitbrecht et al., 2015; Lan et al., 2020). Em termos funcionais, os dados sugerem que a luz de maior CCT pode atuar como moduladora do estado de vigilância e, consequentemente, do desempenho em tarefas rápidas de atenção visual.

Do ponto de vista neurobiológico, uma explicação plausível envolve a participação de mecanismos não visuais da luz. A melanopsina, pigmento fotossensível expresso nas células ganglionares retinianas intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), apresenta sensibilidade aumentada à faixa azul do espectro luminoso (Berson et al., 2002; Newman et al., 2003). Essas vias estão implicadas tanto na sincronização circadiana quanto na modulação do estado de alerta e na supressão de melatonina, cujo espectro de ação apresenta pico na faixa azul, em torno de 460 nm (Brainard et al., 2001). Assim, a melhor performance atencional observada em 6400K pode refletir maior ativação relacionada à luz de componente azulada, com potencial impacto sobre a vigilância e a eficiência do processamento cognitivo. Contudo, essa interpretação deve ser considerada com cautela, pois não foi realizada caracterização espectral instrumental (por exemplo, SPD e métricas melanópicas), o que limita a inferência direta sobre a intensidade relativa do estímulo melanopsínico entre as condições.

Além do desempenho atencional, observou-se que temperaturas de cor mais baixas estiveram associadas a maior sonolência subjetiva em análises específicas, e também foi identificada associação entre exposição a luz noturna, maior tempo de uso de dispositivos e maior sonolência diurna. Esses resultados são coerentes com evidências de que a exposição prolongada a telas pode contribuir para alterações no ciclo sono–vigília e aumento da sonolência diurna, especialmente em adolescentes, cuja sensibilidade à luz noturna tende a ser mais pronunciada (Higuchi et al., 2014; Lee et al., 2018). Em termos comportamentais, o uso intensivo de dispositivos eletrônicos e a exposição à luz artificial em horários biologicamente sensíveis podem favorecer atrasos de fase e padrões compatíveis com desalinhamento circadiano, particularmente quando associados a mudanças nos horários de dormir e acordar em finais de semana, como descrito em estudos baseados em dados digitais e padrões populacionais de sono (Walch et al., 2016).

Com o aumento de estudantes permanecendo por longos períodos em ambientes internos e utilizando dispositivos eletrônicos em múltiplos contextos (acadêmico, social e entretenimento), torna-se mais relevante compreender como propriedades da luz emitida por telas interagem com o estado de alerta e com a saúde do sono (Cajochen et al., 2011; Chang et al., 2015; Figueiro et al., 2014; Higuchi et al., 2003). Embora temperaturas de cor mais elevadas possam favorecer desempenho atencional em condições diurnas, há evidências de que esse mesmo padrão de luz pode ser disruptivo quando aplicado à noite, sobretudo por favorecer atraso circadiano e interferir na regulação do sono. Nesse sentido, estratégias de mitigação tornam-se relevantes para reduzir potenciais impactos adversos do uso noturno

de telas, especialmente em adolescentes, conforme também indicado por diretrizes nacionais recentes sobre o uso de dispositivos digitais nessa população (Brasil, 2024).

Quanto às diferenças por sexo observadas em sonolência e rotina do sono, bem como em TRV em condições específicas, tais achados devem ser interpretados de forma exploratória. Apesar de apontarem variabilidade individual e possíveis diferenças comportamentais e fisiológicas, o tamanho amostral reduzido impede conclusões robustas. Adicionalmente, fatores não controlados, como cronotipo, história prévia de exposição à luz e variáveis maturacionais, podem influenciar tanto a sensibilidade circadiana à luz quanto o desempenho em tarefas atencionais (Chang et al., 2011; Hebert et al., 2002; Smith et al., 2004).

O presente estudo possui limitações importantes. A principal delas é o tamanho amostral reduzido, típico de delineamentos piloto, o que limita o poder estatístico e a generalização. Além disso, embora a manipulação da CCT tenha sido realizada por ajuste de software, não houve mensuração instrumental da distribuição espectral de potência (SPD), nem cálculo de métricas melanópicas como melanopic EDI, recomendadas por diretrizes metodológicas recentes para estudos de luz e respostas não visuais (por exemplo, ENLIGHT e CIE S 026). Assim, apesar de CCT ser uma proxy ecológica útil em contextos de telas, a ausência de caracterização espectral limita a precisão na interpretação fisiológica dos mecanismos envolvidos. Por fim, o uso predominante de medidas subjetivas de sono e ausência de monitoramento objetivo da exposição luminosa sugerem cautela na interpretação dos achados e reforçam a necessidade de estudos futuros com actigrafia, sensores de luz e maior controle da história fótica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo piloto sugere que a temperatura de cor correlata da luz de telas pode modular o estado de alerta e o desempenho atencional em adolescentes, com menor tempo de reação visual observado na condição de 6400K. Os achados são consistentes com a literatura sobre efeitos não visuais da luz e sua possível atuação em mecanismos circadianos e de vigilância cognitiva. Contudo, o reduzido tamanho amostral, a ausência de caracterização espectral da luz (SPD e métricas melanópicas) e o uso predominante de medidas subjetivas de sono limitam inferências causais. Assim, os resultados devem ser interpretados como exploratórios, orientando estudos futuros com monitoramento objetivo da exposição luminosa, do ritmo circadiano e maior controle das variáveis fotobiológicas.

REFERÊNCIAS

Agostini, A., Carskadon, M. A., Dorrian, J., Coussens, S., & Short, M. A. (2016). An experimental study of adolescent sleep restriction during a simulated school week: changes in phase, sleep staging, performance, and sleepiness. Journal of Sleep Research, 26(2), 227–235. https://doi.org/10.1111/jsr.12473

Andrade, M. J. O. (2021). Circadian Sensation and Visual Perception. In Circadian Rhythm - New Insights Into the Physiological and Pathological Implications.

Bergamasco, E. C., & Cruz, D. A. L. M. (2007). Adaptation of the Visual Analog Sleep Scales to Portuguese. Revista Latino-Americana de Enfermagem, 15(5), 998–1004. https://doi.org/10.1590/S0104-11692007000500016

Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science, 295(5557), 1070-1073. DOI: 10.1126/science.1067262

Bertolazi, A. N., Fagondes, S. C., Hoff, L. S., Pedro, V. D., Barreto, S. S. M., & Johns, M. W. (2009). Portuguese-language version of the Epworth Sleepiness Scale: validation for use in Brazil. Jornal Brasileiro de Pneumologia, 35(9). 877-883. https://doi.org/10.1590/S1806-37132009000900009

Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, E., et al. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. Journal of Neuroscience, 21(16), 6405–6412. DOI: https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001

Brasil. (2024). Guia sobre uso de telas por crianças e adolescentes. Secretaria de Comunicação Social da Presidência da República.

Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., et al. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. Journal of Applied Physiology, 110, 1432-1438. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21415172/

Chang, A. M., Aeschbach, D., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2015). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 112, 1232–1237. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25535358/

Chang, A. M., Scheer, F. A., & Czeisler, C. A. (2011). The human circadian system adapts to prior photic history. Journal of Physiology, 589(5), 1095–1102. doi: 10.1113/jphysiol.2010.201194.

CIE. (2018). CIE S 026/E:2018: System for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light. International Commission on Illumination.

Danilenko, K. V., Plisov, I. L., Cooper, H. M., Wirz-Justice, A., & Hébert, M. (2011). Human cone light sensitivity and melatonin rhythms following 24-hour continuous illumination. Chronobiology International, 28(5), 407-414. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21721856/

Dijk, D.-J., Duffy, J. F., Silva, E. J., Shanahan, T. L., Boivin, D. B., & Czeisler, C. A. (2012). Amplitude Reduction and Phase Shifts of Melatonin, Cortisol, and Other Circadian Rhythms after a Gradual Advance of Sleep and Light Exposure in Humans. PLoS ONE, 7(2), e30037. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030037

Figueiro, M. G., Wood, B., Plitnick, B., & Rea, M. S. (2014). The impact of watching television on evening melatonin levels. Journal of the Society for Information Display, 21, 417–421. https://doi.org/10.1002/jsid.200

Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2008). Lighting with Artificial Light 1. Frankfurt: Fördergemeinschaft Licht (FGL), p. 22. Disponível em: http://www.lightingassociates.org/i/u/2127806/f/tech_sheets/Lighting_with_Artifical_Light.pdf. Acesso em: 04 Jun. 2023.

Fuller, C., et al. (2017). Bedtime Use of Technology and Associated Sleep Problems in Children. Global Pediatric Health, 4, 1-8. https://doi.org/10.1177/2333794X17736972

Geib, L. T. C., Neto, A. C., Wainberg, R., & Nunes, M. L. (2003). Sono e envelhecimento. Revista Psiquiatria, 25(3), 453-465. https://doi.org/10.1590/S0101-81082003000300007

Gimenez, M. C., Beersma, D. G., Bollen, P., van der Linden, M. L., & Gordijn, M. C. (2014). Effects of a chronic reduction of short-wavelength light input on melatonin and sleep patterns in humans: evidence for adaptation. Chronobiology International, 31, 690–697. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24597610/

Haghani, M., Abbasi, S., Abdoli, L., Shams, S. F., Zarandi, B. F. B. B., Shokrpour, N., ... & Mortazavi, S. M. J. (2023). Blue Light and Digital Screens Revisited: A New Look at Blue Light from the Vision Quality, Circadian Rhythm, and Cognitive Functions Perspective. J Biomed Phys Eng. 1;14(3):213-228. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2106-1355.

Hale, L., & Guan, S. (2015). Screen time and sleep among school-aged children and adolescents: a systematic literature review. Sleep Medicine Reviews, 21, 50–58. DOI: 10.1016/j.smrv.2014.07.007

Heath, M., Sutherland, C., Bartel, K., Gradisar, M., Williamson, P., Lovato, N., & Micic, G. (2014). Does one hour of bright or short-wavelength filtered tablet screenlight have a meaningful effect on adolescents' pre-bedtime alertness, sleep, and daytime functioning? Chronobiology International, 31(4), 496-505. DOI: 10.3109/07420528.2013.872121

Hebert, M., Martin, S. K., Lee, C., & Eastman, C. I. (2002). The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans. Journal of Pineal Research, 33, 198–203. DOI: 10.1034/j.1600-079x.2002.01885.x

Higuchi, S., Nagafuchi, Y., Lee, S., & Harada, T. (2014). Influence of light at night on melatonin suppression in children. The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 99(9), 3298-3303. DOI: 10.1210/jc.2014-1629

Lan, L., Hadji, S., Xia, L., & Lian, Z. (2021). The effects of light illuminance and correlated color temperature on mood and creativity. Building Simulation, 14, 463–475. https://doi.org/10.1007/s12273-020-0652-z

Lee, S. I., Matsumori, K., Nishimura, Y., Ikeda, Y., Eto, T., & Higuchi, S. (2018). Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night. Physiological Reports, 6(24), e13942. https://doi.org/10.14814/phy2.13942

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M. G., Gamlin, P. D. R., Lockley, S. W., O'Hagan, J. B., Price, L. L. A., Provencio, I., Skene, D. J., & Brainard, G. C. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. Trends in Neurosciences, 37(1), 1–9. https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004

Martau, B. T. (2009). A luz além da visão. Lume Arquitetura, 38, 54-60.

Medeiros, M. F. M. (2018). Influência da temperatura de cor da luz no desempenho e sensações de alunos em baixa latitude. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

Najjar, R. P., Chiquet, C., Teikari, P., Cornut, P. L., Claustrat, B., Denis, P., et al. (2014). Aging of non-visual spectral sensitivity to light in humans: compensatory mechanisms? PLoS ONE, 9, e85837. DOI: 10.1371/journal.pone.0085837

Newman, L. A., Walker, M. T., Brown, R. L., Cronin, T. W., & Robinson, P. R. (2003). Melanopsin forms a functional short-wavelength photopigment. Biochemistry, 42, 12734–12738. DOI: 10.1021/bi035418z

Paraginski, A. L. (2014). Compasso que varia de pessoa para pessoa. Revista UCS, 5, 4-7.

Roberts, D. (2016). Blue Light – What is Blue Light? Technical Literature.

Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. Psychological Review, 103(3), 403-428. doi: 10.1037/0033-295x.103.3.403 DOI: 10.1037/0033-295x.103.3.403

Sliney, H. D. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. Eye, 30(2), 222-229. DOI: https://doi.org/10.1038/eye.2015.276

Smith, K. A., Schoen, M. W., & Czeisler, C. A. (2004). Adaptation of human pineal melatonin suppression by recent photic history. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 89, 3610–3614.

Spitschan, M., Stefani, O., Blattner, P., Gronfier, C., Lockley, S. W., & Lucas, R. J. (2022). ENLIGHT Consensus Checklist and Guidelines for reporting laboratory studies on light exposure. Sleep, 45(10), zsac173. https://doi.org/10.1093/sleep/zsac173

Sousa, C. I., Souza, C. J., & Louzada, M. F. (2013). Changes in sleep habits and knowledge after an educational sleep program in 12th-grade students. Sleep and Biological Rhythms, 11(3), 144–153. https://doi.org/10.1111/sbr.12016

Tuch, D. S., Salat, D. H., Wisco, J. J., Zaleta, A. K., Hevelone, N. D., & Rosas, H. D. (2005). Choice reaction time performance correlates with diffusion anisotropy in white matter pathways supporting visuospatial attention. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102, 12212–12217. DOI: 10.1073/pnas.0407259102

Valdez P, Ramírez C, García A, Talamantes J, Cortez J. Circadian and homeostatic variation in sustained attention. Chronobiol Int. 2010 Jan;27(2):393-416. Doi: 10.3109/07420521003765861.

Valdez, P. (2019). Circadian rhythms in attention. Yale Journal of Biology and Medicine, 92(1), 81–92. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30923475/

Valdez, P., Ramírez, C., García, A., Talamantes, J., Armijo, P., & Borrani, J. (2005). Circadian rhythms in components of attention. Biological Rhythm Research, 36(1–2), 57–65. https://doi.org/10.1080/09291010400028633

Walch, O. J., Cochran, A., & Forger, D. B. (2016). A global quantification of "normal" sleep schedules using smartphone data. Science Advances, 2(5), e1501705. DOI: 10.1126/sciadv.1501705

Weitbrecht, W. U., Bärwolff, H., Lischke, A., & Jünger, S. (2015). Wirkung der Farbtemperatur des Lichts auf Konzentration und Kreativität [Effect of Light Color Temperature on Human Concentration and Creativity]. Fortschritte der Neurologie-Psychiatrie, 83(6), 344-348 DOI: 10.1055/s-0035-1553051

Xu, S., Akioma, M., & Yuan, Z. (2021). Relationship between circadian rhythm and brain cognitive function. Chronobiology International, 38(3), 278–287. https://doi.org/10.1007/s12200-021-1090-y