

Interfaces entre Neurociência e Ensino: O emprego da Carga Cognitiva para Avaliação da Aprendizagem

Interfaces Between Neuroscience and Teaching: The use of Cognitive Load to Learning Assessment

Ericarla de Jesus Souza

Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC)
UFBA/UEFS
ericarlasouza@ufba.br

Alexmeire Araújo Costa Silva

Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC)
UFBA/UEFS
alexmeire.silva@gmail.com

Amanda Amantes

Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC)
UFBA/UEFS
amandaamantes@gmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo fazer uma primeira discussão teórica sobre o uso de um elemento da Neurociência, no caso a Carga Cognitiva, e apresentar o *design* de estudo do emprego desse elemento para poder avaliar a aprendizagem a partir do desempenho em tarefas científicas. Uma das perspectivas que têm se mostrado promissoras para entender os processos de desenvolvimento cognitivo são estudos sobre o funcionamento cerebral e sobre as demandas em relação à cognição da Carga Cognitiva. Esta pode ser definida como um construto multidimensional representando a carga imposta ao sistema cognitivo das pessoas, fruto da realização de uma tarefa em particular, e pode ser de três tipos: Carga Cognitiva Intrínseca, Estranha e Pertinente.

Palavras chave: neurociência, carga cognitiva, aprendizagem

Abstract

This work aims to make a first theoretical discussion about the use of an element of Neuroscience, in this case Cognitive Load, and to present the study design of the use of this element in order to evaluate learning based on performance in scientific tasks. One of the perspectives that have shown promise for understanding cognitive development processes are studies on brain functioning and on the demands in relation to cognition of the Cognitive Load. This can be defined as a multidimensional construct representing the load imposed on people's

cognitive system, as a result of performing a particular task, and can be of three types: Intrinsic Cognitive Load, Strange and Relevant.

Key words: neuroscience, cognitive load, learning

Introdução

Um dos principais objetivos de todo professor é fazer com que os alunos consigam aprender o conteúdo ensinado. Na perspectiva de Polanyi (1966), conhecimento é considerado um termo tácito, ou seja, algo que está associado ao que sabemos, mas não conseguimos explicar ou expressar. Podemos observar a explicação dessa teoria nos seguintes termos:

Vou reconsiderar o conhecimento humano partindo do fato de que podemos saber mais do que podemos dizer. Esse fato parece bastante óbvio; mas não é fácil dizer exatamente o que isso significa. Tome como exemplo que conhecemos o rosto de uma determinada pessoa, e podemos reconhecê-lo entre mil ou um milhão de outros rostos. Não podemos dizer como reconhecemos um rosto que conhecemos. Pois a maior parte desse conhecimento não pode ser colocada em palavras. (POLANYI, 1966, p. 136, tradução nossa).

Sabemos mais do que conseguimos explicitar, na medida em que o conhecimento é algo inerente ao sujeito. O conhecimento tácito é algo que se sabe, possivelmente mesmo na ausência da capacidade para se explicar (CARDOSO; CARDOSO, 2007).

Um dos problemas consiste em acessar e avaliar o que não se consegue explicar, o que é denominado Traços Latentes. Para Bolen (2012), variáveis não medidas, fatores, variáveis não observadas, constructos ou pontuações verdadeiras são alguns dos termos que os pesquisadores usam para se referir a um modelo que não é apresentado apenas no conjunto de dados.

Nesse sentido, concebemos que Traços Latentes são atributos abstratos que são construídos (ou inventados) a partir de uma teoria (ou um conjunto de teorias), mas que podem ser relacionados a dados observáveis por meio dessa mesma teoria. Em outras palavras, é aquilo que não conseguimos acessar do sujeito diretamente, mas que é possível inferir através de manifestações observáveis (AMANTES; COELHO; MARINHO, 2015).

Uma das maneiras de olhar como as pessoas aprendem tem surgido na literatura a partir da relação estabelecida com princípios da Neurociência. Uma das perspectivas que têm se mostrado promissoras para entender os processos de aprendizagem e de desenvolvimento cognitivo são estudos sobre a Carga Cognitiva (BRAGA, 2018; FRANCO, 2019; FALCADE; ABEGG; FALCADE, 2020).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma primeira discussão teórica sobre o uso de um elemento da Neurociência, no caso a Carga Cognitiva, e apresentar o *design* de estudo do emprego desse elemento para poder avaliar a aprendizagem a partir do desempenho em tarefas científicas. O estudo faz parte de um projeto de doutorado e mestrado colaborativo que está em desenvolvimento, o qual versará acerca da relação da Carga Cognitiva e das redes cerebrais funcionais na execução de uma tarefa.

Acesso e Avaliação da Aprendizagem em Ciências

A aprendizagem é um tema frequente em muitas pesquisas na área da Educação, muitas das quais estão relacionadas com a prática docente, na tentativa de se obter uma melhor qualidade do ensino. Na área de Ciências Naturais, muitas são as investigações nesse aspecto que possuem como objetivo explicar como ocorre a aprendizagem de conceitos científicos (CORREA, 2019; MORAES; SILVA, 2020).

Estamos entendendo aprendizagem como processo dinâmico em que estruturas e traços latentes se desenvolvem no tempo. De acordo com Amantes (2009, p. 53), “a aprendizagem demanda relações e diferenciações de elementos em meio a um caminho determinado por fatores situacionais”. Isso quer dizer que ela é influenciada tanto por fatores externos ao aprendiz (contexto, situação de aprendizagem, relações sociais) quanto por fatores endógenos (estado emocional, conteúdo da memória, capacidade de estabelecer relações, familiaridade com o tema) (FISCHER, 1980).

Segundo Piaget (1976, p. 214-215),

[...] não se pode falar de aprendizagem ou de aquisição se não há conservação do que é aprendido, e, reciprocamente, não se utiliza o termo “memória” a não ser no caso da conservação de informações de fonte exterior [...] a memória de um esquema não é assim outra coisa senão esse esquema como tal. Pode-se, portanto, a respeito dele evitar falar de “memória”, exceto para fazer do esquema um instrumento da memória.

De acordo com Fischer, o conceito de cognição é amplo e se refere a qualquer ação controlada do sujeito. As fontes de variação estão associadas a diferentes fatores: contexto social, estado emocional, cultura. Elas são relacionadas a conjuntos ou coleções de ações sensório-motoras, representacionais ou abstratas. Com o desenvolvimento cognitivo, o sujeito pode governar e controlar as variações no que pensa ou faz em cada uma dessas ações. Dessa forma, a cognição é tudo aquilo que envolve o controle de fontes de variação, sejam estas chamadas de linguagem, habilidades sociais, emoção etc. (FISCHER, 1980).

Teorias de aprendizagem com aporte na perspectiva de desenvolvimento cognitivo se baseiam em hipóteses sobre o funcionamento do cérebro para estipularem formas de interagir com o mundo e descreverem o processo de aprendizagem (BIGGS; COLLIS, 1982; COMMONS, 2004; FISCHER, 2008). Essa perspectiva já estava presente, por exemplo, na proposição dos estágios piagetianos, que explicam o desenvolvimento cognitivo a partir da emergência de estruturas mentais que capacitam os sujeitos a operarem no mundo. Tal emergência está condicionada ao próprio desenvolvimento biológico e neuronal, que ocorre no decorrer da vida (PIAGET, 1976).

Marcadores da Neurociência

Com o avanço de pesquisas na área da Neurociência, principalmente com a incorporação de tecnologias de acesso a elementos para interpretar ondas cerebrais e redes funcionais, dentre outros aspectos do funcionamento do cérebro, se abre um campo para averiguação e constatação das proposições teóricas a respeito do desenvolvimento cognitivo. Uma dessas proposições refere-se ao dimensionamento da Carga Cognitiva na realização de tarefas de diferentes naturezas.

A triangulação dos dados referentes à Carga Cognitiva e às trações subjacentes ao desenvolvimento cognitivo e ao funcionamento cerebral nesse sentido mostra ser uma perspectiva promissora de pesquisa. O estabelecimento da relação entre esses elementos

fornece parâmetros para interpretar os mais diversos aspectos do pensamento, da aprendizagem e do funcionamento humano diante de uma tarefa.

A teoria da Carga Cognitiva surge na década de 80, fundamentada na perspectiva da arquitetura cognitiva humana, sendo proposta a partir do arcabouço teórico já construído sobre memória de trabalho e memória de longo prazo (SWELLER; MERRIËNBOER; PAAS, 2019). Em síntese, a teoria tem como objetivo explicar como a carga de processamento de informações induzida por tarefas de aprendizagem afeta a capacidade de processar novas informações e construir conhecimento na memória de longo prazo.

De acordo com Paas e Merriënboer (1994), a Carga Cognitiva 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; VAN MERRIËNBOER, 1994; PAAS et al., 2003). Sweller, Merriënboer e Paas (1998) sistematizaram um modelo para a Carga Cognitiva que passa a ser utilizado e referenciado em diferentes estudos, propondo a existência de três tipos de Carga Cognitiva, como é mostrado na figura 1, a seguir.

Figura 1: Tipos de Carga Cognitiva



Fonte: Elaborada pelas autoras (2022).

A Carga Cognitiva Intrínseca está relacionada ao conceito de interação entre os atributos do sujeito e a ação dele para lidar com a informação. Já a Carga Cognitiva Extrínseca é causada por atividades cognitivas que não contribuem para o aprendizado. Por sua vez, a Carga Cognitiva Pertinente é aquela necessária para aprender e se refere aos recursos de memória de trabalho que são dedicados a lidar com as Cargas Cognitivas Intrínseca e Extrínseca (SWELLER; MERRIËNBOER; PAAS, 2019).

A mensuração de Carga Cognitiva é um campo ainda a ser explorado e, embora não seja consensual em termos de técnicas de análise específicas, se mostra promissor para investigar objetos de estudo de diferentes áreas. Na área da Educação, o potencial compreende uma extensa gama de possibilidades, desde o *design* de ambientes de aprendizagem e de avaliação, passando pela delimitação de objetos institucionais, até a investigação dos próprios percursos de aprendizagem dos sujeitos. Dan e Reiner (2015), por exemplo, defendem que estudos dessa

natureza fornecem um método para avaliar as variáveis de aprendizagem que potencialmente melhoram os métodos de instrução e os adaptam aos estados cognitivos contínuos do aluno.

Design de Estudo com Carga Cognitiva

Parte-se do objetivo de apresentar o *design* de estudo envolvendo marcadores da Neurociência para mapear a mudança de concepção e evolução de entendimento ao se realizar uma tarefa formal científica a partir de um protocolo de coleta. Um protocolo de coleta de dados consiste em um processo que serve para obter informações que servirão de insumo para análise e para relacionar com o processo de aprendizagem.

O protocolo para a coleta de dados desta pesquisa foi desenhado a partir das etapas que já foram estabelecidas pela literatura. Utilizaremos os seguintes instrumentos para coleta:

- ✓ Pupilometria;
- ✓ Bandas de Frequência;
- ✓ Desempenho nas tarefas;
- ✓ Redes Funcionais.

Esses dados serão coletados com o instrumento Emotiv e pelo EEG (Eletroencefalograma). Com eles teremos dados relativos a redes funcionais cerebrais que serão interpretados à luz das Neurociências e, a partir disso, tentaremos relacionar os fatores envolvidos no processo de aprendizagem.

Os sujeitos desta pesquisa serão estudantes do Ensino Médio da rede pública moradores da região de Salvador-BA. Participarão estudantes do 1º e dos 3º anos do Ensino Médio, no total de 40 alunos, sendo 20 discentes do 1º ano e 20 do 3º ano, com idades que variariam entre 14 a 21 anos. Os critérios para a escolha desses estudantes ainda serão definidos pelo grupo de pesquisa, mas ficaremos atentos às questões éticas. Serão realizadas quatro coletas de EEG, sendo no início, no meio e no final, havendo uma medida de retenção de seis meses depois da aplicação.

A coleta será dividida em duas etapas, como é demonstrado na tabela 1. A primeira etapa do protocolo será a aplicação do questionário de histórico clínico e estado físico, cuja finalidade é descobrir algumas características e o perfil do sujeito envolvido a partir de perguntas como se o sujeito dorme bem, se pratica alguma atividade física, se possui dificuldade de concentração, entre outras. Em seguida, será aplicado o *Counting Span*, que é um método utilizado para medir a capacidade da memória de trabalho em que os sujeitos são apresentados a uma sequência de slides contendo imagens de bolas brancas, quadrados brancos e bolas azuis. A tarefa do sujeito é contar em voz alta o número de bolas brancas em cada slide e armazenar essa informação, nesse momento o sujeito deve dizer em voz alta os números retidos nas contagens das bolas brancas. O primeiro conjunto tem três slides, então o número de slides é aumentado gradualmente nas séries subsequentes. No final de uma série, o sujeito deve lembrar o número de bolas brancas em cada slide.

No segundo dia, será a aplicação da tarefa, que se divide em duas partes: a primeira parte é formada pela geração aleatória dos números, e a segunda parte é constituída por quatro blocos de itens de Física do conteúdo corrente elétrica e circuito elétrico. Os itens da tarefa são constituídos por questões do tipo procedimental e conceitual, com níveis de complexidade diferentes. Os itens formais foram elaborados na perspectiva teórica de desenvolvimento

cognitivo, que demarca o desempenho em termos de operação do pensamento de acordo com sua camada ou seu estágio de desenvolvimento (FISCHER, 1980; BIGGS; COLLIS, 1982). Eles foram elaborados para atender a dois tipos de habilidade: conceitual e procedimental. As tarefas para medir a Carga Cognitiva são tarefas que correspondem a ações que demandam uma lógica de raciocínio bem pontual e de fácil especificação.

Na Geração Aleatória dos Números (RNG), o sujeito deve selecionar e gerar números de forma aleatória e, ao mesmo tempo, acompanhar o tom de estimulação e sincronizar a saída de resposta com o estímulo de estimulação. Portanto, dada a necessidade de sincronização simultânea e RNG, taxas de geração mais rápidas devem fazer maiores demandas de processamento no executivo central de capacidade limitada e devem reduzir a sincronia das respostas com o tom de estimulação ou a aleatoriedade da saída. Assim, se o RNG for afetado pela taxa, é possível considerar que envolve um ou mais processos controlados com taxa limitada (JAHANSHAHI; SALEEM; HO, 2006).

Tabela 1: Etapas do protocolo

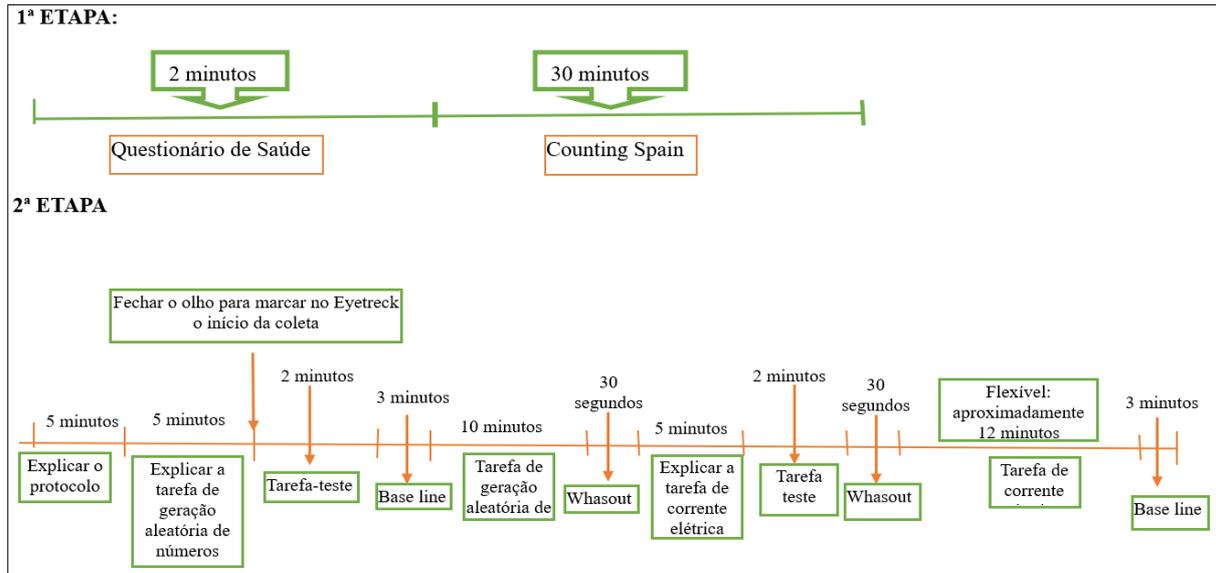
Etapas	Quando	Instrumentos
1	Será aplicado no dia anterior à aplicação da tarefa	Questionário de Saúde
		Counting Span - Slides
2	Tarefa	Slides em PowerPoint
		Protocolo de coleta de dados da tarefa de Geração Aleatória de Números
		Protocolo para anotar respostas do PowerPoint
		EEG
		Eyetreck
		Escala de Carga Cognitiva (PAAS)

Fonte: Elaborada pelas autoras (2022).

A figura 2 também mostra as etapas do protocolo de coleta desta pesquisa, incluindo o tempo de cada tarefa e a ordem em que os fatos acontecerão. A tarefa sobre corrente elétrica será composta por quatro blocos de itens dicotômicos, resultando num total de 16 itens. O sujeito terá tempo livre para responder a cada bloco, e, na passagem de um bloco a outro, aparecerá um slide em branco que terá um intervalo de 30 segundos de passagem; esse tempo é o que foi chamado no protocolo da etapa 2 como Whasout.

Os dados do EEG serão analisados a partir de técnicas específicas que avaliam bandas de frequência, conectividade funcional entre as regiões cerebrais dos eletrodos e mudança nas redes ao longo do tempo. Analisaremos também os dados de Pupílometria durante a realização da tarefa e, a partir da escala PAAS, mediremos a Carga Cognitiva.

Figura 2: Protocolo de Coleta



Fonte: Elaborada pelas autoras (2022).

A relação entre os dados coletados e as perguntas de pesquisa se dá da seguinte maneira:

- 1- Dados de Pupilometria + dados da Escala PAAS: encontraremos a certificação da Carga Cognitiva de cada item da tarefa;
- 2- Dados de Pupilometria + EEG quantitativo (bandas de frequência cerebral): serão estabelecidos possíveis parâmetros para análise da Carga Cognitiva a partir dos dados de funcionamento cerebral;

A relação entre os dados coletados e as perguntas de pesquisa se dá da seguinte maneira:

- 1- Dados de Pupilometria + dados da Escala PAAS: encontraremos a certificação da Carga Cognitiva de cada item da tarefa;
- 2- Dados de Pupilometria + EEG quantitativo (bandas de frequência cerebral): serão estabelecidos possíveis parâmetros para análise da Carga Cognitiva a partir dos dados de funcionamento cerebral;
- 3- Dados do Counting Span: obteremos parâmetros de capacidade da memória de trabalho;
- 4- Dados de Pupilometria + dados de RNG: obteremos demandas de processamento no executivo central de capacidade limitada.

Por meio das possíveis investigações e relações dos dados coletados na pesquisa, as seguintes perguntas poderão ser respondidas no desenvolvimento desse projeto, tais como:

- I- Como a Carga Cognitiva, as redes funcionais cerebrais e o autoconceito se relacionam com a aprendizagem de conteúdos científicos, tendo em vista uma instrução interdisciplinar?
- II- É possível estabelecer uma relação entre mudança de Carga Cognitiva, redes funcionais e evolução do entendimento?
- III- Mapear a trajetória da intervenção interdisciplinar ajuda a promover o que em termos de aprendizagem de conteúdo científico?

Considerações Finais

Em síntese, o estudo sobre carga cognitiva e redes funcionais cerebrais podem trazer relevantes interlocuções com teorias de desenvolvimento e impactar diretamente na forma de como se promove o ensino de conteúdos formais. É possível considerar a importância deste trabalho na perspectiva educacional, como por exemplo de desenvolver estratégias de ensino mais assertivas e adequadas de acordo com as dificuldades de aprendizagem de cada aluno.

Em síntese, o estudo sobre Carga Cognitiva e redes funcionais cerebrais pode trazer relevantes interlocuções com teorias de desenvolvimento e impactar diretamente na forma como se promove o ensino de conteúdos formais. É possível considerar a importância deste trabalho na perspectiva educacional, por exemplo no sentido de desenvolver estratégias de ensino mais assertivas e adequadas de acordo com as dificuldades de aprendizagem de cada aluno.

Com o mapeamento da aprendizagem e a relação do entendimento, do desempenho com a Carga Cognitiva e as redes funcionais, se contribuirá com o estudo da aprendizagem e a potencialização de materiais didáticos utilizados que tenham um menor valor de Carga Cognitiva Estranha e um aumento na Carga Cognitiva Pertinente. Já na perspectiva acadêmica, este trabalho apresenta grandes contribuições, como a apresentação de factíveis relações de conhecimentos de diferentes áreas para o entendimento de fenômenos educacionais complexos.

Como passos futuros deste trabalho, temos o propósito metodológico de validar o protocolo de coleta, o qual foi elucidado neste texto, e avaliar sua adequação para mensurar, em termos de Carga Cognitiva, as redes funcionais e o desempenho. Da mesma maneira, pretendemos estabelecer as diferenças ocorridas no sujeito a depender da natureza da tarefa e do nível de complexidade da habilidade demandada, além de investigar e tentar responder às seguintes hipóteses:

- 1- Para um mesmo conteúdo, a Carga Cognitiva será diferente a depender do tipo de habilidade demandada (conceitual/procedimental), assim como do desempenho e das conexões estabelecidas nas redes funcionais.
- 2- Esses parâmetros (Carga Cognitiva, rede funcional, desempenho) também serão diferentes a depender da complexidade da tarefa.
- 3- Quem tiver maior maturidade terá um desempenho maior e também mobilizará menor Carga Cognitiva e menores conexões de redes funcionais (maior eficiência local e global, menor gasto de energia, menor caminho).

Agradecimentos e apoios

Agradecemos à Capes pelo apoio financeiro.

Referências

AMANTES, A. **Contextualização no ensino de Física: efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes.** 2009. 275f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

AMANTES, A.; COELHO, G. R.; MARINHO, R. A medida nas pesquisas em Educação: empregando o Modelo Rasch para acessar e avaliar traços latentes. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 657-684, 2015.

BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 1982.

BOLEN, K. A. Latent Variables in Psychology and the Social Sciences. **Rev. Psychol.**, v. 53, p. 605-634, 2002.

BRAGA, N. A. **A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia e o Desenvolvimento de Atividades de Alfabetização Matemática**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

CARDOSO, L.; CARDOSO, P. Para uma revisão da teoria do conhecimento de Michael Polanyi. **Revista portuguesa de pedagogia**, ano 40-41, p. 41-54, 2007.

COMMONS, M. L.; PEKKER, A. **Hierarchical complexity: A Formal Theory**. 2004. Disponível em: [https://dareassociation.org/documents/Hierarchical%20Complexity%20-%20A%20Formal%20Theory%20\(Commons%20&%20Pekker\).pdf](https://dareassociation.org/documents/Hierarchical%20Complexity%20-%20A%20Formal%20Theory%20(Commons%20&%20Pekker).pdf). Acesso em: 7 jul. 2021.

CORREA, S. S. **Uma Sequência Didática para o Ensino Aprendizagem de Proporcionalidade do Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2019.

FALCADE, A.; ABEGG, I.; FALCADE, L. Teoria da Carga Cognitiva: Aproximação de ideias e conceitos. **Revista: Inter-Ação**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 795-810, 2020.

FISCHER, K. W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. **Psychological Review**, v. 87, p. 477-531, 1980.

FISCHER, K. W. (Ed.). **The educated brain**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008.

FRANCO, S. E. A Teoria da Carga Cognitiva: Pré-Conhecimento e Redução da Atenção Dividida no Ensino de Surdos nos Processos de Eletrização. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Pará, Pará, 2019.

JAHANSHAH, M.; SALEEM, T.; HO, A. K. Random Number Generation as an Index of Controlled Processing. **Neuropsychology**, v. 20, n. 4, p. 391-399, 2006.

MORAES, E. P.; SILVA, L. Uma sequência didática promovendo a aprendizagem significativa com auxílio das TICS, apoiada em uma unidade de ensino potencialmente significativa. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 10, n. 2, p. 1-24, 2020.

PAAS, F.; MERRIËNBOER V. Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. **Educational Psychology Review**, v. 6, p. 351-371, 1994. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02213420>.

PASS, F.; TUOVINEN, J.; TABBERS, H.; GERVEN, P. Cognitive load measurement as a means to advance Cognitive Load Theory. **Educational Psychologist Review**, v. 38, p. 63-71, 2003. Doi: https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8.

PIAGET, J. **Equilíbrio das Estruturas Cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

POLANYI, M. **The tacit dimension**. London: Routledge & Kegan Paul, 1966.

SWELLER, J.; MERRIËNBOER, V. J. G.; PAAS, F. Cognitive architecture and instructional design. **Educational Psychology Review**, v. 10, p. 251-296, 1998.



XIV ENPEC

Caldas Novas - Goiás

VAN GERVEN, P. W. M., PAAS, F., VAN MERRIËNBOER, J. J. G., & SCHMIDT, H. G. (2004). Memory load and the cognitive pupillary response in aging. **Psychophysiology**, 41, 167–174.

