

As dimensões da Carga Cognitiva e o Esforço Mental

Dimensions of Cognitive Load and Mental Effort

Marcus Vinicius Costa Alves¹

João Gabriel Modesto²

Deborah Lima-Rossetti³

Juliana Lanini⁴

Orlando Francisco Amodeo Bueno⁵

Resumo: A aprendizagem de novas informações e o tomar de decisões depende da utilização dos recursos cognitivos dos indivíduos, sendo esta utilização intrinsecamente dependente da capacidade de processamento cognitivo que os indivíduos dispõem. A Carga Cognitiva é um construto extremamente utilizado nas ciências cognitivas e da educação que representa a carga imposta ao sistema cognitivo de pessoas, fruto do Esforço Mental implicado na realização de tarefas ou da aprendizagem de novos conhecimentos. No presente estudo revisamos os conceitos de Carga Cognitiva e Esforço mental. Além disso, discutimos as implicações da utilização de recursos cognitivos e da sobrecarga desta utilização na aprendizagem, no comportamento social e como estes fatores - Carga Cognitiva e Esforço Mental - podem ser mensurados experimentalmente.

Palavras-chave: processos mentais, aprendizagem, fadiga mental, psicofisiologia, pensamento.

Abstract: Learn new information and make decisions depends on the use of cognitive resources by individuals, this use being intrinsically dependent on the capacity of cognitive processing that individuals have. The Cognitive Load construct is extremely used in cognitive and educational sciences that represents the burden imposed on the cognitive system of individuals, being the result of the Mental Effort involved on tasks or learning new knowledge. In the present study, we review the Cognitive Load and Mental Effort concepts. In addition, we discuss the implications of the use of cognitive resources and the overload of this use in learning, social behavior and how these factors - Cognitive Load and Mental Effort - can be measured experimentally.

Keywords: mental processes, learning, mental fatigue, psychophysiology, thinking.

1 Psicólogo formado pela UFBA, Mestre e doutorando em Psicobiologia pela UNIFESP. Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; processo 2013/24847-2), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e Associação Fundo de Incentivo à Pesquisa (AFIP). Contato: costaalves.mv@gmail.com

2 Psicólogo formado pela UFBA, Mestre e doutorando em Psicologia pela UnB. Professor Assistente no Departamento de Pedagogia da UEG e Professor do Departamento de Psicologia do Centro Universitário de Brasília (UnICEUB).

3 Graduanda em psicologia pela Universidade Anhembi Morumbi e aluna de iniciação científica (UNIFESP).

4 Graduada em Ciências Biológicas pela UFJF, Mestre e Doutora em Psicobiologia pela UNIFESP. Professora Substituta do Departamento de Psicobiologia da UNIFESP.

5 Formado em Psicologia pela USP, Mestre em Farmacologia pela UNIFESP e pela Escola Paulista de Medicina, Doutor em Psicobiologia pela Escola Paulista de Medicina. Professor Adjunto IV da UNIFESP. Pesquisador A1 do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

As dimensões da Carga Cognitiva e o Esforço Mental

Dimensions of Cognitive Load and Mental Effort

Marcus Vinicius Costa Alves

João Gabriel Modesto

Deborah Lima-Rossetti

Juliana Lanini

Orlando Francisco Amodeo Bueno

Introdução

Aprender uma nova informação, ser flexível na resolução de problemas ou tomar decisões acertadas são atividades comuns, porém complexas. A possibilidade da efetiva realização destas atividades está diretamente limitada pela capacidade de processamento cognitivo e dos recursos cognitivos que os indivíduos dispõem. Nas ciências cognitivas em geral, é possível encontrar diversos termos com o propósito de definir a utilização de recursos cognitivos, como por exemplo: *Cognitive Effort* (Esforço Cognitivo); *Cognitive Load* (Carga Cognitiva); *Mental Effort* (Esforço Mental); *Mental Workload* (Carga de Trabalho Mental); e *Cognitive Efficiency* (Eficiência Cognitiva).

A diferenciação entre estes termos é pouco clara, acontecendo algumas vezes uma sobreposição destes quando apresentados na literatura e até mesmo uma indefinição conceitual que termina por confundir os leitores (Jong, 2010; Kirschner & Kirschner, 2012). De forma mais categórica e rigorosa, alguns destes termos implicam em diferentes conceitos e devem ser tratados como tais (Paas, Tuovinen, Tabbers & Van Gerven, 2003).

No presente trabalho, procuraremos primeiro definir e diferenciar estes termos, seguindo a proposta de que estes conceitos implicam em diferentes dimensões de fatores cognitivos, implicando também em fenômenos díspares. Após esta definição, buscaremos revisar um dos modelos teóricos mais proeminente acerca da Carga Cognitiva, (Teoria da Carga Cognitiva), uma das teorias instrucionais mais utilizada internacionalmente nas áreas de Psicologia, Educação e Economia, embora pouco conhecida nacionalmente. Por fim, propomos na presente revisão retornar ao conceito de Esforço Mental, investigando-o de forma mais detalhada, explicitando sua concepção teórica, formas de mensuração e consequências que a sobrecarga mental pode ter na vida dos indivíduos.

As dimensões da Carga Cognitiva

De acordo com a revisão realizada por Paas e van Merriënboer (1994), Carga Cognitiva (*Cognitive Load*) pode ser definida como um construto multidimensional representando a carga imposta ao sistema cognitivo das pessoas, fruto da realização de uma tarefa em particular (Paas et al. 2003; Paas & van Merriënboer, 1994). Esse constructo representaria fatores causais (fatores que afetam e produzem uma determinada Carga Cognitiva) e fatores passíveis de avaliação (fatores que são afetados pela Carga Cognitiva) (Jong, 2010; Paas & van Merriënboer, 1994). A Carga Cognitiva é baseada na arquitetura cognitiva, sendo esta limitada pela capacidade de retenção e processamento de informações da memória operacional - tanto visuais/espaciais, quanto auditivas/verbais - que interage com a virtualmente ilimitada capacidade da memória de longo prazo (Kirschner & Kirschner, 2012). A Figura 1 mostra um esquema teórico da Carga Cognitiva, abarcando os dois fatores

supracitados (Jahns, 1973; Paas & van Merriënboer, 1994).

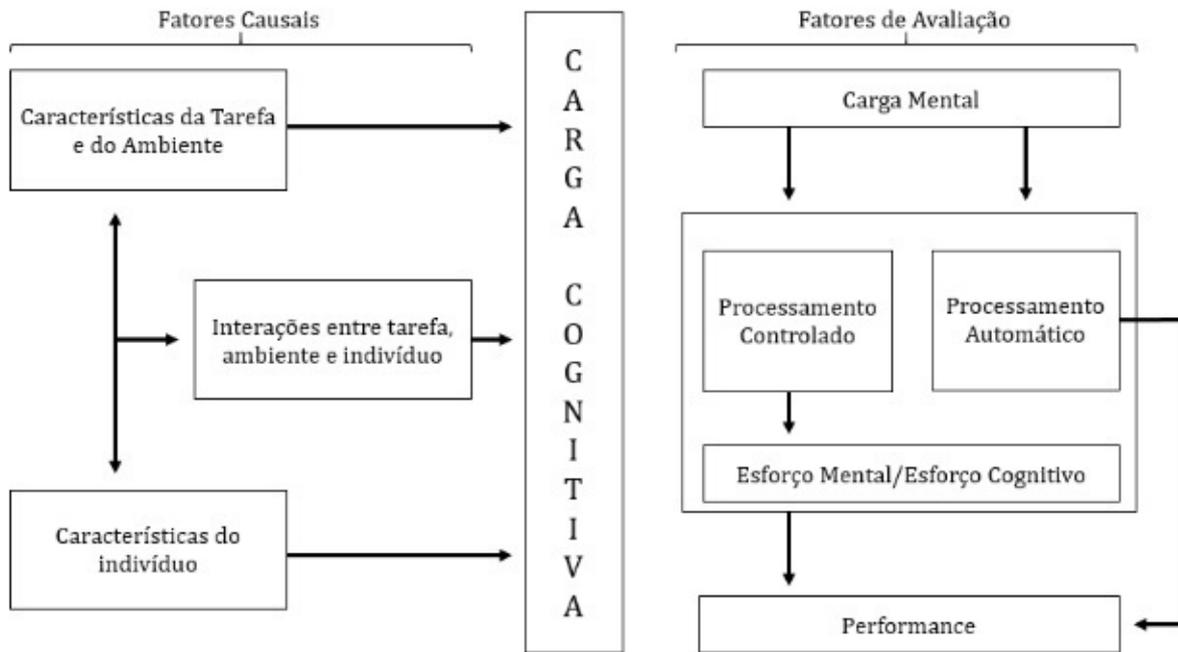


Figura 1: Esquema teórico da Carga Cognitiva, abrangendo os dois fatores.

Os fatores causais são concebidos a partir da confluência de vias relacionadas com as características da tarefa a ser realizada, do ambiente e do indivíduo que a realizará. Os fatores causais implicados pelas características da tarefa podem ser intrínsecos (ex: a aprendizagem de um conceito simples versus a aprendizagem de um conceito complexo) ou extrínsecos (ex: ruídos no ambiente em que a tarefa é realizada); o fator causal relacionado com o sujeito, estará relacionado às características subjetivas dos indivíduos para esta realização (ex: recursos mentais disponíveis, conhecimento prévio da tarefa e até possíveis estilos cognitivos de aprendizagem). As características subjetivas tendem a ser mais estáveis durante a realização de tarefas, tendo em vista que são características pessoais de cada sujeito, todavia, a relação entre estas características subjetivas, características da tarefa e as características do ambiente podem estar sujeitas a condições mais instáveis, como a motivação do sujeito para a realização da tarefa ou estado fisiológico em que este se encontra ao realizá-la.

Os fatores relacionados à avaliação, ou seja, como medir a carga cognitiva, são definidos por três diferentes dimensões, sendo elas a carga mental, o esforço mental (ou esforço cognitivo) e a performance (Paas & van Merriënboer, 1994). A carga mental (*Mental Load*) é o aspecto da carga cognitiva originada das demandas cognitivas das tarefas e do ambiente. Esta é uma dimensão ligada às características da tarefa, independente das características do sujeito. Ou seja, não importando as características dos sujeitos que realizarão uma tarefa complexa A contra uma tarefa simples B, a tarefa A sempre implicará em uma maior demanda de carga mental (CM).

Outra dimensão da Carga Cognitiva, sendo esta focada no sujeito, é o Esforço Mental

ou Esforço Cognitivo (*Mental Effort/Cognitive Effort*). Esforço Mental (EM) é o aspecto da carga cognitiva que está relacionado à capacidade de alocação de recursos mentais para a realização de uma determinada tarefa, ou seja, o EM reflete a capacidade do indivíduo de realizar o processamento controlado de informações (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977; Westbrook, Kester & Braver, 2011). O EM engloba todos os fatores causais (características da tarefa e do ambiente, do sujeito e a relação entre estas) tendo em vista que implica no investimento de um indivíduo para a realização da tarefa.

O EM pode ser mensurado enquanto os participantes estão realizando uma tarefa ou após a realização dela, como exemplo, novamente utilizando as tarefas A (complexa) e B (simples), poderia-se supor que a tarefa A sempre demandaria mais esforço cognitivo para a sua realização, todavia, um certo indivíduo pode simplesmente ter motivação maior para a realização da tarefa B e, com isso, focar seus recursos cognitivos na realização desta em detrimento da tarefa A, implicando maior esforço cognitivo para a sua realização. Outra possibilidade é a de que mesmo a tarefa A sendo mais complexa e demandante, quando um sujeito que já tenha experiência com ela, mas nenhuma experiência com a tarefa B realiza as duas, ele terá maior demanda de esforço mental para a realização da segunda do que da primeira (Paas & van Merriënboer, 1994). Sweller e colaboradores (2011) propõem conceitualmente que as dimensões CM e EM são constructos diferentes, porém positivamente correlacionados.

Além destes, mais um conceito importante para o modelo da Carga Cognitiva é a Performance. A Performance parece ser o conceito de mais simples compreensão, tendo em vista que apenas pode ser definida como as “conquistas” de quem aprende, o quão bem o indivíduo consegue realizar uma tarefa. Performance pode surgir de diversas formas, como a pontuação correta em testes, quantidade de erros cometidos, tempo realizando uma determinada tarefa dentre outros. A performance pode ser determinada enquanto um indivíduo realiza uma tarefa, ou após a sua realização. Uma diferenciação importante entre a Performance e as outras dimensões - principalmente a dimensão do EM - é a de que indivíduos diferentes realizando a mesma tarefa (i.e. com CM igual), dispostos de recursos cognitivos diferentes (por exemplo, um indivíduo experiente versus um novato), podem obter performances iguais (mesma quantidade de acertos, por exemplo), empreendendo quantidades de EM diferentes (neste exemplo, o novato tenderia a alocar mais recursos cognitivos do que o experiente para a realização da mesma tarefa e obter a mesma pontuação).

Uma noção importante para a compreensão do funcionamento cognitivo é a de que as informações são processadas pelos indivíduos por dois tipos diferentes de sistemas, sendo um realizando um processamento automático e o outro realizando um processamento controlado (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977). Estes dois sistemas possuem características díspares e antinômicas, como é possível perceber na Tabela 1.

Além de diversos outros fatores, estes sistemas se diferenciam principalmente pela demanda de esforço mental que exigem, complementando o modelo de Paas & van Merriënboer (1994). Sendo assim, o EM está altamente relacionado com o tipo de sistema cognitivo utilizado para processar as informações (Kahneman, 1973).

Tabela 1: Teoria do Processamento Dual de Informações

	Sistema Automático	Sistema Controlado
Velocidade de processamento	rápido	lento
Nível de processamento cognitivo	níveis baixos	níveis relativamente altos (exigem análise ou síntese)
Tipo de processamento	realizado paralelamente	realizado serialmente
Carga de trabalho	não reduz a capacidade de realizar outras tarefas	reduz a capacidade de realizar outras tarefas
Grau de consciência	fora do conhecimento consciente	exige conhecimento consciente
Quantidade de esforço intencional	pouco ou nenhum esforço intencional	exige esforço intencional
Surgimento do sistema	anterior ao sistema controlado, devido às pressões evolutivas.	posterior ao sistema automático, com o desenvolvimento das capacidades conscientes e mais complexas
Novidade relativa das tarefas	tarefas conhecidas ou praticadas, com características estáveis	tarefas novas ou com muitos aspectos variáveis
Dificuldade das tarefas	tarefas relativamente fáceis	tarefas geralmente difíceis
Uso de recursos atencionais	consomem recursos de atenção insignificantes	consomem muitos recursos atencionais
Flexibilidade	menos flexível	mais flexível
Tipos de memórias relacionadas	usualmente memória não declarativa (implícita)	usualmente memória declarativa (explícita) e memória operacional

Adaptado de Pereira, Dantas & Alves (2011).

O sistema automático vai processar as informações sem exigir esforço mental, enquanto que o sistema controlado exige esforço mental como forma intrínseca de sua definição. O sistema automático processa as informações de forma rápida, inconsciente, sem uma avaliação dos indivíduos e com o uso de mínimos recursos atencionais (Hasher & Zacks, 1984; Schneider & Shiffrin, 1977). O EM necessário para realizar tarefas automáticas é mínimo e geralmente as tarefas relacionadas com o automatismo são fáceis ou foram assimiladas pelos indivíduos após uma quantidade considerável de experiências com elas, como um treino (Jacoby, 1998; McCabe, Roediger & Karpicke, 2011). O sistema automático está relacionado com funções implícitas e não controladas do cérebro, necessárias para realização de tarefas mais rápidas e simples. Sendo assim, o uso de recursos mentais ao se realizar tarefas que tenham se automatizado é muito pequeno (Hasher & Zacks, 1984;

Jacoby, 1991; Jacoby, 1998). Quando aprendendo informações novas, os indivíduos tendem a construir esquemas cognitivos que facilitam a ligação entre elas, promovendo maior automatização e menor EM (Schneider & Shiffrin, 1977)

O processamento pelo sistema controlado se dá por meio de esforço mental, majoritariamente de forma consciente. As tarefas relacionadas com o processamento controlado são habitualmente mais complexas que as tarefas relacionadas com o processamento automático (apesar de não necessariamente consistir de tarefas difíceis), ocorrendo também de forma mais lenta. O sistema controlado está associado às funções cognitivas mais elaboradas, permitindo o surgimento de alicerces fundamentais para a consciência e linguagem, logo o uso de recursos cognitivos para a realização de tarefas controladas é maior e mais exaustivo que quando em tarefas automáticas (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977).

Além dos modelos teóricos já explicitados, uma teoria proeminente, cunhada por Sweller (1988), procura compreender a relação entre estes diversos fatores. A Teoria da Carga Cognitiva assume que há uma ligação entre a capacidade de retenção de informações, a arquitetura cognitiva básica que provém o funcionamento mental básico e a utilização de recursos cognitivos.

Teoria da Carga Cognitiva

John Sweller (1988) assume em sua Teoria da Carga Cognitiva (TCCO; *Cognitive Load Theory*) que há uma ligação da limitada capacidade de memória operacional que os indivíduos dispõem – uma limitação na capacidade de reter e manipular itens em curto prazo – com a ilimitada capacidade de retenção de itens na Memória de Longo Prazo (Baddeley, 1986), e que esta limitação geraria a necessidade de alocar recursos cognitivos para a manutenção e manipulação de informações. Essa manutenção e manipulação de informações estaria relacionada com a capacidade dos indivíduos de promover o agrupamento de informações em esquemas que facilitariam a automatização do acesso ao conhecimento (Gerjets, Scheiter & Cierniak, 2009).

Com isso, o foco principal desta teoria está na compreensão de como as limitações da memória operacional, ou seja, da estrutura básica cognitiva dos indivíduos, influenciará a habilidade destes de gerir seus recursos mentais para um determinado fim (aprendizagem, por exemplo), quando confrontados com tarefas que demandam mais ou menos desta capacidade. Sendo assim, a TCCO considera os fatores que podem influenciar a efetividade cognitiva dos indivíduos, visando promover aprendizagem e realização de tarefas mais efetivamente.

A TCCO divide as Carga Cognitiva em três: 1) Carga Intrínseca (*Intrinsic Load*); 2) Carga Irrelevante ou Estranha (*Extraneous Load*); e 3) Carga Relevante ou Pertinente (*Germane Load*). Estas cargas são aditivas, ou seja, o total da demanda dessas cargas proveniente de uma instrução não pode superar o limite de recursos cognitivos disponíveis para que, por exemplo, a aprendizagem aconteça (Kirschner & Kirschner, 2012).

Tendo em vista que a proposta da TCCO é entender como as diversas cargas estão relacionadas para promover uma maior efetividade instrucional para os indivíduos, ou seja, tarefas que permitam melhores desempenhos, a TCCO vai focar na estrutura da instrução e da tarefa em si. Como exemplo de tarefa, utilizaremos um professor em uma sala de aula, ensinando para seus alunos. A Carga Intrínseca (CINT) é a carga relativa à tarefa ou

à instrução. É a carga implícita ao material, estando diretamente ligada aos elementos que deverão ser processados (Sweller, 1988; Debue & van de Leemput, 2014). A CINT está relacionada aos conceitos, procedimentos e às próprias características do que deverá ser aprendido, inclusive relacionada à interação entre estes elementos. A CINT acaba também por estar relacionada com a experiência dos sujeitos com uma tarefa ou conteúdo, por exemplo, um aluno que domine um determinado assunto e já possui esquemas cognitivos (categorização do conhecimento na memória de longo prazo para mais fácil acesso) acerca do conteúdo terá menos necessidade de dispor de recursos cognitivos para aprender um determinado conceito do que um aluno que está vendo este conteúdo pela primeira vez. Em nosso exemplo, a CINT é então a demanda de recursos cognitivos para aprender o conteúdo da aula.

A Carga Irrelevante (CIRR) está relacionada com o ruído nas tarefas, sendo assim, quanto menor a CIRR, melhor o desempenho dos indivíduos. Caso nosso professor apresentasse sua aula com um slide repleto de textos que serviriam apenas para dividir a atenção dos alunos entre os textos e a sua voz, essa competição causada pelos textos - e o slide em si - poderia ser considerada como uma demanda maior de CIRR. A CIRR se refere aos recursos mentais direcionados a elementos que acabam por não contribuir na aprendizagem ou mesmo na formação de esquemas cognitivos e, conseqüentemente, na automatização (Debue & van de Leemput, 2014). A CIRR então está relacionada com os elementos da tarefa que aumentam a carga cognitiva global, mas não ajudam na aprendizagem.

A Carga Relevante (CREL) está relacionada à modulação dos recursos cognitivos por parte do indivíduo ao se adaptar para realizar diferentes tarefas. O termo "Relevante" aqui faz direta consideração ao fato de que esta carga está relacionada com a capacidade do indivíduo de formar esquemas cognitivos acerca das informações, ou seja, o aumento desta carga provém aos indivíduos meios para utilizar mais recursos cognitivos na aprendizagem. Quanto maior a CREL, melhor o desempenho.

A CREL é a carga que permite o melhor manejo dos recursos mentais para a construção de esquemas - promovendo a automatização da aprendizagem - acerca das informações. Seguindo o nosso exemplo, para que a aula do professor seja melhor compreendida, ele deve favorecer a CREL, fazendo com que seus alunos foquem seus recursos cognitivos nas partes relevantes para a aprendizagem. Para permitir esse aumento de CREL, o professor pode usar exemplos com diversos contextos, favorecer a exploração dos exemplos (permitindo que os alunos tentem criar autoexplicações sobre o conteúdo) ou promover a prática mental do conteúdo aprendido. Todas essas possíveis ações vão favorecer a criação de esquemas e a conseqüente automatização do conhecimento.

Apesar da TCCO não ser nova, a relação entre estes conceitos ainda está sendo definida e passa por algumas críticas. Há argumentos que criticam o modelo triásico, considerando que a CINT se referiria à performance dos indivíduos e a CREL seria, por exemplo, apenas as estratégias utilizadas pelas pessoas para aprender algo ou realizar melhor uma tarefa. Outros críticos ainda afirmam que não haveria diferenças entre CINT e CREL. Todavia, a TCCO ainda é a teoria mais proeminente para explicar a Carga Cognitiva de tarefas e sua delimitação é iminente.

Apesar desta grande diferenciação proposta pela TCCO, todas as três cargas estão altamente relacionadas com o EM empreendido pelos indivíduos e justamente por isso a confusão acerca destas dimensões ainda é muito difundida. A capacidade de utilização dos

recursos cognitivos é limitada pela quantidade de recursos que os indivíduos possuem e a utilização desta capacidade de recursos cognitivos acaba por afetar o processamento de informações tanto em sua velocidade, quanto em sua efetividade (Gopher & Donchin, 1986; Kahneman, 1973; Yeo & Neal, 2008). Quando essa limitação de recursos é exasperada, os indivíduos sofrem as consequências de uma sobrecarga cognitiva.

Sobrecarga cognitiva

Quando a capacidade de memória e de utilização de recursos cognitivos é usada até sua exaustão, é considerado que o indivíduo está com uma sobrecarga cognitiva. Ou seja, o limiar de recursos cognitivos disponíveis para processar informações é ultrapassado. Esta sobrecarga vai afetar os processos cognitivos em geral como a memória, a atenção e a percepção, repercutindo, por conseguinte, em diversos erros cognitivos e sócio-cognitivos.

Erros de tomadas de decisão são comuns em profissões estressantes e com alta demanda cognitiva. Uma tendência é a de que a pressão do momento, o esforço mental para que o foco atencional e a fadiga dos profissionais favoreçam o erro, em função da ativação de processos automáticos em detrimento de um processamento mais deliberativo da informação. Estes erros na tomada de decisão podem ser extremamente deletérios a depender da profissão (Ma, Correll, Wittenbrink, Bar-Anan, Nosek, & Sriram, 2013). A sobrecarga cognitiva pode levar a diversos outros vieses que interferem em uma avaliação e tomada de decisão individual. Um exemplo no âmbito do crime e da justiça é o de que quando avaliada uma situação de crime, a sobrecarga contribui com o incremento da atribuição de culpa e indicação de uma punição mais severa quando estão ativados estereótipos negativos associados ao perpetrador (Van Knippenberg, Dijksterhuis, & Vermeulen, 1999).

Desafortunadamente, a relação entre esforço cognitivo e estereótipos não é percebida apenas no âmbito jurídico, existindo evidências dessa relação também no âmbito da saúde. Em situações de sobrecarga cognitiva, médicos estão mais propensos a prescrever tratamentos diferentes quando comparados pacientes brancos e negros (Burgess et al. 2014). Há evidências que, além de vieses raciais, a sobrecarga cognitiva, muitas vezes associada ao *multitasking* da prática médica, pode favorecer erros médicos (Laxmisan, Hakimzada, & Sayan, 2007).

A sobrecarga, no entanto, não contribui apenas com ações de valência negativa. Em função da redução das capacidades cognitivas advindas da sobrecarga, indivíduos apresentam uma menor tendência em agir de maneira desonesta (van't Veer, Stel, & van Beest, 2014). Os autores identificaram que, para mentir, são necessários amplos recursos cognitivos (o que é dificultado na sobrecarga), na medida em que é preciso inventar uma história e monitorar o próprio relato. Porém o que é indiscutível é que a sobrecarga cognitiva termina por limitar os processamentos cognitivos dos indivíduos na realização de suas tarefas e na aprendizagem.

A mensuração do Esforço Mental

Mensurar o EM é um empreendimento importante para a criação de hipóteses para o estudo da cognição (Beatty & Lucero-Wagoner, 2000; Kahneman, 1973; Kahneman & Peavler, 1969). Saber a quantidade de EM investido na realização de uma tarefa é importante pois, principalmente sob a perspectiva da TCCO, é possível aperfeiçoar o desenvolvimento

de tarefas e instruções que possibilitem a melhor aprendizagem, manejando as cargas envolvidas. Por fim, é possível avaliar a eficiência de tarefas, aulas, experimentos e muitos outros fatores ao observar-se, por exemplo, a relação entre o EM demandado pelos indivíduos e a performance posterior relacionada ao estímulo apresentado (Kirschner & Kirschner, 2012). Há três formas principais de mensurar o EM: 1) Medidas subjetivas; 2) Medidas baseadas na performance; 3) Medidas fisiológicas.

Medidas subjetivas de Esforço Mental

Escalas são utilizadas como avaliação subjetiva de esforço mental e sua aplicação se dá pela avaliação das tarefas (ou instruções) pelos sujeitos. Com isso, avalia-se o EM como percebido pelos indivíduos. Essa forma de mensuração se demonstra bastante eficaz e sensível para diferenciar a carga cognitiva imposta por diferentes procedimentos de instrução (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011). Existem dois tipos de escalas: as unidimensionais que têm por objetivo mensurar apenas o esforço mental empreendido em uma atividade, e as multidimensionais, que se concentram em investigar os diferentes elementos das cargas cognitivas, buscando uma avaliação mais ampla, considerando as diferentes cargas envolvidas (Debue & Van de Leemput, 2014).

A “Escala de Mensuração Subjetiva da Carga Cognitiva” (*Subjective Cognitive Load Measurement Scale, SCLM*) é um exemplo de escala unidimensional. Ela consiste na classificação pelos próprios indivíduos do esforço mental empreendido em valor numérico de 1 (baixíssimo esforço mental) a 9 (altíssimo esforço mental). Esse tipo de instrumento pode ser criticado justamente por não abordar o aspecto multifatorial da Carga Cognitiva, mas são extremamente úteis para a avaliação do EM.

Um exemplo de escala multidimensional é o “Índice de Carga da Tarefa da NASA” (*NASA Task Load Index*), que utiliza seis dimensões para sua avaliação, sendo elas: performance, esforço mental, frustração, demanda da tarefa, demanda física e demanda temporal (*NASA-TLX*, Hart & Staveland, 1988), essa ferramenta já foi adaptada ao contexto de Teoria de Carga Cognitiva em vários estudos (Ceggara & Chevalier, 2008; Gerjets, Scheiter, & Catrambone, 2004; Scheiter, Gerjets, & Catrambone, 2006). Em busca de uma melhor delimitação para a avaliação da Carga Cognitiva de forma completa, Leppink e colaboradores (2013) desenvolveram uma escala que utiliza múltiplos itens para cada tipo de carga, aumentando a precisão para a avaliação.

Apesar dos diversos resultados demonstrando a possibilidade de avaliar subjetivamente o EM, é preciso notar que existem limitações em medidas autorreferentes. Uma delas é que as escalas são aplicadas após a aprendizagem ou realização das tarefas e, desta forma, não expressam as variações do EM durante o processo (Debue & Van de Leemput, 2014). Outro adendo é que para se obter um resultado mais fidedigno do EM empreendido em diferentes tarefas durante um estudo, a melhor forma de se utilizar as escalas é pedindo para que os indivíduos avaliem as tarefas logo após elas serem feitas, viabilizando que as diferenças entre as tarefas sejam mais perceptíveis e que a possível fadiga ao final de uma avaliação não influencie a percepção do participante.

Medidas de Esforço Mental baseadas na performance

As medidas de EM baseadas na performance são de simples compreensão, pois refletem o quão bem um indivíduo consegue realizar uma tarefa mais ou menos

demandante. Tendo em vista que a sobrecarga cognitiva tende a afetar a aprendizagem e a realização de tarefas, um desempenho pobre pode ser atribuído ao esforço mental demandado pela tarefa ou pela instrução em si (Debue & Leemput, 2014).

É possível medir o EM baseado na performance de duas formas diferentes, a primeira sendo a mensuração direta de uma determinada tarefa (tarefa primária). A segunda forma é medindo uma tarefa concorrente (tarefa secundária) que, ao disputar os recursos demandados pela tarefa primária, seja também afetada por este fator em sua performance (Paas et al., 2003). A tarefa secundária normalmente é uma tarefa simples que requer a utilização mínima de recursos atencionais, mas que quando os recursos são esgotados pela tarefa primária tende a se tornar de difícil realização. Normalmente em estudos de EM se utiliza apenas a tarefa primária, pois a segunda tarefa pode resultar em interferência (Paas et al., 2003). Possíveis variáveis para se medir o EM são o tempo de reação, a acurácia na realização das tarefas e as quantidades de erros.

Apesar da fácil utilização e compreensão, as medidas baseadas na performance são - assim como as medidas subjetivas - extremamente suscetíveis ao erro devido ao caráter indireto da mensuração.

Medidas fisiológicas de Esforço Mental

Uma forma extremamente útil de se mensurar o EM é utilizando índices psicofisiológicos. Este tipo de índice vai conseguir mensurar o EM realizado por um indivíduo durante a realização de uma determinada tarefa ou durante a aprendizagem, suprindo lacuna deixada pelas escalas subjetivas.

O sistema nervoso autônomo (SNA) é a porção do sistema nervoso responsável pela manutenção da homeostase do organismo frente aos desafios a ele impostos. A ativação de uma resposta autonômica também se dá pela necessidade de realizar uma tarefa cognitiva, implicando, em intensidade variada, no empenho do sujeito em realizar o esforço cognitivo, que por sua vez vem acompanhado de sinais de ativação simpática observáveis. O funcionamento do SNA é orquestrado pela ação conjunta de dois subsistemas quase sempre antagônicos, o simpático (SNS) e o parassimpático (SNP; Morrison 2001). Sendo assim, alguns marcadores fisiológicos são comumente utilizados em pesquisas de esforço mental, os quais vamos abordar resumidamente, tais como condutância da pele, pupilometria, frequência cardíaca e registros de atividade cerebral (EEG).

Em relação à condutância da pele, esta está envolvida na expressão de eventos cognitivos complexos como a expressão de emoções e sinais relacionados à interação social intra e interespecífica. Mais precisamente, a pele é dotada de inúmeras glândulas produtoras de suor (glândulas endócrinas, localizadas em toda a extensão da pele e com maiores concentrações na palma das mãos) comandadas exclusivamente pela porção simpática do SNA. A ativação do SNS por um estímulo alertante resulta no aumento da condutância elétrica na pele (Critchley, 2005). Desta forma, o estudo da atividade elétrica da pele pode ser considerado uma medida indireta do alerta fisiológico, tendo sido amplamente utilizada desde os primórdios da psicofisiologia (Cacioppo, Tassinari, Berntson, 2007).

Estudos que investigaram a resposta galvânica da pele em situações de esforço mental demonstraram que ela aumenta proporcionalmente à demanda cognitiva e atencional exigida pela tarefa (Lanini, Galduróz, & Pompéia, 2016). Outros estudos mostram, através

de neuroimagem, que a atividade eletrodérmica é intimamente relacionada à ativação do lobo pré-frontal e amígdala, estruturas ligadas respectivamente ao funcionamento executivo e às emoções (Cacioppo et al. 2007).

Apesar da relação muito estudada entre a cognição e a resposta galvânica, o índice fisiológico mais utilizado para a investigação do EM é a dilatação pupilar (pupilometria). A função da pupila mais conhecida é a de adaptação a variações de luminosidade, porém o emprego de técnicas de pupilometria no campo da psicologia cognitiva data de aproximadamente 50 anos atrás (Laeng, Sirois, & Gredebäck, 2012), e tem como embasamento a observação de que o diâmetro da pupila aumenta em resposta a estímulos cognitivos, como a execução de um teste ou a contemplação de uma fotografia com conteúdo emocional (Simpson 1969; Beatty 1982; Laeng et al. 2012). Ainda, a correlação entre a resposta pupilométrica e estímulos cognitivos ganhou suporte na observação de que a midríase é intimamente relacionada à ativação do locus coeruleus, uma estrutura subcortical ligada ao controle atencional (ver Petersen & Posner 2012).

Inúmeros estudos que empregaram a pupilometria como medida complementar na execução de tarefas cognitivas demonstraram que a magnitude da midríase é diretamente relacionada à demanda cognitiva exigida pela tarefa (Laeng et al. 2012). Assim, o emprego de técnicas que avaliam a resposta pupilométrica representam uma ferramenta importante no estudo do alerta cognitivo - mental - e fisiológico (Cacioppo et al. 2007).

Assim como a pupilometria e a condutância da pele, a atividade do sistema cardiovascular é relacionada ao SNA e representa uma importante ferramenta de investigação no campo da psicofisiologia. Em sujeitos saudáveis, o coração bate cerca de 70 vezes por minuto (Cacioppo et al. 2007). Situações alertantes são associadas à maior ativação do SNS e conseqüentemente ao aumento da frequência cardíaca (FC; Cacioppo et al. 2007). Por outro lado, a estimulação do SNP tende a diminuir a FC. Inúmeros estudos que empregaram a avaliação da FC como medida indireta de ativação simpática e esforço cognitivo (Mulder & Mulder 1981; Veltman & Gaillard 1993) sugerem que o aumento da demanda cognitiva é associado ao aumento da ativação simpática, e conseqüentemente, ao aumento da FC. Outros estudos apontam uma relação entre a FC e ativação do córtex pré-frontal (Thayer et al. 2009).

Uma das formas mais complexas, porém mais bem sucedida para se mensurar o EM fisiologicamente é a utilização de eletroencefalograma (EEG). Esta é uma técnica que mede diferentes ondas cerebrais utilizando eletrodos acoplados ao escalpo dos indivíduos. O EEG é extremamente sensível a mudanças de atividade cognitiva e uma maior ativação cortical vai representar também maior ativação mensurada pelo EEG e, com este tipo de medida, é possível também verificar os potenciais de ação (PA). PA são as mudanças de voltagem medidas na superfície do escalpo utilizando o EEG. Enquanto a EEG representa uma mudança de atividade espontânea do cérebro, os PA são o reflexo de atividade em resposta a um determinado estímulo (Antonenko, Paas, Grabner, & van Gog, 2010). Um ponto negativo da utilização do EEG é que esta é uma medida mais invasiva do que a pupilometria, por exemplo, não permitindo que os indivíduos estejam mais confortáveis quando realizando os estudos (Antonenko et al., 2010). Além disso, como em todas as medidas fisiológicas, é preciso um aparelhamento experimental controlado para a sua utilização. Todavia, as medidas fisiológicas em geral permitem a obtenção de dados relevantes, diretos e objetivos

Conclusão

O estudo das dimensões da carga cognitiva e do **esforço mental é um empreendimento valioso para as ciências cognitivas. Diversos pesquisadores** utilizam deste conceito para compreender os fenômenos comportamentais em áreas que vão da psicologia social à economia, da neurociência cognitiva experimental à educação. **Apesar desta grande imersão nas ciências cognitivas, nacionalmente os conceitos de EM e de carga cognitiva ainda são poucos compreendidos e utilizados como possibilidade explicativa de diversos fenômenos. No presente trabalho, buscamos estruturar estes** conceitos de forma a facilitar o seu entendimento e utilização nas ciências cognitivas.

Referências

- Alves, M. V. C.; & Bueno, O. F. A. (2017) Retroactive Interference: Forgetting as an Interruption of Memory Consolidation. *Trends in Psychology/Temas em Psicologia*, 25 (3), 1055-1067. DOI: 10.9788/TP2017.3-07En
- Antonenko, P., Paas, F.; Grabner, R & van Gog, T. (2010). Using Electroencephalography to Measure Cognitive Load. *Educational Psychology Review* 22:425 – 438. <http://dx.doi.org/10.1007/s10648-010-9130-y>
- Baddeley, A. D. (1986). Working memory. Oxford: Oxford University Press.
- Beatty, J. (1982). Task-Evoked Pupillary Responses, Processing Load, and Structure of Processing Resources. *Psychological Bulletin*, 91 (2), 276 – 292.
- Beatty, J.; & Luccero-Wagoner, B. (2000). The Pupillary System. Em John T. Cacioppo, Louis G. Tassinary, & Gary G. Berntson (Eds), *Handbook of Psychophysiology* (2ed.), USA: Cambridge University Press, p. 142-161. <http://dx.doi.org/10.1017/9781107415782>
- Burgess, D. J., Phelan, S., Workman, M., Hagel, E., Nelson, D. B., Fu, S. S., Widome, R. & van Ryn, M. (2014). The effect of cognitive load and patient race on physicians' decisions to prescribe opioids for chronic low back pain: a randomized trial. *Pain Medicine*. 2014 Jun;15(6):965-74. <http://dx.doi.org/10.1111/pme.12378>
- Cacioppo, T., Tassinary, L. G., Berntson, G. (2007). *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge University Press, New York. <http://dx.doi.org/10.1017/9781107415782>
- Ceggara, J., & Chevalier, A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods* 40, 988–1000. <http://dx.doi.org/10.3758/BRM.40.4.988>
- Critchley, H. D. (2005). Neural mechanisms of autonomic, affective, and cognitive integration. *The Journal of Comparative Neurology* 493:154-166. <http://dx.doi.org/10.1002/cne.20749>
- Debue, N., van de Leemput, C. (2014). What does germane load mean? An empirical contribution to the cognitive load theory. *Frontiers in Psychology*. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01099>
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science*. 32, 33–58. <http://dx.doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021809.10236.71>

- Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The scientific value of cognitive load theory: are search Agenda based on the structuralist view of theories. *Educational Psychology Review* 21, 43–54. <http://dx.doi.org/10.1007/s10648-008-9096-1>
- Gopher, D., & Donchin, E. (1986). Workload: An examination of the concept. In Boff, K. R., Kaufman, L. & Thomas, J. P. (Eds.), *Handbook of perception and human performance: Vol. II. Cognitive processes and performance* (pp. 41.1-41.49). New York: Wiley.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In Hancock, P. A. & Meshkati, N. (Eds.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press. [http://dx.doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Hasher, L.; & Zacks, R. T. (1984) Automatic Processing of Fundamental Information: The Case of Frequency of Occurrence. *American Psychologist*, 39 (12), 1372 – 1388. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.39.12.1372>
- Jacoby, L. L. (1998) Invariance in Automatic Influences of Memories: Toward a User's Guide for the Process Dissociation Procedure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 3-26. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.24.1.3>
- Jacoby, L.L., (1991). A process dissociation framework: separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language* 30, 513–541. [http://dx.doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90025-F](http://dx.doi.org/10.1016/0749-596X(91)90025-F)
- Jahns, D.W. 1973. A Concept of Operator Workload in Manual Vehicle Operations. Forschungs Institute Anthropotechnik, Meckenheim, West Germany (Technical report No. 14)
- Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38: 105. <http://dx.doi.org/10.1007/s11251-009-9110-0>
- Kahneman, D. (1973) *Attentions and Effort*. Englewoods Cliff, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kahneman, D & Peavler, W. S. (1969). Incentive effects and Pupillary Changes INS Association Learning. *Journal of Experimental Psychology*, 7 (2), 312-318.
- Kirschner, P.A. & Kirschner, F. (2012). Mental effort. In Seel, N. M. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New York. NY: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6>
- Laeng, B., Sirois, S. & Gredebäck, G. (2012). Pupillometry A Window to the Preconscious?. *Perspectives on Psychological Science* 7:18-27. <http://dx.doi.org/10.1177/1745691611427305>
- Lanini, J., Galduróz, J. C. F., Pompéia, S. (2016). Acute personalized habitual caffeine doses improve attention and have selective effects when considering the fractionation of executive functions. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*; 31(1):29-43. <http://dx.doi.org/10.1002/hup.2511>
- Laxmisan, A., Hakimzada, F. & Sayan, O. R. (2007). The multitasking clinician: decision-making and cognitive demand during and after team handoffs in emergency care. *International Journal of Medical Informatics*, 76: 801-811. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.09.019>
- Leppink, J., Paas, F., Vleuten, C. P. M. V., der Gog, T. V. & Merriënboer, J. J. G. V. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods* 45, 1058–1072. <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Ma, D. S., Correll, J., Wittenbrink, B., Bar-Anan, Y., Nosek, B. A. & Sriram, N. (2013). When Fatigue Turns Deadly: The Association Between Fatigue and Racial Bias in the Decision

- to Shoot. *Basic and Applied Social Psychology*, 35:515–524, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/01973533.2013.840630>.
- McCabe, D. P., Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2011). Automatic processing influences free recall: Converging evidence from the process dissociation procedure and remember-know judgments. *Memory & Cognition*, 39, 389-402. <http://dx.doi.org/10.3758/s13421-010-0040-5>
- Morrison, S. F. (2001). Differential regulation of sympathetic outflows to vasoconstrictor and thermoregulatory effectors. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 940:286-98. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb03684.x>
- Mulder, G. & Mulder, L. J. M. (1981). Information processing and cardiovascular control. *Psychophysiology* 18, 392–402. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb02470.x>
- Paas, F., and Van Merriënboer, J. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review* 6, 351–371. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02213420>
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist* 38, 63–71. http://dx.doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8
- Pereira, M. E., Dantas, G. S. & Alves, M. V. (2011) Estereótipos, automatismos, controle e a identificação de armas e ferramentas em diferentes contextos: resultados preliminares. In: Lima, E. M. E. O. (Org.). *Cultura e produção das diferenças: estereótipos e preconceito no Brasil, Espanha e Portugal*. Brasília: Technopolitik, 2011, p.77-105.
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annual Review of Neuroscience* 35, 73–89. <http://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>
- Scheiter, K., Gerjets, P. & Catrambone, R. (2006). Making the abstract concrete: visualizing mathematical solution procedures. *Computers in Human Behavior* 22, 9–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2005.01.009>
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search, and Attention. *Psychological Review*, 84 (1), 1-66. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.127>
- Simpson, H. M. (1969). Effects of a task-relevant response on pupil size. *Psychophysiology*. 6: 115–121. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.1969.tb02890.x>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving - effects on learning. *Cognitive Science*. 12:257-285. http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Sweller, J., Ayres, J. & Kalyuga, P. (2011). *Cognitive Load Theory*. Psychology of Learning and Motivation. Springer - Verlag New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Thayer, J. F. & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33 (2), 81–88.
- Van Knippenberg, A., Dijksterhuis A. & Vermeulen, D. 1999. Judgement and memory of a criminal act: the effects of stereotypes and cognitive load. *European Journal of Social Psychology*. Volume 29, Issue 2-3. March - May 1999. Pages 191–201.

[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0992\(199903/05\)29:2/3%3C191::AID-EJSP923%3E3.0.CO;2-O](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-0992(199903/05)29:2/3%3C191::AID-EJSP923%3E3.0.CO;2-O)

Veltman, J. A. & Gaillard, A. W. K. (1993). Measurement of pilot workload with subjective and physiological techniques. Proceedings of the Workload Assessment and Aviation Safety Conference, Royal Aeronautical Society, April 27-28.

Westbrook, A., Kester, D. & Braver, T. S. (2011). What is the subjective cost of cognitive effort? Load, trait, and aging effects revealed by economic preference. *PLoS One*. 2013;8:e68210. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0068210>

Yeo, G. & Neal, A. (2008). Subjective Cognitive Effort: A Model of States, Traits, and Time. *Journal of Applied Psychology*, 93 (3), 617 – 631. <http://dx.doi.org/10.1037/0021-9010.93.3.617>