

Perspectiva desenvolvimental da estrutura e funcionamento do sistema executivo central da memória de trabalho

Estructura y funcionamiento de la memoria de trabajo del ejecutivo central desde una perspectiva del desarrollo
Perspective de développement de la nature et du fonctionnement de la mémoire de travail
Developmental perspective of nature and functioning of working memory central executive

Bianca Moreira Andrade¹ & Jeanny Joana Rodrigues Alves de Santana¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Agradecimento: Agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Instituto de Psicologia da Universidade Federal de Uberlândia.

Resumo

O executivo central (EC) é o sistema de controle atencional do modelo multicomponente da memória de trabalho. Ele distribui recursos de atenção para os componentes de armazenamento, e propicia condições para manutenção e manipulação das informações em curto prazo. O objetivo do estudo é analisar os efeitos da idade na estrutura e funcionamento do executivo central. Foi realizada uma revisão sistemática de artigos publicados em português e inglês nas bases de dados Scielo, Google Acadêmico e Web of Science entre os anos 2000 e 2017. Os dados mostraram a natureza não-linear e descontínua do desenvolvimento do EC. Algumas funções do executivo central surgem na primeira infância, outras aparecem mais tardiamente, apenas na vida adulta. Os processos automáticos e controlados do EC também apresentam percursos desenvolvimentais característicos. No início da vida as ações são controladas por esquemas fortemente aprendidos, que exigem esforço mental, e pelos estímulos ambientais. Com a idade ocorre maior controle das respostas aprendidas, e o comportamento passa a ser guiado por processos automáticos de criação e implementação de esquemas de ação. O mecanismo do desenvolvimento do executivo central é baseado na relação processamento versus armazenamento na memória de trabalho, na qual os ganhos na capacidade de registro influenciam e são influenciados por aumentos na velocidade de processamento das informações. As variações nas habilidades específicas dos componentes de armazenamento como articulação verbal, velocidade visuoperceptual e conjunção de informações têm efeitos na realização de tarefas de domínio geral e na manipulação ativa de conteúdo armazenado. A compreensão do impacto da idade na estrutura e funcionamento do executivo central complementa modelos teóricos sobre a memória de trabalho, apresenta questões de pesquisa abertas a investigações futuras e tem implicações na aplicação da psicologia cognitiva por fundamentar a prática baseada em evidências.

Palavras-chave: executivo central, memória de trabalho, desenvolvimento, funções executivas.

Resumen

El Ejecutivo Central (EC) es el modelo de varios componentes del sistema de control atencional de la Memoria de Trabajo. Distribuye los recursos atencionales para los componentes de almacenamiento y proporciona condiciones para el mantenimiento y manipulación de la información en el corto plazo. El objetivo de este estudio es analizar los efectos de la edad sobre la estructura y el funcionamiento del EC. Para ello, se realizó una revisión sistemática de los artículos publicados en portugués y en inglés en las bases de datos Scielo, Google Scholar y Web of Science entre 2000 y 2017. Los datos mostraron la naturaleza no lineal y discontinua del desarrollo del EC. Algunas funciones del EC surgen en la primera infancia, otras aparecen más tardiamente, en la adultez. Los procesos automáticos y controlados del EC también presentan vías de desarrollo características. En el inicio de la vida, las acciones son controladas por esquemas fuertemente aprendidos, que requieren un esfuerzo mental, y por los estímulos ambientales. Con la edad hay un mayor control de las respuestas aprendidas y el comportamiento pasa a ser guiado por procesos automáticos de creación e implementación de esquemas de acción. El mecanismo de desarrollo del EC se basa en la relación de procesamiento y almacenamiento en la

Artigo recebido: 26/10/2016; Artigo revisado (1a revisão): 15/01/2017; Artigo revisado (2a revisão): 20/03/2017; Artigo aceito: 18/04/2017.
Correspondências relacionadas a esse artigo devem ser enviadas a Jeanny Santana, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Psicologia, Avenida Pará nº1720, Bloco 2C sala 34, Bairro Jardim Umuarama CEP 38400902, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: jeannysantana@yahoo.com.br
DOI: 10.5579/rnl.2016.0331

memória de trabalho, em la que las ganancias en la capacidad de registro influyen y son influídos por el aumento de la velocidad de procesamiento de la información. Las variaciones en las habilidades específicas de los componentes de almacenamiento, tales como la articulación verbal, la velocidad visuoperceptual y la combinación de la información tienen efectos en la realización de tareas de dominio general y la manipulación activa de contenidos almacenados. Comprender el impacto de la edad sobre la estructura y el funcionamiento del EC complementa los modelos teóricos de la memoria de trabajo, presenta aspectos de importancia para investigaciones futuras y conlleva implicancias en la aplicación de la psicología cognitiva para fundamentar la práctica basada en la evidencia.

Palabras clave: ejecutivo central, memoria de trabajo, desarrollo, funciones ejecutivas.

Résumé

L'exécutif central (CE) est le système de contrôle de l'attention modèle à plusieurs composants de la mémoire de travail. Il distribue les ressources de soins pour les composants de stockage et fournit des conditions d'entretien et de manipulation de l'information à court terme. L'objectif de l'étude est d'analyser les effets de l'âge sur la structure et le fonctionnement de l'exécutif central. un examen systématique des articles publiés en portugais et en anglais dans les bases de données Scielo, Google Scholar et Web of Science entre 2000 et 2017. Les données ont montré le caractère non linéaire de la CE et le développement discontinu a été réalisée. Certaines des fonctions exécutives centrales se posent dans la petite enfance, d'autres apparaissent plus tard, seulement à l'âge adulte. Les processus automatiques et CE présentent également caractéristique des voies de développement contrôlées. Dans les actions précoces de la vie sont contrôlées par des régimes fortement appris qui nécessitent un effort mental, et les stimuli environnementaux. Avec l'âge, il est plus grand contrôle des réponses apprises, et le comportement se trouve être guidée par des processus automatiques de création et de mise en œuvre de plans d'action. Le mécanisme de développement exécutif central est basé sur le traitement par rapport au stockage relation en mémoire de travail, dans lequel les gains d'influence des capacités d'enregistrement et sont influencés par l'augmentation de la vitesse de traitement de l'information. Les variations dans les compétences spécifiques des composants de stockage tels que l'articulation verbale, la vitesse visuoperceptual et la combinaison des informations ont des effets sur la réalisation des tâches de domaine général et la manipulation active du contenu stocké. Comprendre l'impact de l'âge sur la structure et le fonctionnement de l'exécutif central complète les modèles théoriques de la mémoire de travail, présente des questions de recherche ouvertes à une enquête plus approfondie et a des répercussions sur l'application de la psychologie cognitive pour soutenir la pratique fondée sur des données probantes.

Mots-clés: exécutif central, mémoire de travail, développement, fonctions exécutives.

Abstract

The Central Executive (CE) is the attention control system of the multicomponent working memory model. It distributes attention resources to storage components and provides conditions for sustainment and manipulation of information in the short term storage. The objective is to analyze the effects of age on the structure and the functioning of the Central executive. A systematic review of articles published in Portuguese and English in the Scielo, Google Academic and Web of Science databases between 2000 and 2017 was performed. Data showed the nonlinear and discontinuous developmental nature of CE. Some functions of the Central Executive arise in early childhood, others manifest later, only in adult life. The automatic and controlled processes of the CE also have peculiar developmental paths. At the beginning of life, actions are controlled by strongly learned schemes that require mental effort and by environmental stimuli. With age, greater control of learned responses occurs, and behavior is guided by automatic processes of creation and implementation action' schemes. The development mechanism of CE is based on the interaction between processing versus storage in working memory. The improvement in registration capacity influence and is influenced by increases in the speed of information processing. Variabilities in the specific skills of storage components such as verbal articulation, visuoperceptual speed, and conjunction have effects on performing general domain tasks and actively manipulating stored content. The understanding of the effects of age on the structure and functioning of the Central Executive. Therefore, complements theoretical models of working memory presents research questions open to future research, and has significance in the application of cognitive psychology for grounding evidence-based practice.

Keywords: central executive; working memory; development; executive functioning.

Mémória de trabalho (MT) e executivo central (EC): definições

A memória de trabalho é o sistema cognitivo limitado em capacidade que promove o armazenamento e manipulação temporários da informação (Baddeley, 2007), de modo a propiciar o desempenho de tarefas cognitivas complexas como compreensão e raciocínio (Baddeley, 2012). É um sistema formado por múltiplos componentes, sendo um deles de natureza atencional (executivo central) e outros componentes de armazenamento, especializados conforme a modalidade da informação (laço fonológico, esboço visuoespacial e buffer episódico) (Baddeley, 2012).

O executivo central é considerado o subsistema mais complexo do modelo multicomponente da memória de

trabalho (Baddeley, 2012), e, também, um tópico desafiador a ser estudado, tanto em função do seu caráter elusivo, mas também pelas dificuldades de mensuração (Miyake & Friedman, 2012). Ele seria o sistema de atenção controlada encarregado de distribuir recursos pelos subsistemas para manter e manipular as informações, mas que não teria a propriedade de armazenar informações, ou seja, sua natureza seria amodal, com subprocessos de atenção vinculados (Baddeley, 2002).

Estrutura do EC

O EC tem sido frequentemente estudado na abordagem psicométrica da cognição, segundo a qual uma ampla gama de habilidades é analisada por métodos como o

da análise multivariada para responder o quanto da variância dos dados poderia ser atribuída à variável latente e fatores moderadores (Neath & Surprenant, 2007). Nesta abordagem tem-se a proposta de Miyake et al. (2000) na qual o executivo central pode ser fracionado em funções diferentes, que refletiriam um mesmo mecanismo de funcionamento direcionado à representação do objetivo da ação e ao controle da atenção. Miyake e Friedman (2012) demonstraram que as funções executivas são correlacionadas, porém claramente distintas entre si, o que caracteriza a unidade e a diversidade das funções executivas. Cada habilidade executiva pode ser decomposta em elementos comuns a todas as funções executivas (representando a unidade do executivo central). Em paralelo, estas habilidades também podem ser decompostas em elementos únicos a cada função executiva (diversidade do executivo central). Miyake e Friedman (2012) interpretam o fator comum às funções do EC como a habilidade de manter ativamente o objetivo da tarefa e usar esta informação para efetivamente direcionar o processamento de ordem inferior (percepção e atenção para os estímulos, por exemplo).

De modo semelhante à estrutura de três fatores (inibição, alternância e atualização) proposta por Miyake et al. (2000), temos a defendida por van der Ven, Kroesbergen, Boom e Leseman (2012), que sugerem o fator atualização, um fator composto da combinação entre alternância e inibição, e um terceiro fator caracterizado pela velocidade de processamento (verbal e motora). No estudo de Fisk e Sharp (2004) a estrutura fatorial encontrada foi composta pelos mesmos três fatores verificados por Miyake et al. (2000), porém, com a adição de um quarto elemento, que seria relacionado à eficiência de acesso à memória de longo prazo. Outros estudos também defendem a subdivisão estrutural do executivo central (Diamond, 2013; Malloy-Diniz et al., 2004; Pureza, Gonçalves, Branco, Grassi-Oliveira & Fonseca, 2013; Best & Miller, 2010).

Funcionamento do EC

A formulação teórica do funcionamento do EC surgiu do modelo de atenção controlada de Norman e Shallice (1986), segundo o qual existem processos automáticos distintos dos controlados. O sistema automático refere-se ao direcionamento automático da atenção aos eventos, e no caso do sistema controlado (Sistema Atencional Supervisor), o comportamento seria guiado por intenções ou objetivos. Shallice e Burgess (1996) se apoiaram em estudos neurofuncionais para propor a existência de um processo geral comum, subjacente ao sistema executivo, no qual diferentes funções são organizadas de maneira relacionada.

Baddeley (1996) então fundamentou a organização do EC como sistema de controle das ações por intenções e objetivos. Ele delimitou componentes funcionais do EC, relacionados à capacidade de coordenar o desempenho de duas tarefas simultâneas, utilizar de modo flexível estratégias de memorização, selecionar estímulo relevante do ambiente e inibir a interferência de distratores.

Mais recentemente evidências experimentais (Hu, Allen, Baddeley & Hitch, 2016; Allen, Baddeley & Hitch, 2017) indicam que o controle da representação visual memorizada depende de recursos específicos do armazenador visual, bem como de recursos do executivo central. Entretanto, não está claro que a interação entre estes recursos influencie o desempenho da memória de trabalho visual (Allen et al., 2017). De outra forma, esta representação se tornaria disponível à consciência em sistema intermediário de armazenamento, que se supõe seja o buffer episódico, e contaria, portanto, com associação de recursos gerais e específicos para sustentação ativa da informação (Hu et al., 2016).

É documentado na literatura um volume de evidências científicas a respeito do desenvolvimento da memória de trabalho (Towse, Hitch & Horton, 2007; Bjorklund & Causey, 2017), mas grande parte deste conhecimento sintetizado refere-se às representações de modalidade específica, e não exatamente às propriedades do componente executivo (Towse et al., 2007). A perspectiva desenvolvimental do executivo central considera que este componente “se comporta como espaço central de trabalho, no qual ocorre equilíbrio entre as características mutuamente excludentes de processamento e armazenamento das informações” (Hitch, 2002, p. 24). Os pesquisadores deste campo consideram a hipótese de que a capacidade de armazenamento de informações permanece constante ao longo da vida. O que mudaria com o aumento da idade é que as operações executivas se tornariam cada vez mais automáticas, e, por isto, exigindo cada vez menos “espaço de trabalho” para completar uma operação (Hitch, 2002).

Uma vez que o desenvolvimento do executivo central ainda não está propriamente esclarecido, este estudo tem como objetivo analisar os efeitos da idade na estrutura e funcionamento do executivo central. De modo específico, pretende-se identificar os princípios gerais do desenvolvimento do executivo central, com descrição de seus componentes funcionais. Adicionalmente, pretende-se caracterizar os marcos do desenvolvimento do EC em grupos populacionais, divididos pela idade: crianças, adolescentes e adultos-jovens e idosos.

Método

Este estudo de revisão sistemática da literatura buscou responder à seguinte questão “Que mudanças na estrutura e organização funcional do executivo central podem ser identificadas ao longo do desenvolvimento humano”? As publicações em português brasileiro e internacionais foram buscadas nas bases de dados Scielo, Google Acadêmico e ISI Web of Science segundo descritores definidos para abranger estudos publicados entre o ano 2000 e o mês de janeiro de 2017.

Os seguintes descritores foram utilizados para realização da busca “developmental perspective”, “central executive”, “executive functioning”, “lifespan” e “working memory”. Os termos foram relacionados nas bases de dados,

com indicação das palavras-chaves padronizadas para pesquisa.

Em função da heterogeneidade de tópicos abordados nos estudos, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão, aplicados em leitura inicial dos resumos dos estudos previamente selecionados. Foram incluídos na amostra estudos: publicados em inglês e português, que tivessem abrangência no modelo multicomponente da memória de trabalho, sendo teóricos, experimentais ou quase-experimentais, em áreas como neurociências, psicologia, ciências comportamentais, psiquiatria, psicobiologia desenvolvimental, pesquisa experimental, pediatria e geriatria.

Foram excluídos estudos que realizaram investigações exclusivas sobre bases genético-moleculares da relação cérebro-comportamento, ou que tivessem propósito estritamente médico. Os estudos que examinaram população diversa do interesse da revisão também foram desconsiderados para análise. Também foram excluídas

publicações registradas em duplicidade nas bases de dados, bem como aquelas nas quais não foi possível ter acesso ao trabalho completo, seja porque a instituição de ensino de origem da presente pesquisa não possui assinatura do periódico, ou porque o material não foi disponibilizado por via eletrônica, nas bibliotecas da instituição ou diretamente com os autores.

Mediante exame dos critérios de inclusão e exclusão, os estudos selecionados foram analisados, de modo independente, por duas pesquisadoras. Elas preencheram protocolo de extração de dados para cada estudo, com listagem das características dos estudos. O procedimento de revisão foi realizado com base no método Prisma de revisões sistemáticas (Liberati et al., 2009). Foi verificada a concordância entre pares, admitindo-se para amostra estudos com 70% de conformidade. A síntese do processo de seleção dos artigos para compor a amostra de revisão encontra-se na Figura 1.

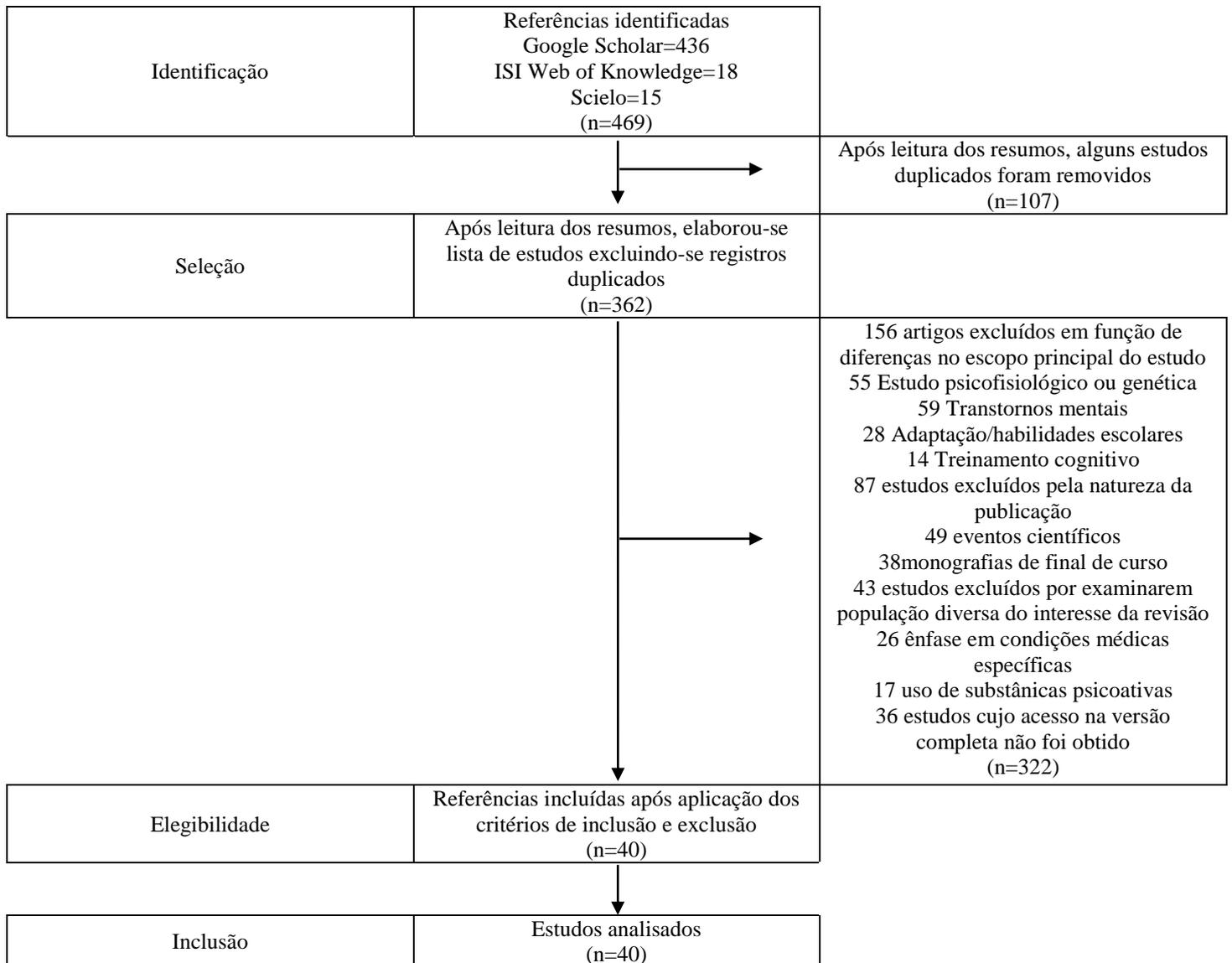


Figura 1. Fluxograma do processo de identificação e seleção dos artigos que compuseram a amostra da revisão sistemática

Os dados foram analisados qualitativamente, por meio de avaliação de concordância entre pesquisadores. A apresentação dos resultados e discussão dos mesmos foi realizada de forma descritiva, e organizada nos seguintes tópicos: aspectos gerais da perspectiva desenvolvimental do executivo central; mudanças na natureza e organização funcional do executivo central relacionadas à idade; tendências futuras no estudo do executivo central ao longo do desenvolvimento humano.

Resultados e Discussão

No estudo tivemos o objetivo de analisar os efeitos da idade na estrutura e funcionamento do executivo central. Foi realizada revisão sistemática de produção científica publicada entre 2000 e 2017.

A busca pelos seguintes descritores developmental perspective, central executive, lifespan e working memory resultou em 266 artigos no Google Acadêmico e 04 no ISI Web of Science. A busca por developmental perspective, executive functioning, central executive, lifespan e working memory gerou 170 resultados no Google Acadêmico e 14 no ISI Web of Science. A adoção destes descritores em português localizou 15 trabalhos na base Scielo. Destes artigos localizados, após uma leitura prévia dos resumos,

foram excluídos 109 publicações em função de serem registros duplicadas nas bases.

A aplicação dos critérios de exclusão resultou na eliminação de 322 publicações. Destas, 156 artigos em função de diferenças no escopo principal do estudo, sendo que destes, 55 eram estudo da psicofisiologia ou genética, 59 tratavam da descrição específica de transtornos mentais, 28 tratavam da adaptação e de habilidades escolares e 14 referiam-se exclusivamente ao treinamento cognitivo.

Os artigos excluídos devido à natureza da publicação (n=87) foram em virtude de material de eventos científicos (n=49) e de monografias de final de curso (n=38). Os estudos excluídos por examinarem população diversa do interesse da revisão (n=43) foram porque tinham ênfase em condições médicas específicas (n=26), ou por tratar de uso de substâncias psicoativas (n=17). Finalmente 36 estudos foram excluídos, pois não houve acesso à versão completa. Ao final, fizeram parte da amostra de estudo 40 publicações científicas.

Os estudos analisados na revisão sistemática trataram das abordagens teóricas e metodológicas da avaliação do desenvolvimento do executivo central, indicaram as mudanças características nas diferentes etapas do desenvolvimento, mencionaram diferenças no desempenho das funções executivas considerando grupos clínicos e apontaram perspectivas futuras para o estudo do tema. Estes dados serão detalhados em seguida (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos problemas de pesquisa da revisão sistemática, com as respectivas sínteses de resultados das análises dos estudos selecionados

Problemas de pesquisa e resultados encontrados	Estudos
<i>Quais são as características da trajetória do desenvolvimento do executivo central? As mudanças no desenvolvimento do executivo central caracterizam uma tendência ou direção específicas?</i>	
Natureza não-linear: trajetórias convergentes e divergentes, estabilidades e instabilidades, progressões e regressões	Alloway & Alloway, 2013; Fischer, 2008; Friedman et al., 2011; Garon et al., 2008; Jurado & Rosselli, 2007; Pureza et al., 2013; Uehara et al., 2010; Uehara et al., 2013; Vandenbroucke, Verschueren & Baeyens, 2017.
Aspecto descontínuo: algumas funções surgem muito cedo, outras só vão se destacar na vida adulta.	
Estabilidade longitudinal: desenvolvimento de um aspecto influenciando incremento de outras habilidades no futuro	
<i>Qual o mecanismo no desenvolvimento cognitivo de interação funcional entre o executivo central e os componentes de armazenamento da memória de trabalho?</i>	
Processamento versus armazenamento: ganhos na capacidade influenciam/são influenciados por aumento da velocidade de processamento	Alloway & Alloway, 2013; Carriedo, Corral, Montoro, Herrero, & Rucián, 2016; Gray et al., 2017; Jurado & Rosselli, 2007; Silva e Santos, 2011; Uehara e Landeira-Fernandez, 2010.
Buffer episódico: evidências controversas do mecanismo de interação com executivo central. Talvez seja dependente de outros componentes de armazenamento, além do EC.	
<i>Que mudanças nos componentes funcionais do executivo central podem ser observadas ao longo do desenvolvimento?</i>	
Controle inibitório: primeiro domínio do EC identificado no desenvolvimento	Alloway & Alloway, 2013; Friedman, Miyake, Robinson, & Hewitt, 2011; Garon et al., 2008; Jurado & Rosselli, 2007 ; Pureza et al., 2013 ; Riby, Perfect, & Stollery, 2004.
Fluência verbal: surge tardiamente, depende do laço fonológico e do EC.	
Velocidade de processamento: com a idade os processos tornam-se mais automáticos, diminuindo o tempo de reação nas tarefas.	
Alternar a atenção: dependente da capacidade de armazenamento e da rapidez de processamento.	

Que aspectos psicobiológicos do desenvolvimento do executivo central estão relacionados com a ocorrência de transtornos neuropsiquiátricos?

Dependência entre fatores genéticos e ambientais.
Circuitaria do córtex pré-frontal e de substratos do comportamento motivacional.

Borges et al., 2010; Gonçalves, Mohr, Moraes, Siqueira, Prando, & Fonseca, 2013; Kofler, Rapport, Bolden, Sarver & Raiker, 2010; Lima, Azoni e Ciasca, 2011; Miyake & Friedman, 2012; Malloy-Diniz et al., 2004.

Quais são os marcos do desenvolvimento do executivo central, em diferentes grupos etários da população?

Crianças

Ganhos no desenvolvimento dependentes dos subsistemas de armazenamento (representação mental) e da interação destes com o EC (resistência à distração, inibição da resposta).
Aspectos da linguagem (armazenamento) com efeitos no executivo (aprendizagem de regras formuladas por representações simbólicas).

Dias & Seabra, 2014; Friedman et al., 2011; Garon, Bryson, & Smith, 2008; Peterson & Welsh, 2014; Piccolo & Salles, 2013; Pureza et al., 2013; Purpura, Schmitt, & Ganley, 2017; Vandenbroucke, Verschueren & Baeyens, 2017.

Adolescência

Natureza não-linear do desenvolvimento: ganhos em alguns aspectos executivos (seleção, alternância), declínio em outros (associação de estímulos), devido a reorganização sináptica “poda sináptica”

Blakemore & Choudhury, 2006; Carriedo, Corral, Montoro, Herrero, & Rucián, 2016; Dias, Menezes e Seabra, 2013; Friedman et al. 2011; Huizinga, Dolan e van der Molen, 2005; Luciana, Conklin, Hooper e Yarger, 2005; Miyake e Friedman (2012); Prencipe et al., 2011; Samuels, Tournaki, Blackman & Zilinski, 2016; Zelazo & Carlson, 2012.

Adultos jovens e idosos

Consolidação e estabilização de componentes na vida adulta.
No envelhecimento o EC mediador da redução da capacidade de armazenamento (velocidade de processamento).
Declínio cognitivo supostamente atribuído a falhas na interação funcional de componentes da MT.
Ocorre declínio nos processos de recitação da informação, parcialmente dependentes de recursos EC.

Banhato & Nascimento, 2007; Billig & Finger, 2016; Blakemore & Choudhury, 2006; Brown e Brockmole, 2010; Brown, 2016; Hu, Allen, Baddeley & Hitch, 2016; Brown, 2016; Isingrini, Angel, Fay, Taconnat, Lemaire, & Bouazzaoui, 2015; Lecouvey et al., 2015; Rabbitt, 2017; Tsubomi & Watanabe, 2017; van der Ven et al., 2012; Madden et al., 2010; Alderson, Hudec, Patros e Kasper, 2013; Davidson et al., 2006; Hamdan e Bueno, 2005.

Trajatória desenvolvimental do executivo central

Quais fatores influenciam o desenvolvimento das funções do executivo central? Pode-se conjecturar sobre uma perspectiva linear ou dinâmica deste desenvolvimento? De que modo as descobertas sobre a neurobiologia do desenvolvimento influenciam a formulação de modelos teóricos sobre o controle executivo? As pesquisas analisadas no presente estudo evidenciaram que o desenvolvimento do sistema executivo não pode ser compreendido como uma escada em estágios sucessivos, mas sim como uma rede complexa de interações, nas quais se evidenciam trajetórias convergentes e divergentes, estabilidades e instabilidades, progressões e regressões (Fischer, 2008, p. 127). Algumas habilidades relacionadas ao executivo central demonstram diferentes trajetórias desenvolvimentais, ou seja, algumas funções surgem muito cedo, outras só vão se destacar na vida adulta (Jurado & Rosselli, 2007; Uehara et al., 2013; Uehara et al., 2010). Este aspecto descontínuo do desenvolvimento do executivo central também foi identificado por Pureza et al. (2013) na análise dos componentes do sistema executivo.

A natureza não-linear do desenvolvimento cognitivo é tratada na análise da correspondência entre a maturação

cerebral, especialmente (mas não exclusivamente) do lobo frontal, e o sistema executivo central. Alguns marcos do desenvolvimento do lobo frontal são identificados do nascimento aos dois anos de idade, depois dos sete aos nove anos, e um estágio entre dezesseis e dezenove anos (Jurado & Rosselli, 2007). Estes marcos são acompanhados por mudanças no desempenho da memória de trabalho, em especial do executivo central. Dos cinco aos dezenove anos de idade há um ganho no desempenho das funções da memória de trabalho, em contraposição a uma estabilidade na idade entre 20 e 39 anos de idade (Alloway & Alloway, 2013).

A partir da comparação de três tipos de operações executivas, a manutenção ativa de informações, a flexibilidade cognitiva e o controle inibitório, verificou-se que ocorre progresso significativo no desenvolvimento da memória de trabalho e do pensamento flexível na idade entre 6 e 7 anos. O desempenho em tarefas de memória de trabalho se estabiliza mais cedo que as outras duas funções. A capacidade de inibir respostas preponderantes foi a habilidade que apresentou maior variabilidade em acurácia nesta idade correspondente ao primeiro ano escolar (Vandenbroucke, Verschueren & Baeyens, 2017).

A estabilidade longitudinal do executivo central foi verificada no estudo de Friedman, Miyake, Robinson e Hewitt (2011). As crianças de tenra idade que apresentam mais frequentemente respostas de inibição, ou seja, de autocontrole (esperam por mais tempo para se aproximar de estímulo apetitivo) apresentam melhores escores na adolescência em tarefas de alternar a atenção, atualizar informações e inibir estímulos distratores. Em outras palavras, a inibição de respostas automáticas é tida como fator preditor do desenvolvimento de outros componentes do executivo central. A explicação é a de que esta função detém fortemente uma propriedade inerente à todas as outras funções: a habilidade de manter o objetivo da tarefa ativo na memória, assim como todas as informações relacionadas à este conteúdo (Friedman et al., 2011).

As evidências sobre o conflito da resposta na função executiva de deslocar a atenção confirmam o caráter instável do desenvolvimento do executivo central. Adicionalmente, demonstram a vantagem teórica em adicionar um componente multimodal ao modelo de memória de trabalho (o buffer episódico), que seria caracterizado pela manutenção de episódios de informação. A tarefa do executivo central seria, portanto, direcionar a atenção de modo alternado para os conjuntos de informações (ou chunks) mantidos no componente multimodal, e controlar as ações baseadas na seleção destes conteúdos (Baddeley, 2007). O executivo central seria recrutado exatamente para lidar com situações como esta, de superar respostas automáticas e exercer controle em condições de conflito, de modo a evitar respostas perseverativas. Como esta operação é dependente de estruturas neurais subjacentes ao executivo central (por exemplo, o lobo frontal) e da rede atencional como um todo, as crianças pequenas têm muita dificuldade na realização desta operação (Garon, Bryson, & Smith, 2008).

Interação funcional entre executivo central e subsistemas de armazenamento ao longo do desenvolvimento: processamento e capacidade da memória de trabalho

Existe uma interação funcional entre componentes de armazenamento e o executivo central ao longo do desenvolvimento, tendo isto sido mencionado no estudo de Uehara e Landeira-Fernandez (2010). A aquisição da leitura-escrita depende da adequada interação entre laço fonológico, esboço visuoespacial, buffer episódico e executivo central. Esta complexa tarefa exige a decodificação de símbolos visuais em letras e palavras, o acesso à memória de longo prazo para compreensão de significados, o monitoramento de interferências entre o objetivo e a ação. Por exemplo, copiar uma palavra do quadro ou escrever uma palavra “ditada” pelo professor. Além disto é preciso que ocorra a integração entre os estímulos, e destes com o conteúdo previamente armazenado. Silva e Santos (2011) demonstraram que problemas sérios com a habilidade matemática, nomeadamente discalculia estão relacionados com prejuízos na manipulação ativa de conteúdo armazenado na memória de trabalho.

De outra forma, a modificação neurofuncional do executivo central não é o único elemento relacionado com os ganhos no desempenho cognitivo ao longo dos anos de vida. O aumento da capacidade da memória de trabalho (span) é outro elemento que sustenta os ganhos na performance executiva no desenvolvimento. A análise do desempenho dos participantes de diferentes idades, que tiveram que realizar tarefa executiva de atualização de informações mostrou que quanto mais itens o indivíduo conseguia registrar, mais precisa e rápida era a resposta de atualização (Carriedo, Corral, Montoro, Herrero & Rucían, 2016). Isto quer dizer que a mudança estrutural e funcional nos subcomponentes de armazenamento (laço fonológico e esboço visuoespacial) prediz o desempenho do executivo central, em uma perspectiva desenvolvimental.

A testagem de modelos de memória de trabalho na perspectiva desenvolvimental (Gray et al., 2017) refutou a presença de um subcomponente episódico designado a armazenar informações multimodais. Os dados tendem a validar o modelo dos processos embutidos, segundo o qual a memória de trabalho é parte de um mecanismo unitário, primariamente guiado por recursos limitados da atenção. Nesta perspectiva, a memória de trabalho inclui todos os componentes que são usados para manter temporariamente as informações. Ela seria a porção da memória de longo prazo ativada em curto prazo, que é limitada em duração pelo foco da atenção. Os autores consideram que os processos do executivo central estão envolvidos com a inserção dos conteúdos no foco da atenção e na mobilização inicial de estratégias mnemônicas (Gray et al., 2017).

A capacidade de armazenamento é mencionada como fator relevante no desenvolvimento do executivo central, seja para a função de inibição, alternar a atenção ou fluência verbal (Jurado & Rosselli, 2007; Alloway & Alloway, 2013). O declínio da capacidade de armazenamento da memória de trabalho em função da idade não ocorre de forma drástica. Esta é uma constatação de que o desenvolvimento do executivo central não pode ser compreendido pela perspectiva de estágios em escada ascendente-descendente. Evidências mostram que o desempenho da memória de pessoas com sessenta anos foi equiparado ao de indivíduos de vinte. Na faixa entre os 5 aos 19 anos a capacidade da memória aumenta em 23 pontos padronizados, ao passo que a diminuição da capacidade entre os 60 e 80 anos ocorre em 6 pontos padronizados. Estes dados podem ser explicados pelas diferenças na velocidade de processamento, e pela interação funcional entre os componentes da memória de trabalho mencionada previamente (Alloway & Alloway, 2013).

O desenvolvimento dos componentes de funcionamento do executivo central

A afirmação de que o executivo central é um sistema fracionado em funções (Baddeley, 1996), quais sejam, alternar a atenção entre tarefas, dividir recursos entre demandas paralelas, e integrar a memória de trabalho com a memória de longo prazo (Baddeley, 2012) é observada no

progresso de mudanças cognitivas relacionadas à idade (Alloway & Alloway, 2013). Assim, algumas hipóteses são abordadas sobre este fracionamento de funções ao longo do ciclo da vida. É pressuposto que as operações do executivo central interajam funcionalmente com os componentes de armazenamento de informações (laço fonológico e esboço visuoespacial) para resultar no desempenho coerente (Baddeley, 2012).

Controle inibitório

A habilidade de inibir comportamentos super-aprendidos (automáticos) seria a primeira função do executivo central a ser identificada ao longo do desenvolvimento (Alloway & Alloway, 2013). Este período inicial da vida, marcado pelo desenvolvimento do controle inibitório, tem repercussões de longo prazo no desenvolvimento, identificadas na capacidade de controlar impulsos na adolescência (Friedman et al., 2011).

A inibição de estímulos irrelevantes do ambiente é função do executivo central, como indicado nos estudos clássicos com pacientes com Alzheimer, que deveriam desempenhar tarefas duplas (Riby, Perfect & Stollery, 2004). A realização concomitante de tarefas acarreta maior prejuízo no desempenho da tarefa relevante para o grupo de pacientes com a demência em comparação a controles (Riby et al., 2004). Em contraposição à fluência verbal, a função de inibição da informação irrelevante (ou da resposta automática) é uma das primeiras a ser identificada no desenvolvimento, mas, é a que declina mais cedo, em comparação à fluência verbal (Jurado & Rosselli, 2007).

Fluência verbal

O componente denominado “fluência verbal” é identificado mais tarde na vida, com evidências de progressos no desempenho ao final da primeira infância (Alloway & Alloway, 2013). O desenvolvimento tardio da fluência verbal pode ser discutido a partir da constatação de que as mudanças no desenvolvimento da memória de trabalho ocorrem por diferenças entre domínios (subcomponentes) ao invés de diferenças na funcionalidade da memória de trabalho (manutenção e manipulação da informação) (Alloway & Alloway, 2013). Assim, uma vez que a fluência verbal depende, também, dos processos de manutenção passiva e articulação subvocal da informação codificada, é de se esperar que seu desenvolvimento ocorra mais tardiamente, em função da consolidação do desenvolvimento do laço fonológico.

Velocidade de processamento

A capacidade e a velocidade do processamento são elementos-chave na explicação das os efeitos da idade na fluência verbal e controle inibitório. À medida que ocorre o crescimento, o indivíduo é menos direcionado para responder a estímulos sensoriais, e mais propenso a guiar o comportamento com base em representações mentais. Estes elementos possibilitam maior resistência à distração e,

portanto, menos erros de perseveração e de controle de impulsos. No envelhecimento a capacidade de registro é comprometida pela diminuição da velocidade de processamento.

Alternar a atenção

No estudo de Pureza et al. (2013) foi feita a avaliação de diversas componentes do executivo central em crianças entre 6 e 12 anos as diferenças mais expressivas no desempenho foram identificadas entre as idades de 6 a 7 anos e, também entre as idades de 11 e 12 anos de idade. A função do executivo central de alternar (ou deslocar) a atenção também pode ser discutida no modelo multicomponente da memória de trabalho como uma operação dependente da capacidade de manter dois ou mais tipos de representação na memória, direcionar as ações conforme este conteúdo (Jurado & Rosselli, 2007) e organizar a representação de forma hierárquica (Garon et al., 2008). As crianças de três anos de idade conseguem manter uma regra representada (por exemplo, categorizar estímulos segundo as cores). Entretanto, a capacidade de alternar entre dois tipos de instruções (separar estímulos por cores e formas) ainda é muito difícil para as crianças de sete anos (que perseveram na aplicação de uma mesma regra), será melhorada em torno de nove anos de idade, e consolidada apenas na adolescência (Jurado & Rosselli, 2007). As crianças da pré-escola têm dificuldade em integrar a representação de regras incompatíveis, decorrendo em erros de conflito entre o que sabem e o produto das suas ações (Garon et al., 2008).

A relação entre idade, executivo central e ocorrência de transtornos neuropsiquiátricos

Algumas condições neuropsiquiátricas subsidiam importantes conclusões sobre o funcionamento do executivo central, e sua relação com o funcionamento do córtex pré-frontal. As denominadas “síndromes disexecutivas” referem-se aos sinais e sintomas cognitivos e comportamentais demonstrados por pacientes que sofreram danos no lobo frontal (Baddeley, 2007). As manifestações comportamentais podem variar de apatia a desinibição, desatenção, perseveração, planejamento pobre, entre outros. Borges et al. (2010) realizaram uma bateria neuropsicológica com três pacientes que demonstravam diferentes manifestações da síndrome. Os dados indicaram que, nos três casos, houve comprometimento significativo no desempenho das atividades cotidianas e prejuízo na fluência fonológica, mas não semântica. Dois pacientes apresentaram déficits de inibição, associado a dificuldades de antecipação de sentimentos negativos relacionados a consequências futuras. Por outro lado, outro paciente demonstrou padrão comportamental característico de apatia.

O padrão de resultados identificado por Borges et al. (2010) no que se refere às funções executivas foi interpretado como caracterizado por evidência de comprometimento na ativação somática associada à disfunção na circuitaria do córtex pré-frontal. As informações sobre as sequências de

eventos futuros não são adequadamente integradas, nem é possível estabelecer correspondência adequada destas expectativas com respostas condicionadas de medo, por exemplo. Como resultado, têm-se maior probabilidade de emissão de comportamentos impulsivos, por exemplo, roubar e usar e abusar de substâncias.

A relação entre a maturação do lobo frontal e o executivo central pode ser estudada via análise das funções do executivo central, como feito anteriormente, mas também a partir de evidências sobre a atividade anormal desta estrutura nas síndromes do desenvolvimento. Por exemplo, estudos com pacientes em tratamento da fenilcetonúria são bastante elucidativos sobre o desenvolvimento do sistema executivo. Esta patologia genética é caracterizada por falhas metabólicas na conversão de fenilalanina em tirosina (precursora da dopamina), que, se não tratada provoca comprometimento cerebral difuso. Evidências mostram que altos níveis plasmáticos de fenilalanina estão relacionados com pior desempenho em tarefas executivas de manutenção do objetivo da ação e alternância de tarefas, em comparação a grupos controle. As diferenças entre os grupos não são decorrentes de diferenças de nível de desenvolvimento mental global, e foram atribuídas aos prejuízos nas vias dopaminérgicas das regiões dorsolaterais do córtex pré-frontal (Malloy-Diniz et al., 2004).

O transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) também é estudado no contexto do desenvolvimento do executivo central, não somente pelo interesse pelas vias dopaminérgicas do lobo frontal (envolvidas no transtorno), mas pelo questionamento acerca das teorias cognitivas que explicam o déficit de atenção. A literatura questiona se a desatenção seria produto de sobrecarga na capacidade do executivo central, ou se ocorre devido aos prejuízos no funcionamento executivo, bem como nos subcomponentes de armazenamento. Evidências mostram que, na situação na qual o desempenho de crianças com TDAH foi comparado com crianças com desenvolvimento típico, e, nivelando as capacidades de armazenamento, ocorreu maior decréscimo no desempenho da memória devido à sobrecarga da capacidade no grupo TDAH (Kofler, Rapport, Bolden, Sarver & Raiker, 2010; Gonçalves et al., 2013). Ao impor uma maior demanda de recitação da informação, houve semelhança no prejuízo para a memória. Entretanto, nesta condição o grupo TDAH registrou menor quantidade de estímulos (a mediana da capacidade de armazenamento das crianças do grupo típico foi de 5 estímulos do laço fonológico e esboço visuoespacial, em oposição a 4 e menos que 3 itens no grupo TDAH, respectivamente). Em conjunto, os dados mostram que déficits nos processos executivos são associados com a desatenção no TDAH e dependem do tipo de tarefa e das demandas situacionais. Isto explicaria a anedota de que a criança com TDAH permanece engajada em tarefas específicas (por exemplo, ver TV), mas em outras não (assistir a aula). A função de focalizar a atenção seria essencial neste transtorno, sendo que as funções de dividir e realizar a interface entre memória de longo prazo e memória de trabalho foram descartadas das hipóteses. Isto, porque a avaliação dos grupos ocorreu pela realização de um único tipo

de tarefa, com demandas mínimas de acesso a conteúdo de longo prazo (Kofler et al., 2010).

A dislexia também é frequentemente relacionada com o funcionamento do sistema executivo, ao lado dos componentes da linguagem. Lima, Azoni e Ciasca (2011) verificaram esta hipótese avaliando crianças entre 9 e 14 anos, em três grupos: dislexia, dificuldades escolares e controle. Foram utilizadas tarefas de inibição de respostas automáticas, alternar recursos da atenção (flexibilidade) e planejamento. As crianças com dislexia tiveram piores escores no teste de cancelamento (principalmente na modalidade visual) e no Teste de Stroop, indicando dificuldades em executar tarefa de rastreo e inibição de estímulos irrelevantes para a ação. O longo tempo de resposta denota dificuldade em manter um alvo no foco da atenção e sustentar este item. Estes aspectos são compatíveis com a teoria de lentificação do processamento e lentidão na reação a estímulos do ambiente. Adicionalmente, na medida de alternância (parte B do Teste de Trilhas) as crianças com dislexia demonstraram desempenho equiparado às crianças com dificuldades escolares, mas pior performance que o grupo controle. Em síntese, os dados de avaliação de crianças com dislexia indicam uma interação entre os sistemas de armazenamento (específicos com o processamento da linguagem) e os processos executivos na modulação das funções executivas.

Outra temática bastante explorada no que se refere ao estudo dos fatores do desenvolvimento relacionados ao executivo central é a correlação desta função e a aquisição de habilidades sócio-cognitivas, como as relacionadas à teoria da mente. Estes estudos mostram que há uma relação entre as funções executivas e o pensamento consciente, ou seja, a habilidade de formular pressupostos ou crenças sobre o próprio pensamento e sobre o que os outros estão pensando (Pellicano, 2007 citado por Hughes, 2011).

A polêmica da unidade/diversidade das funções executivas permanece nos estudos de perspectiva desenvolvimento. Por meio de técnicas estatísticas como a análise fatorial confirmatória foram identificadas evidências de que a correlação entre funções executivas se estabelece por uma característica unitária na infância, e se modifica nos anos escolares, indicando uma especialização entre as funções relacionada à idade (Miyake & Friedman, 2012; Hughes, 2011). Além disto, estas evidências indicam que um mesmo fator comum subjacente às funções executivas pode ser identificado em diferentes grupos de idade (crianças, adolescentes e adultos), comprovando a estabilidade dos componentes executivos ao longo do desenvolvimento (Garon et al., 2008). Os detalhes destas mudanças na natureza e organização funcional do executivo central relacionadas à idade serão indicadas a seguir.

Mudanças na natureza e organização funcional do executivo central relacionadas à idade

Crianças

Os primeiros cinco anos de vida são cruciais para o desenvolvimento das funções do executivo central. Uma das funções básicas que pode subsidiar conclusões sobre a interação de fatores atencionais e de armazenamento nesta idade refere-se à capacidade de manter uma informação codificada ao longo de um intervalo. Esta função possibilita um processo seguinte da memória de trabalho, que é a manipulação do conteúdo armazenado (Garon et al., 2008). Um modo de analisar este processo é semelhante àquele utilizado por Piaget, que analisou o desempenho de bebês na tarefa de esconder um objeto que muda de uma localização para outra. Dentre as conclusões obtidas a partir do uso desta técnica, identificou-se que a habilidade de recuperar a nova posição ocorre, em média, aos 8 meses de idade. Entretanto, estudos posteriores que utilizaram o registro do movimento ocular de bebês que realizaram esta mesma tarefa demonstram que a manutenção da nova informação ocorre mais cedo no desenvolvimento. Os participantes de até 5 meses de idade recordaram a posição espacial correta (identificada pelo movimento do olhar em direção à posição), mas se aproximam da antiga posição por não conseguirem inibir a resposta preponderante, relacionada à posição antiga do objeto. Desta forma, os pesquisadores sugerem que é em torno dos 7 meses de idade que as funções do executivo central relacionadas ao controle inibitório e à flexibilidade cognitiva emergem e influenciam o desempenho em tarefas como as mencionadas anteriormente (Hughes, 2011).

A função executiva de inibição de respostas automáticas na tarefa de recordação tardia é beneficiada após os 6 meses, pois ocorre uma melhoria na capacidade de manter, por mais tempo, o conteúdo apresentado. De modo adicional, a carga de memória também é ampliada, ou seja, os bebês conseguem manter mais itens do que anteriormente. Os fatores contextuais (ou de longo prazo) também influenciam esta capacidade de inibir respostas preponderantes. Quando se compara a recordação tardia de conteúdos de curto (brinquedos) e de longo prazo (cuidador) verifica-se que a informação conhecida permanece por até 5 vezes mais tempo na memória que o objeto novo (Slaughter & Boh, 2001 citados por Hughes, 2011).

Através das evidências sobre a tarefa de recordação tardia em bebês podemos verificar que a expansão da capacidade da memória de trabalho é fator essencial para o desenvolvimento do executivo central, e que isto ocorre no nível dos subcomponentes de armazenamento. À medida que crescem, os bebês são mais hábeis em discriminar objetos (domínio visual), ou seja, comparar estímulos presentes com a representação memorizada. Da mesma forma, eles se tornam mais hábeis em encontrar estes objetos escondidos, ou seja, ocorrem ganhos na capacidade em armazenar mais de uma localização espacial simultaneamente. Entretanto, o incremento nas funções executivas não ocorre apenas no nível dos subcomponentes de armazenamento. As evidências sobre a tarefa de encontrar objeto conhecido versus desconhecido atestam o desenvolvimento da função do executivo central de integrar conteúdo da memória de trabalho com a memória de longo prazo.

Além da tarefa recordação tardia (esconder o brinquedo em uma nova posição), tarefas de recordação de sequências na ordem direta ou inversa também são utilizadas para testar hipóteses sobre as funções executivas. Evidências mostram que a partir dos 2 anos de idade o indivíduo consegue realizar o processo de atualização do conteúdo na memória de trabalho, sendo que a capacidade de manipulação do conteúdo depende da modalidade da informação, reforçando a dissociação dos componentes de armazenamento. Supõe-se que esta manipulação ativa da representação reflete mais fortemente o funcionamento do executivo central, e de sua capacidade em articular e coordenar o sistema atencional e os sistemas de armazenamento (Garon et al., 2008).

Diz-se que a tarefa de encontrar o brinquedo escondido em uma localização nova é uma avaliação da função de inibição, pois o examinando deve inibir a resposta automática em direção à antiga localização e selecionar outra posição no espaço, com base na representação da mudança. A tarefa proibição simples é outro exemplo de avaliação da função de inibição em crianças pequenas. Nesta tarefa apresenta-se um objeto atrativo para a criança (por exemplo, um brinquedo) e o experimentador dá um comando de proibição do tipo “Não pode!”. Avalia-se o tempo que leva para a criança aproximar-se do objeto. Investigações deste tipo indicaram que há uma melhora consistente desta habilidade conforme a idade. Aos 14 meses de idade cerca de 11% das crianças são propensas a obedecer o comando, aguardando por 30 segundos para se aproximarem do objeto. Já 65% das crianças com 36 meses são capazes de aguardar pelo mesmo tempo. A separação em dois grupos conforme o nível de autocontrole indica que os participantes com melhor padrão de autocontrole alcançaram níveis mais altos de comportamento de espera aos 3 anos de idade. Neste grupo havia 86% de probabilidade que esperassem 30 segundos até se aproximarem, versus 38% de probabilidade do outro grupo demonstrar o mesmo comportamento (Friedman et al., 2011).

Outra maneira de testar a inibição da resposta em crianças pequenas refere-se a avaliação de controle de uma resposta dominante, que é dependente mais do sistema de recompensa, do que dos processos de memória imediata. Neste paradigma do atraso da gratificação (Mischel, Ebbesen & Zeiss, 1973 citados por Garon et al., 2008) a criança deve escolher entre obter uma pequena recompensa imediata, ou esperar um tempo maior e receber uma recompensa maior.

As evidências do paradigma do atraso da gratificação mostram que esta habilidade é aprimorada com a idade. No estudo de Carlson (2005, citada por Garon et al., 2008), por exemplo, metade das crianças de 2 anos avaliadas conseguiram suprimir a resposta-alvo (comer um doce) por 20 segundos, enquanto 85% das de 3 anos suprimiram a resposta por um minuto, e 72% das pré-escolares de 4 anos de idade conseguiram inibir a resposta por cinco minutos. Dados adicionais mostram que as crianças pré-escolares mais velhas conseguem atrasar por mais tempo a resposta de obtenção da recompensa, o fazem mais frequentemente que as crianças menores, e realizam uma ponderação entre o tamanho da

diferença entre opções imediatas e atrasadas (Lemmon & Moore, 2007, citados por Garon et al., 2008).

A inibição das respostas predominantes em um paradigma de recompensa é considerada uma avaliação das funções executivas “quentes”, pois avaliam respostas eliciadas por fatores motivacionais, e não somente por contextos cognitivos neutros emocionalmente, que são consideradas “funções executivas frias”. À parte da discussão filosófica da distinção entre cognição e emoção, estas funções executivas – frias e quentes – são mediadas por vias distintas do pré-frontal. Na perspectiva desenvolvimental verifica-se que à medida que as crianças ficam mais velhas ocorre um aumento do uso do sistema ‘frio’ para regular o sistema ‘quente’ das funções executivas, mas a probabilidade de conectar estas redes é maior no período muito próximo do pré-escolar (Peterson & Welsh, 2014; Garon et al., 2008).

Alguns teóricos adotam a perspectiva de Luria da mediação da linguagem para explicar as falhas das crianças pequenas em desempenhar tarefas complexas de inibição da resposta. Nesta perspectiva, a linguagem favorece a representação simbólica de regras e a hierarquia entre elas, promovendo controle das ações. As crianças pequenas ainda não possuem este processo completamente desenvolvido, e, por isto falham em controlar respostas preponderantes (Garon et al., 2008). Esta perspectiva deve ser analisada com cuidado, pois pode promover a conclusão precipitada sobre a memória de trabalho como sendo o processamento da linguagem. A percepção da fala (armazenador fonológico passivo) e a produção da fala (sistema articulatório de recitação) são processos dissociados, mas que fazem parte de um sistema cognitivo hipotético (laço fonológico) que não tem a propriedade de manipular a informação para resolver problemas complexos (de múltiplas modalidades). Este sistema também não tem capacidade para, de forma isolada, realizar a interface com a memória de longo prazo. Estas operações complexas dependem da interação funcional entre os armazenadores especializados com o tipo de informação e o sistema atencional (Baddeley, 2007).

A função executiva de controle inibitório é frequentemente relacionada à aquisição de habilidades acadêmicas. Entretanto, ainda é controverso o valor preditivo da capacidade de controle de respostas automáticas no aprendizado de habilidades acadêmicas (Vandenbroucke et al., 2017). Crianças que estavam em etapa de transição entre a pré-escola e o primeiro ano escolar foram testadas em tarefas executivas e em provas de conteúdo acadêmico. Elas deveriam memorizar uma série de informações (memória de trabalho), realizar tarefas de manipulação de representações memorizadas (flexibilidade cognitiva), tarefas que exigiam respostas específicas a alvos e não-alvos (controle inibitório) e testes acadêmicos padronizados (leitura e escrita de palavras e matemática). Os dados mostraram que o desempenho da memória de trabalho e em flexibilidade cognitiva foram fatores preditores da performance nas tarefas de conteúdo escolar. O bom desempenho de inibição das respostas automáticas não foi relacionado com os resultados nos testes acadêmicos. Este dado sugere que na idade de seis anos ocorre uma variabilidade entre indivíduos no que se refere à

capacidade de controle de ações. Fatores biológicos e ambientais podem justificar esta variabilidade, sendo importante a investigação das diferenças individuais e como elas se relacionam ao desempenho escolar, reconhecendo que este é multideterminado e passível de modificações via intervenção ambiental (Vandenbroucke et al., 2017).

Outro estudo que se dedicou à relação entre funções executivas e objetivos acadêmicos (Purpura, Schmitt & Ganley, 2017) mostrou que diferentes componentes do sistema executivo se relacionam com habilidades matemáticas e de leitura. A análise do desempenho acadêmico foi realizada por meio de tarefas de identificação numérica, ordenação, comparação de quantidades, cálculo, nomeação verbal (vocabulário), discriminação de letras e palavras. Os recursos executivos foram estudados por meio de tarefas de inibição da resposta, manipulação de representação memorizada e raciocínio (flexibilidade cognitiva). Os autores verificaram que existe uma estrutura desenvolvimental na qual os aspectos mais complexos das funções executivas estão relacionados à fatores mais complexos ou abstratos das habilidades matemáticas e de leitura. A memória de trabalho é mais requerida para tarefas de comparação e combinação de quantidades. A flexibilidade cognitiva é solicitada em tarefas de conceituação abstrata das leis matemáticas. No que se refere às habilidades linguísticas (leitura, escrita), a memória de trabalho estava relacionada de modo mais estreito à consciência fonológica (Purpura et al., 2017).

A relação entre complexidade das funções executivas e habilidades acadêmicas também foi demonstrada no estudo de Piccolo e Salles (2013). A tarefa designada a avaliar a manipulação ativa de informações na memória de trabalho (recordação inversa de dígitos) contribuiu para a explicação do desempenho em tarefas de leitura de palavras isoladas em crianças. Já a tarefa de capacidade para armazenamento de sequências visuoespaciais (semelhante à Tarefa Corsi) contribuiu para a explicação do desempenho em tarefas de leitura de textos (Piccolo & Salles, 2013).

Os estudos sobre a função executiva de alternar a atenção entre estados mentais avaliam os erros de critério de escolha entre duas condições de resposta, e o número de respostas corretas que se seguem à inversão do critério de resposta. As avaliações realizadas com crianças pré-escolares indicaram que no primeiro ano de vida ocorre um salto expressivo no desempenho deste tipo de tarefa, em comparação aos outros períodos de idade. Além disto, quanto mais similares são as propriedades visuais e/ou espaciais dos estados inicial (A) e após a mudança de critério (B), mais a criança enfrentará dificuldades na escolha da resposta. Por exemplo, as crianças de seis anos de idade ainda cometem erros do tipo A-não-B nas provas em que a distância entre as duas posições de escolha é muito próxima. Outras evidências no estudo da função de alternar a atenção entre estados mentais diferentes mostram que aumento da complexidade da resposta motora para a tarefa ocasiona diminuição da taxa de acertos (Schutte et al., 2003 citados por Garon et al., 2008).

Algumas teorias foram desenvolvidas para explicar os dados encontrados sobre a função de alternar a atenção entre estados mentais em crianças pequenas. Uma delas

defende que a melhora no desempenho de tarefas de alternar a atenção em crianças de um ano de idade se deve à maior capacidade de distinguir estímulos nos aspectos visuais e espaciais. Ou seja, o aprimoramento nos processos perceptuais favorece o desempenho executivo. Adicionalmente, os limites dos recursos atencionais necessários para recuperar e manter a representação na memória de trabalho é fator essencial na explicação dos resultados. Quando estes recursos estão sobrecarregados, ou direcionados para outra tarefa complexa (planejamento motor da resposta, por exemplo) ocorre queda no desempenho. Além disto, acredita-se que o tempo de sustentação do foco da atenção na nova condição de resposta (após o deslocamento de A para B, por exemplo) seja determinante para o desempenho. A teoria sobre a interface destes recursos atencionais com os de armazenamento explica que quanto mais forte a associação entre estímulo e resposta na condição inicial (via repetição ou por meio do aumento do nível de processamento), ocorre melhor desempenho em alternar entre os estados mentais. A perseveração no estado mental inicial parece, então, ser um estágio para a aquisição da flexibilidade cognitiva (Garon et al., 2008).

Em síntese, a avaliação da função executiva de alternar a atenção entre estados mentais em crianças pré-escolares indica que este processo é dependente de duas etapas, que seguem trajetórias desenvolvimentais diferentes. A primeira refere-se à aprendizagem dos contextos mentais e de re-mapeamento. Esta fase parece desenvolver-se rapidamente, consolidando-se aos três anos de idade. A segunda refere-se à superação do conflito entre duas representações mantidas na memória de trabalho. Esta parece desenvolver-se mais lentamente, e é altamente dependente do controle atencional. Assim, esta habilidade de impor um controle top-down durante a escolha e inibição de respostas parece desenvolver tardiamente, em torno dos três aos cinco anos de idade. As hipóteses explicativas afirmam que, até os três anos de idade existe uma dificuldade em “pensar sobre alguma coisa em duas diferentes maneiras” (superar conflitos) e de utilizar processos de atenção seletiva para as opções de resposta (Garon et al., 2008).

O desenvolvimento do sistema executivo foi investigado nos estudos de Pureza et al. (2013) e Dias e Seabra (2014) na população brasileira. Pureza et al. (2013) compararam o desempenho de crianças entre seis e doze anos em diversas tarefas executivas, que envolviam fluência verbal, discurso narrativo, geração aleatória de números, atualização e inibição de respostas. Os resultados mostraram um ganho significativo no desempenho das tarefas executivas de inibição entre os grupos de 6-7 e de 8 a 10 anos de idade. Houve um pico de desempenho nas tarefas de planejamento e velocidade de processamento no grupo de participantes com idade entre 11 e 12 anos de idade. Parece que o auge do desenvolvimento da velocidade de processamento visual ocorre aos 8 anos de idade, mas esta função pode depender de outra – o planejamento e organização da ação, que apresenta o seu auge mais tardiamente, por volta dos 11 a 12 anos de idade. O estudo conclui que há uma dissociação das funções executivas ao longo do desenvolvimento.

A tarefa N-back utilizada no estudo de Pureza et al. (2013) é bastante elucidativa sobre o desenvolvimento da função executiva de atualização da informação. Uma sequência de estímulos era apresentada, e o participante deveria responder um comando não com base no estímulo presente, mas sim com relação a um estímulo que apareceu uma, duas, ou três posições anteriores. Foram apresentados estímulos visuais-verbais (fotos de animais associadas a seus nomes) e estímulos verbais (números). Não houve diferença relacionada a idade no que se refere à tarefa de atualização de uma posição serial. Entretanto, quando a carga aumentava para recordação de duas posições anteriores, houve diferença de desempenho relacionada à idade. A sobrecarga de três posições seriais acarretou diferença apenas entre as crianças mais velhas (11 a 12 anos) e o restante da amostra. Os autores interpretaram estes dados como evidência de que o desenvolvimento do executivo central (particularmente da função de atualização) torna-se completo, capaz de desempenhar tarefas complexas apenas muito tardiamente no ciclo da vida.

Dias e Seabra (2014) também avaliaram as diferenças associadas à idade nas funções executivas em tarefas de fluência verbal. Foram avaliadas correlações entre esta função e outras habilidades cognitivas (memória de trabalho visual e auditiva, alternância e inibição). Dois grupos de participantes compuseram a amostra, sendo um de idade entre 6 e 10 anos, e outro entre 10 e 14 anos. Os dados mostraram que para as crianças mais novas os fatores idade, memória auditiva e alternância foram os preditores no desempenho da fluência verbal. Para as crianças mais velhas o gênero, memória auditiva, alternância e inibição explicaram os escores da tarefa de fluência verbal. As autoras consideram que a melhora relacionada à idade na tarefa de fluência verbal reflete mudanças nos usos de estratégias para controle das ações. Com a idade, o desempenho na tarefa se torna menos dependente de processos de manutenção, e mais relacionado com as funções executivas, principalmente a capacidade de inibir estímulos irrelevantes para a resposta.

Adolescência

As mudanças físicas e hormonais características da adolescência são acompanhadas por notáveis alterações cognitivas (Bjorklund & Causey, 2017). Ocorre uma modificação na natureza do pensamento, direcionado para aspectos como auto-reflexão e maior capacidade de manter conceitos multidimensionais, o que habilita maior capacidade do pensamento estratégico (Blakemore & Choudhury, 2006).

Em termos neurais, o córtex pré-frontal e parietal continuam a desenvolver após a puberdade. Pode ser esperado que as habilidades cognitivas que confiam nestas regiões e nas interconectividades com outras regiões também se modifiquem (e aprimorem) durante este período, como por exemplo, a atenção seletiva, tomada de decisão, inibição de respostas e realização de múltiplas tarefas ao mesmo tempo. Entretanto, esta melhora não ocorre para todas as funções executivas, e nem sempre se dá de forma linear. Por exemplo, em tarefas de combinação entre categorias de estímulos

(expressão facial e emoção), que demandam tomada de decisão, os indivíduos na puberdade acertaram menos as combinações, e precisaram de mais tempo que as crianças de idade inferior. Após a puberdade (entre 13 e 14 anos) o desempenho melhora, mas retorna ao nível pré-puberdade perto dos 16-17 anos. Sugere-se que no período da puberdade ocorre uma proliferação de sinapses no córtex pré-frontal, que resulta em declínio do desempenho cognitivo em função do baixo sinal gerado por esta estrutura. Após a puberdade ocorre a especialização destas sinapses em excesso, fenômeno que é denominado “poda sináptica”. Após esta fase de reorganização, ocorre a melhora no desempenho cognitivo (McGovern et al., 2002 citados por Blakemore & Choudhury, 2006).

As mudanças cognitivas inerentes à adolescência podem ser atribuídas tanto à melhora nos aspectos de armazenamento (maior capacidade de registro) e de manipulação da informação (maior capacidade e velocidade de processamento). Assim, a carga de memória e de controle da ação têm sido fatores de confusão nas tarefas que avaliam o executivo central. Para distinguir estes efeitos Luciana, Conklin, Hooper e Yarger (2005) planejaram tarefas de memória de trabalho espacial com diferentes demandas de armazenamento e de controle executivo. Os dados mostraram que o armazenamento simples (poucas unidades de informação) desenvolve-se entre os 11 e 12 anos de idade. A habilidade de manter e manipular o conteúdo aprimora-se até os 13 a 15 anos. Já organização estratégica desenvolve-se em torno dos 16 e 17 anos.

A função executiva de atualização de informações é requerida em tarefas que exigem substituição contínua de informações por novo conteúdo, e supressão ou inibição de itens que já não são mais relevantes para a tarefa. Portanto, pode-se considerar que esta função é composta por dois elementos, a manutenção de informações e o controle inibitório (Carriedo et al., 2016). Na comparação entre participantes de 7, 11, 15 anos de idade e jovens adultos verificou-se que há melhora com a idade no desempenho dos dois componentes da função de atualização. Ocorre estabilização no desempenho do componente “memória” na adolescência (15 anos) e, de modo diverso, a função “inibição” demonstra progresso contínuo até o início da vida adulta.

A unidade e diversidade das funções do executivo central também são reconhecidas nas avaliações em adolescentes. Por meio de análises de co-variância e análises fatoriais confirmatórias Huizinga, Dolan e van der Molen (2005) examinaram as trajetórias desenvolvimentais de três funções executivas que os autores assim denominaram: memória de trabalho, alternância da atenção e inibição de respostas. Os autores verificaram o desempenho de pessoas entre 7 e 21 anos de idade em tarefas executivas e identificaram que o constructo “funções executivas” poderia ser decomposto em fatores. Um destes fatores seria constituído pelo grupo de variáveis “memória de trabalho” e “alternância da atenção”. Outro fator envolveria o elemento “inibição de respostas”, que não demonstrou integração com outras variáveis para formar um índice composto.

O conceito de memória de trabalho adotado no estudo de Huizinga et al. (2005) é aquele de Cowan (2005), no qual a memória de trabalho é compreendida como um conjunto de processos cognitivos que mantém temporariamente a informação retida em um estado ativo, para que seja utilizada por qualquer operação mental. Neste estudo verificou-se que o desenvolvimento da memória de trabalho transcorre da adolescência para a vida adulta, ou seja, o nível adulto de desempenho na memória de trabalho não é alcançado antes dos doze anos de idade. Verifica-se que a memória de trabalho e a velocidade de processamento são funções que têm as trajetórias de desenvolvimento mais longas do conjunto analisado.

Nas tarefas de avaliação da função executiva de alternar a atenção entre estados mentais verificou-se que o custo da resposta (diferença no tempo de reação e na acurácia nas provas de alternar e repetir) diminuiu com a idade, até os 15 anos, se estabilizando neste ponto. Isto quer dizer que a função executiva de alternar não se aproxima do nível adulto-jovem até a adolescência (Huizinga et al., 2005).

A avaliação da inibição no estudo de Huizinga et al. (2005) mostrou inconsistências no desempenho dos diferentes tipos de tarefas que avaliam esta função. Para algumas tarefas ganhos na acurácia acontecem desde a infância tardia, percorrendo a adolescência; para outras, esta habilidade é aprimorada apenas na adolescência. Na tarefa Stroop, por exemplo, não foram verificadas mudanças significativas entre as idades testadas (7 a 21 anos) quanto ao tempo de resposta. Entretanto, no que se refere à acurácia nesta tarefa, ocorreu melhora no desempenho conforme a idade, com mudanças bruscas na infância e que continuaram na adolescência e vida adulta. Os autores consideram que a habilidade de resistir à interferência e inibir respostas competidoras define uma dimensão maior que promove o desempenho, avaliada em um conjunto complexo de tarefas.

Dias, Menezes e Seabra (2013), avaliando uma amostra da população brasileira, encontraram resultados consistentes com o estudo de Huizinga et al. (2005) no que se refere às mudanças nas funções executivas no período da adolescência. As autoras compararam o desempenho de crianças e adolescentes em tarefas de atenção seletiva, fluência verbal, memória de trabalho, controle inibitório e planejamento. Os dados indicaram que houve melhora no desempenho associada à idade em todas as tarefas, mas no grupo de adolescentes as diferenças entre algumas medidas foram menos expressivas do que as verificadas no grupo de crianças. Nas tarefas de atenção seletiva, por exemplo, foram verificadas diferenças entre os participantes de 7 a 10 anos de idade, mas não houve diferença de desempenho entre os participantes de 12, 13 e 14 anos. Para a fluência verbal houve crescente melhora do desempenho conforme a idade, mas estabilização do desempenho após 10 anos. A estabilização do desempenho na tarefa de alternar entre estados mentais (flexibilidade cognitiva) ocorre apenas aos 14 anos. As autoras sugerem que o desenvolvimento de algumas habilidades executivas é mais gradual na adolescência.

Friedman et al. (2011), em um estudo de base genético-comportamental, analisaram se o autocontrole (ou

inibição) na primeira infância prevê diferenças nas funções executivas (fator geral, inibição, atualização e alternar) na adolescência em amostras de gêmeos. As crianças foram avaliadas quatro vezes entre os períodos de um e três anos de vida em uma tarefa de controle de impulsos (tarefa simples de proibição de aproximação de um objeto). Os dados da latência da resposta foram correlacionados com medidas de funções executivas obtidas quando a amostra estava com dezessete anos. Os resultados indicaram que, em comparação às crianças impacientes, os participantes que em terna idade tiveram maior autocontrole apresentaram na adolescência melhores escores no fator comum de funções executivas, mas sem diferenças nos escores de atualização da informação e piores escores no fator alternar a atenção entre tarefas.

No estudo de Friedman et al. (2011) a habilidade de autocontrole foi associada à função executiva de inibição de respostas preponderantes porque depende da manutenção ativa do objetivo da tarefa. De modo diverso, a ausência de efeito na função de atualização pode refletir a natureza da tarefa, que não dependia da atualização do conteúdo, pois somente um objetivo era relevante para a tarefa, ou seja, não se aproximar do objeto. Sobre a relação negativa entre inibir e alternar, é possível que a função de alternar a atenção reflita predominantemente a flexibilidade mental, ou seja, a habilidade de desativar ou remover um objetivo de ação, quando este não é mais relevante para o ambiente.

A relação entre o funcionamento do sistema executivo e os objetivos acadêmicos na adolescência foi investigada no estudo de Samuels, Tournaki, Blackman e Zilinski (2016). Por meio de um inventário de avaliação de funções executivas preenchido por professores, verificou-se que as funções executivas são consideradas preditoras do desempenho em habilidades como linguagens, matemática, ciências e estudos sociais. O efeito permanece o mesmo em uma avaliação de seguimento de quatro anos. Os autores alertam para a necessidade de detecção precoce de dificuldades executivas pelo impacto em capacidades escolares específicas.

Os estudos sobre as mudanças funcionais do executivo central relacionadas à adolescência frequentemente mencionam o aspecto motivacional deste sistema cognitivo. Nesta linha de estudo são exploradas evidências de que processos de controle executivo (top-down) operam na avaliação de situações com alta demanda motivacional e emocional (Zelazo & Carlson, 2012). Argumenta-se, com base na ciência da neurocognição, que as mudanças constantes nas representações mentais das associações entre estímulos e as consequências das ações são moduladas por sistemas cerebrais correspondentes ao funcionamento do executivo central. Problemas nesta circuitaria estariam relacionados a dificuldades de controle de impulsos e emissão de comportamentos de risco nas tomadas de decisão em problemas cotidianos (Hughes, 2011).

O padrão comportamental de assumir riscos, associado às funções executivas “frias” foi estudado na comparação entre adolescentes e adultos (Bjork et al., 2004 citados por Blakemore & Choudhury, 2006). Foi adotada uma tarefa na qual os participantes deveriam antecipar a

oportunidade de perdas e ganhos monetários, e deveriam aguardar a notificação dos resultados (feedback da tarefa). Em comparação com os adultos, os adolescentes mostraram reduzida ativação na circuitaria do sistema mesolímbico na fase de antecipação das respostas. Não houve diferença entre grupos quanto ao padrão de ativação durante a notificação dos resultados das escolhas. Isto quer dizer que há maior ativação do componente execução do que motivacional do sistema de recompensa. O comportamento de risco seria, portanto, resultado de busca por incentivos extremos para compensar baixo recrutamento da circuitaria envolvida com aspectos motivacionais. Os pesquisadores sugerem que este padrão é justificado pela relação entre processos top-down relacionados ao executivo central e processos bottom-up direcionados pelos sistemas motivacionais de recompensa e respostas emocionais relacionadas aos eventos ambientais (resposta de luta e fuga, por exemplo) (Hughes, 2011).

O estudo experimental dos mecanismos motivacionais do executivo central pode ser realizado por meio de tarefas nas quais o participante deve tomar decisões levando em conta a probabilidade de ganhos imediatos, com risco alto de perda; e a possibilidade de ganhos em longo prazo mais vantajosos, com riscos menores. Outro paradigma – do atraso do reforço – também é utilizado para estes fins. A ideia subjacente é a de que ocorre um declínio no valor subjetivo atribuído à recompensa proporcional ao intervalo de tempo que ela estará disponível. A comparação do desempenho de adolescentes em tarefas desta natureza com tarefas desvinculadas de demanda motivacional mostrou que os componentes executivos “quentes”, relacionados ao sistema motivacional, desenvolvem-se em uma taxa mais lenta que a contrapartida “fria”. Em hipótese, o comportamento de risco frequentemente observado em adolescentes seria parcialmente explicado por este tardio desenvolvimento do executivo central (Prencipe et al., 2011)

Miyake e Friedman (2012) mostraram evidências de alta correlação entre desinibição comportamental e a variabilidade genética relacionada ao fator comum das funções executivas. Ou seja, as funções do executivo central, quando consideradas em conjunto e em função de fatores genéticos, têm valor preditivo de fenômenos clínicos e sociais importantes, como a desinibição comportamental. Esta, por sua vez, está relacionada à problemas do comportamento ditos externalizantes como déficits de atenção, transtornos de conduta e abuso de substâncias.

De modo relacionado, a análise da influência genética (avaliada na comparação entre gêmeos) no estudo de Friedman et al. (2011) indicou que as diferenças no fator comum das funções executivas é primariamente genética, mas dividida entre fatores genéticos e ambientais no que se refere à função de alternar a atenção entre tarefas. Os dados indicam que o desenvolvimento de alguns aspectos das funções do executivo central são vinculados a primordialmente aos aspectos biológicos (heranças genéticas), mas que algumas funções específicas dependem da interação de fatores determinados geneticamente e influências ambientais. Parece que a habilidade de inibir respostas preponderantes (associadas com comportamentos-problema, uso de drogas e

desempenho acadêmico) é baseada em um mecanismo biológico, baseado na genética. Isto quer dizer que existe um substrato biológico, mas não quer dizer que ele não pode ser modificado por fatores ambientais.

Outros estudos longitudinais com grupos de gêmeos avaliados em duas condições (que viviam no mesmo ambiente, ou não) revelaram estabilidade no funcionamento do executivo central. As evidências indicam alta correlação entre as avaliações nas tarefas executivas realizadas quando os participantes tinham dezessete anos, e, depois, aos vinte e três anos de idade. Esta correlação ocorreu mesmo nos grupos que viviam no mesmo ambiente, mas que, em função de oportunidades de emprego ou formação escolar passaram a viver em casas separadas neste período de seis anos (Miyake & Friedman, 2012).

Adultos jovens e Adultos idosos

O estudo das mudanças no funcionamento do executivo central ao longo do desenvolvimento envolve a verificação da hipótese de que ocorre um declínio deste tipo de processamento em função da idade (Banhato & Nascimento, 2007; Fisk & Sharp, 2004), embora esta evidência nem sempre seja verificada na literatura (Brown, 2016). Os estudos que se dedicam às diferenças individuais e o envelhecimento (Braver & West, 2008) geralmente estratificam as amostras conforme a idade e fazem comparações do desempenho nas tarefas executivas. Esta comparação pode ser feita a partir de dados comportamentais (testes experimentais ou psicométricos), mas também via investigação de neuroimagens, para correlação com o funcionamento do córtex pré-frontal (Blakemore & Choudhury, 2006).

O executivo central tem sido considerado como provável mediador de mudanças cognitivas importantes associadas ao envelhecimento, como a redução da capacidade de armazenamento e as dificuldades em manutenção na memória de trabalho de informações integradas (Braver & West, 2008, van der Ven et al., 2012). Fisk e Sharp (2004) compararam diferentes tarefas executivas realizadas por um grupo de pessoas com idade média de 42 anos (desvio padrão de 22). Os autores verificaram uma estrutura fatorial composta pelas funções de atualização, alternar, inibição e acesso à memória de longo prazo. A correlação entre estes fatores foi de pequena magnitude, contrariando os achados de Miyake et al. (2000) sobre a unidade/diversidade do executivo central. Sugere-se que o elemento mediador desta diferença entre os estudos seja a idade das amostras.

Fisk e Sharp (2004) também encontraram em seu estudo correlações entre as tarefas experimentais e as funções executivas. Por exemplo, a Tarefa de Brooks, frequentemente associada ao componente visuoespacial de armazenamento da memória de trabalho foi relacionada com o fator “atualização da informação” do executivo central. A geração aleatória de letras foi associada à função de “acessar conteúdo da memória de longo prazo”, diferentemente da geração aleatória de números que Miyake et al. (2000) associaram à função de “atualização”. O desempenho das tarefas de avaliação da

função de alternar a atenção não foi influenciado pela variável idade, diferentemente das outras funções avaliadas. Verificou-se que os fatores atualização, inibição e alternar a atenção dividem uma variância comum tanto com idade quanto com velocidade de processamento. O prejuízo no desempenho em tarefas executivas decorrente da diminuição da velocidade de processamento também foi verificado em outros estudos (Banhato & Nascimento, 2007, Rabbitt, 2017), ao lado de déficits na memória de trabalho verbal e organização visuoespacial.

A velocidade de processamento é considerada por alguns autores (Billig & Finger, 2016) como elemento indicativo do declínio cognitivo no envelhecimento. Há evidências de que idosos que falam duas línguas apresentam mais rapidez nas respostas às tarefas executivas, apesar de não haver diferenças na acurácia geral na comparação com idosos não-bilíngues (Billig & Finger, 2016). Os autores consideraram que a aprendizagem de uma segunda língua pode agir como fator protetor ao declínio de funções executivas no envelhecimento.

Algumas hipóteses podem ser levantadas para interpretação do fenômeno de diminuição da velocidade de processamento em função da idade. Sugere-se que com a lentificação do processamento há diminuição do tempo disponível para realizar todas as etapas dos processos cognitivos (por exemplo, recuperação sequencial). Com isto, os processos iniciais são interrompidos ou realizados com falhas, prejudicando a integração da informação e o desempenho final. Ocorre uma falta de sincronia entre os processos, e o conteúdo é perdido pelos efeitos de interferência ou pela mera passagem temporal (Fisk & Sharp, 2004). Como exemplo, no caso da tarefa de geração aleatória, que envolve a função executiva de inibição, as respostas preponderantes têm que ser inibidas tempo suficiente para possibilitar a geração de resposta alternativa. O executivo central deve, então, monitorar a eficácia de estratégias em curso e selecionar processos alternativos para gerar sequências aleatórias, quando necessário. Como o tempo disponível para esta operação é curto, o processo não é concluído (Baddeley, 1996). A resistência à distração, considerada aqui como subproduto da velocidade de processamento, atinge um parâmetro estável no desenvolvimento por volta dos dez anos de idade. Evidências desta afirmação advêm da comparação do desempenho de crianças e adultos em tarefas nas quais deveriam responder conforme a apresentação de estímulos específicos, e inibir a resposta dado um determinado sinal do ambiente (Tsubomi & Watanabe, 2017).

As diferenças no desempenho executivo de pessoas mais velhas podem estar relacionadas, em hipótese, com a interação entre capacidade de armazenamento e demanda da tarefa. A hipótese é a de que em tarefas de alta demanda os idosos utilizam mais estratégias executivas que os participantes mais jovens, porque a capacidade da memória é menor no comparativo entre grupos. Dois grupos, um de jovens e outro de adultos, foram comparados em tarefas de atualização da informação em diferentes níveis de carga de memória e de uso de recursos executivos. Os autores

verificaram que a maior confiança em recursos executivos na realização de tarefas executivas depende mais do tipo de demanda das provas cognitivas e dos limites individuais da memória, do que das diferenças de idade entre participantes. Este dado contraria evidências de que idosos utilizam mais estratégias executivas que jovens. A forma de uso das fontes executivas está mais relacionada com a dificuldade da demanda ambiental (Isingrini et al., 2015).

O uso de estratégias executivas para manutenção de informações na memória de trabalho, e as variações deste processo conforme a idade pode ser um dado relacionado com o modo de funcionamento do sistema multicomponente de armazenamento. Evidências sugerem que o registro de sequências de informações visuoespaciais depende de recursos gerais do executivo central e de recursos específicos dos armazenadores. Os itens iniciais da lista apresentada para memorização são amparados pela mobilização de recursos executivos, e os itens finais da sequência demandam mais fortemente recursos específicos de recitação espacial. Sugere-se que esta sinergia proporciona uso eficiente dos subsistemas. O executivo central teria a tarefa de amortecer as demandas requeridas dos subsistemas de armazenamento, que por natureza tem capacidade limitada de retenção de informações (Hu et al., 2016). Assim, conjectura-se que a maior confiança em recursos do executivo central para registro de sequência em idosos ocorre porque há problemas no componente de armazenamento, que possui capacidade menor que na comparação com indivíduos mais jovens.

Brown (2016) demonstrou semelhanças no desempenho executivo entre adultos-jovens e adultos-idosos. A recuperação direta e inversa de uma sequência espacial foi estudada em dois grupos de participantes, sendo um composto por indivíduos entre 18 e 40 anos, e outro por pessoas entre 64 e 85 anos de idade. Foi demonstrado que idosos tem capacidade menor que adultos-jovens, mas os dois grupos se assemelham no processo de recitação do conteúdo memorizado. A interferência de uma tarefa secundária espacial prejudicou o desempenho da memória para os dois grupos, no formato passivo de recordação (recuperação direta) ou ativo (recuperação inversa da sequência). Análises intra-grupo comparando as variáveis idade, sexo, anos de educação formal e tarefa secundária interferente indicaram que a idade é preditora do desempenho na tarefa principal que exige mais esforço executivo, a recordação inversa dos itens espaciais. O autor supõe que um aspecto mediador deste resultado seja a diferença na velocidade de processamento das informações.

Banhato e Nascimento (2007) identificaram uma correlação entre prejuízos no funcionamento executivo de idosos em função da queda da velocidade de processamento com a quantidade de anos de ensino formal da amostra. As autoras chamaram a atenção para o fato de que a amostra do estudo realizado por elas era composta por idosos que apresentavam independência nas atividades básicas e instrumentais da vida diária. Neste sentido, a avaliação permitiu identificar precocemente um declínio cognitivo relacionado às funções executivas que deve ser considerado no planejamento de intervenções para diferenciar grupos no envelhecimento normal de grupos vulneráveis às demências.

Adicionalmente, elas alertam para o fato da escolaridade ser elemento “protetor” do funcionamento cognitivo contra as demências, mesmo que atuando de forma indireta.

A dificuldade relacionada à idade de manutenção de informações integradas tem sido bem documentada no que se refere à memória de longo prazo. Brown e Brockmole (2010) verificaram se esse déficit também pode ser generalizado para a memória de trabalho. Eles avaliaram o envolvimento do executivo central na conjunção de informações visuais, na comparação do desempenho de idosos e adultos-jovens. Os autores adotaram o paradigma de tarefas duplas, no qual a tarefa principal de conjunção de características (cor-forma) foi combinada à tarefa secundária atencional de contagem regressiva. Os dados mostraram que a sobrecarga no executivo central afetou o desempenho da memória para conjunções em comparação às características isoladas, mas não houve diferença entre os grupos etários. O desempenho dos dois grupos na memória para conjunção é igualmente afetado quando a apresentação dos itens ocorre de modo sequencial. Portanto, o estudo não encontrou evidências para déficits relacionados a idade para a conjunção de características visuais na memória de trabalho. Assim, os autores indicaram que os idosos não utilizam mais recursos executivos que os adultos-jovens para manter representações integradas.

De modo controverso ao estudo de Brown e Brockmole (2010), Lecouvey et al. (2015) verificaram em seu estudo um declínio em função da idade na capacidade da memória de trabalho para conjunção de características, sendo este efeito modulado pelo executivo central. Por meio de uma investigação neuropsicológica associada à neuroimagem os autores analisaram o desempenho de participantes adultos-jovens e adultos-idosos saudáveis em tarefas de conjunção verbal-visual, funcionamento executivo (atualização, inibição e alternar), manipulação da informação na memória de trabalho verbal (recordar dígitos na ordem inversa) e velocidade de processamento (teste de cancelamento de alvos). As análises de correlação indicaram que os idosos apresentaram desempenho pior que os jovens no reconhecimento de características integradas, sendo este declínio relacionado à idade explicado pelas diferenças na velocidade de processamento e pela função executiva de inibição. Os dados de neuroimagem sustentam a conclusão de que a conjunção é mantida pelo circuito frontohipocampal, que no envelhecimento apresenta hipoatividade. A memória de trabalho para conjunções de informações é prejudicada em idosos porque eles têm dificuldade em inibir o processamento de estímulos irrelevantes internos e externos. Quando a demanda à memória de trabalho aumenta (por exemplo, em tarefas de conjunção), os recursos cognitivos ficam ocupados por conteúdos irrelevantes, sobrando menos recursos para a informação relevante.

Sobre a função de alternar a atenção entre estados mentais, é frequente a utilização do paradigma no qual uma palavra-dica aponta qual das duas categorias de decisão deve ser desempenhada na palavra-teste que está por vir. Evidências mostram que adultos mais velhos têm mais dificuldade em realizar a tarefa do que adultos mais jovens,

principalmente quando o delineamento experimental é realizado em blocos. Sugere-se que os idosos têm mais dificuldade em separar as duas categorias em termos de estímulos e respostas. Isto faz com que tenham que recuperar estes pares em todas as tarefas, diferentemente do que acontece com adultos mais jovens, que devem realizar esta operação apenas no estado em que há troca de categorias de resposta (Madden et al., 2010).

Assim como nos estudos com crianças, a investigação das funções executivas em adultos também esbarra na questão referente à pureza da tarefa executiva. Em uma tarefa de span, por exemplo, o desempenho pode ser justificado pelas características do armazenador (laço fonológico ou esboço visuoespacial), ou por processos supostamente dependentes do executivo central (manipulação ativa e recitação da informação). Para diferenciar estes elementos, Alderson, Hudec, Patros e Kasper (2013) adotaram o método da análise de regressão para examinar as contribuições independentes do executivo central e dos subcomponentes de armazenamento. Foram avaliados adultos com e sem transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH). Os participantes deveriam recuperar uma proporção de estímulos verbais ou visuoespaciais (número ou pontos pretos), enquanto simultaneamente mantinham um segundo conjunto de estímulos (letras ou pontos vermelhos). Os adultos com TDAH tiveram pior desempenho em tarefas do laço fonológico em comparação ao grupo controle, mas sem diferenças nas tarefas do esboço visuoespacial. Além disto, o aumento da carga de memória (tamanho do conjunto a ser memorizado) afetou mais o desempenho dos pacientes que os demais adultos. Em resumo, há prejuízo nos processos de armazenamento e recitação do laço fonológico, ao lado de déficits no executivo central, mas adequado funcionamento do registro visuoespacial no grupo de pacientes.

A interação/dissociação entre memória de trabalho e as funções executivas de inibição e alternância de recursos ao longo do desenvolvimento foi testada no estudo de Davidson, Amso, Anderson e Diamond, (2006). Os autores realizaram baterias de testes destas variáveis em participantes de 4 a 45 anos de idade. As provas foram realizadas em condições isoladas ou em tarefas duplas. Os resultados mostraram que o aumento da dificuldade das tarefas de alternar e inibição prejudicou o desempenho dos adultos apenas quando a demanda de memória de trabalho aumentava. Ao aumentar a carga de memória de trabalho (itens a serem memorizados) ocorreu queda na acurácia nas tarefas de inibição. Este efeito foi mais consistente para adultos do que para crianças. Outro efeito marcante no desempenho de adultos nas tarefas de inibição é que eles lentificaram seu desempenho para manter o mesmo nível de acurácia nas provas mais difíceis. Os participantes mais jovens apresentaram outro padrão, caracterizado por maior variabilidade na acurácia e mudanças menos significativas na velocidade das respostas. Este efeito foi analisado como mediado por fatores atencionais e de impulsividade. Quando as provas de memória de trabalho e inibição foram equiparadas em dificuldade houve interação entre as variáveis. Os participantes que foram mais rápidos

em tarefas de inibição também foram mais velozes nas medidas de memória de trabalho.

A análise no estudo de Davidson et al. (2006) da função de alternar entre recursos mostrou que esta função possui uma trajetória desenvolvimental mais longa que a função de inibição. O desempenho nas tarefas de alternar melhora com a idade, sendo a mudança marcante apenas após os 13 anos. De modo compatível com a função de inibição, nas tarefas de alternar a atenção os adultos ajustaram a velocidade da resposta para manter consistência na acurácia no desempenho. A análise da interação entre memória de trabalho e função executiva de alternar mostrou que os participantes não tiveram dificuldade em armazenar a regra da tarefa, mas sim, que tiveram problemas em traduzir, rapidamente, a regra da ação em resposta correta.

No estudo de Davidson et al. (2006) ocorreu o efeito “tudo ou nada” da flexibilidade cognitiva. É mais fácil inibir uma resposta dominante todas as vezes, do que inibir uma única resposta por vez. Esta conclusão surgiu da análise das condições de alternar a atenção realizadas em blocos, ou intercaladas entre provas. Os autores interpretaram este dado considerando que é mais difícil superar a tendência da inércia, e continuar no mesmo estado mental, do que alternar entre um estado e outro. Por exemplo, é mais difícil realizar tarefas que ora demandam por inibir estímulo irrelevante, e em outro momento não exigem o mesmo controle da resposta.

A flexibilidade cognitiva em idosos também foi avaliada no estudo de Hamdan e Bueno (2005). A análise de tarefas de geração de palavras (fluência verbal) indicou que apenas o grupo de pacientes com Alzheimer demonstrou desempenho em déficit. Não houve prejuízos na acurácia da resposta para o grupo controle e o grupo de pacientes com comprometimento cognitivo leve, mas este último grupo demonstrou dificuldades em manter episódios de informação. Este dado foi interpretado pelos autores como uma evidência de que pacientes em risco para demências podem demonstrar bom desempenho em determinados componentes executivos, o que exige avaliações neuropsicológicas mais complexas, capazes de investigar os recursos executivos de modo amplo.

Considerações finais

O estudo teve o objetivo de analisar os efeitos da idade na estrutura e funcionamento do executivo central. Por meio da revisão sistemática da literatura, pretendeu-se identificar os princípios gerais do desenvolvimento do executivo central, com descrição de seus componentes funcionais. Adicionalmente, buscou-se caracterizar os marcos do desenvolvimento do EC em grupos populacionais, divididos por faixas de idade: crianças, adolescentes, adultos-jovens e idosos.

Foi possível demonstrar a natureza não-linear e descontínua deste desenvolvimento. Enquanto algumas habilidades executivas surgem muito cedo, outras vão se consolidar apenas na vida adulta. A curva de desenvolvimento do executivo central nem sempre indica incremento de habilidades. Alguns aspectos apresentam melhora com a

idade, sofrem certo declínio em uma etapa intermediária, para depois voltar à demonstrar ganhos em desempenho.

No que diz respeito ao modelo multicomponente da memória de trabalho, as evidências de pesquisas sobre o desenvolvimento do executivo central confirmam que existe uma interação funcional deste com os demais componentes da estrutura da MT. A relação entre processamento e registro da informação é o mecanismo central de interface entre sistema executor e sistemas armazenadores no desenvolvimento cognitivo.

Por meio dos dados do presente estudo, foi possível verificar que no começo da vida o controle das ações é realizado essencialmente pelo mecanismo de seleção automática de respostas, baseadas em esquemas aprendidos. Com o passar dos anos ocorre o fortalecimento do Sistema Atencional Supervisor, ou seja, as ações passam a ser controladas com mais facilidade por um processo complexo que envolve a geração, implementação e verificação de novos esquemas. Apreende-se que, ao longo dos anos, o uso deste sistema top-down de seleção de respostas torna-se menos dependente de esforço (Blakemore & Choudhury, 2006). Com o passar dos anos o controle das ações gradualmente depende mais da eficiência em acessar e modificar esquemas previamente aprendidos, para serem utilizados em situações novas.

Embora seja reconhecida a influência ambiental no desenvolvimento do executivo central (Billig & Finger, 2016), sabe-se que existe um forte elemento genético influenciando o desempenho executivo, se consideramos a unidade das funções executivas, ou a diversidade das mesmas (Miyake & Friedman, 2012). Este dado abre campo de estudo sobre a possibilidade de amenizar os efeitos da variabilidade genética por meio de treinamento, e se os efeitos de um treinamento específico são transferidos para outras funções.

O estudo do executivo central ao longo do desenvolvimento ainda padece de problemas na elucidação dos aspectos teóricos. Apesar de Baddeley (2007) admitir que em sua formulação inicial (Baddeley, 1986) o executivo central era compreendido como um sistema único de capacidade geral, o autor modificou suas hipóteses iniciais em decorrência das evidências de estudos neuropsicológicos e psicométricos sobre a dissociação de funções do executivo central. Entretanto, alguns pesquisadores ainda adotam a perspectiva unitária das funções executivas na fundamentação teórica de seus estudos, ou mesmo apresentam a memória de trabalho como variável em paralelo às funções executivas, e não como as funções executivas embutidas no sistema executivo da memória de trabalho (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Pureza et al., 2013).

Dentre as questões para futuras pesquisas, sugere-se a análise do desenvolvimento dos processos atencionais e a capacidade de armazenamento na memória de trabalho. Esta relação foi demonstrada em evidências de que maiores habilidades de controle atencional separam grupos de crianças em alta e baixa capacidade de armazenamento. Adicionalmente, a tolerância a tempos mais longos entre codificação e recordação é maior quando as condições experimentais possibilitam ao examinando continuar fixando

o olhar na localização do objeto codificado (Diamond & Doar, 1989 citados por Garon et al., 2008), demonstrando que a atenção exerce efeito na memória de trabalho muito cedo no desenvolvimento.

Uma questão que permanece em aberto no estudo do desenvolvimento do executivo central refere-se à pureza das tarefas comportamentais adotadas para avaliar as diferentes funções. As tarefas geralmente envolvem tanto os aspectos de armazenamento da memória de trabalho, quanto de manipulação ativa do conteúdo (inibição da resposta, seleção da atenção). A distinção destes processos no delineamento das tarefas poderia fornecer insights sobre se o desenvolvimento do executivo central ocorre separadamente ou de modo integrado às operações de registro e manipulação na memória de trabalho (Garon et al., 2008)

Os estudos de perspectiva desenvolvimental do executivo central lidam com uma questão metodológica muito difícil, que é a necessidade de adaptar as tarefas para possibilitar a comparação do desempenho em diferentes faixas de idade. Por exemplo, na avaliação de uma mesma função executiva (inibição), o tempo para resposta na avaliação de crianças pequenas geralmente é diferente da janela da resposta em adultos. Isto dificulta conclusões sobre os efeitos de trade-off entre acurácia e tempo de resposta, e aumenta a probabilidade de erros de medida (Davidson et al., 2006).

Em síntese, podem-se destacar as seguintes conclusões do presente estudo: o desenvolvimento do executivo central não ocorre de modo linear, em estágios sucessivos, mas sim, por um processo complexo de interações de influências que estabelecem diferentes trajetórias de desenvolvimento das funções executivas. A natureza e funcionamento do executivo central são diferentes ao longo do desenvolvimento. No começo da vida as ações são controladas por esquemas fortemente aprendidos e pelos estímulos. Com a idade ocorre maior controle das respostas automáticas, e o comportamento passa a ser guiado por processos de criação e implementação de novos esquemas de ação. Embora alguns componentes do executivo central sejam dissociados em termos de trajetórias desenvolvimentais, outros demonstram padrão de interdependência. Por exemplo, a capacidade de focalizar a atenção parece ser determinante para o desenvolvimento da flexibilidade no uso dos recursos cognitivos (alternar a atenção entre processos). Algumas variáveis são determinantes no desenvolvimento do executivo central, sendo elas a velocidade perceptual, a capacidade de armazenamento da memória de trabalho e a velocidade de processamento de informações. Esta descrição sobre o desenvolvimento do executivo central promove a integração de pesquisadores que investigam problemáticas afins, e serve de identificação de áreas de estudo que poderiam ser exploradas futuramente. Não menos importante, a investigação poderá auxiliar os profissionais que atuam no contexto clínico, escolar e social-comunitário para desenvolverem recursos tecnológicos de atuação baseada em evidências científicas.

(1) As referências sinalizadas com um asterisco (*) fizeram parte da amostra da presente revisão teórica.

Referências

- *Alderson, R. M., Hudec, K. L., Patros, C. H. G., & Kasper, L. J. (2013). Working Memory Deficits in Adults With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): An Examination of Central Executive and Storage/Rehearsal Processes. *Journal of Abnormal Psychology, 122*(2), 532–541, doi: 10.1037/a0031742
- Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. Executive and perceptual distraction in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, in press.
- *Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2013). Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach. *Journal of Cognitive Psychology, 25*(1), 84-93. doi: 10.1080/20445911.2012.748027
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A*, 5–2
- Baddeley, A. D. (2002). Fractionating the Central Executive. In: D. T. Stuss & R. T. Knight (Orgs.) *Principles of Frontal Lobe Function*. (pp 246-260). New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. New York: Oxford University.
- Baddeley, A. D. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology, 63*, 1-29, doi: DOI: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
- *Banhato, E. F. C., & Nascimento, E. (2007). Função executiva em idosos: um estudo utilizando subtestes da Escala WAIS-III. *Psico-USF, 12*(1), 65-73, doi: 10.1590/S1413-82712007000100008
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child Development, 81*(6), 1641–1660, doi: doi: 10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x
- *Billig, J. D., & Finger, I. (2016). Bilinguismo como potencial proteção contra o declínio da memória de trabalho no envelhecimento. *Revista Signo, 41*(71), 153-163, doi: 10.17058/signo.v41i71.7201
- Bjorklund, D. F., & Causey, K. B. (2017). Introduction to Cognitive Development. In *Children's thinking: cognitive development and individual differences*. (6. Ed.) (pp. 1-22). California, USA: Sage Publications.
- *Blakemore, S., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 47*(3/4), 296–312, doi: DOI: 10.1111/j.1469-7610.2006.01611.x
- *Borges, M., Coutinho, G., Miele, F., Malloy-Diniz, L. F., Martins, B., Rabelo, B., Mattos, P. (2010). Síndromes disexecutivas do desenvolvimento e adquiridas na prática clínica: três relatos de caso. *Revista de Psiquiatria Clínica, 37*(6), 285-290, doi: 10.1590/S0101-60832010000600007.
- *Braver, T. S., & West, R. (2008). Working memory, executive control and aging. In Craik, F.I.M. e Salthouse, T.A. (eds.) *The Handbook of Aging and Cognition, 3^a ed.* (pp. 311 – 372). Hove, Psychology Press.
- Brown, L. A. (2016). Spatial-Sequential Working Memory in Younger and Older Adults: Age Predicts Backward Recall Performance within Both Age Groups. *Frontiers in Psychology, 7*, (1514), 1-11, doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01514>
- *Brown, L. A., & Brockmole, J. R. (2010). The role of attention in binding visual features in working memory: Evidence from cognitive ageing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 63*(10), 2067-2079, doi: 10.1080/17470211003721675
- *Carriedo, N., Corral, A., Montoro, P. R., Herrero, L., & Rucián, M. (2016). Development of the Updating Executive Function: From 7-Year-Olds to Young Adults. *Developmental Psychology, 52*(4), 666-678, doi: <http://dx.doi.org/10.1037/dev0000091>
- Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York: Taylor & Francis Group.
- *Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia, 44*(11), 2037–2078, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135–168, doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- *Dias, N. M., & Seabra, A. G. (2014). The FAS fluency test in Brazilian children and teenagers: executive demands and the effects of age and gender. *Arquivos Neuro-Psiquiatria, 72*(1), 55-62, doi: 10.1590/0004-282X20130213
- *Dias, N. M., Menezes, A., & Seabra, A. G. Age Differences in Executive Functions within a Sample of Brazilian Children and Adolescents. *Spanish Journal of Psychology, 16*(e9), 1–14, doi: 10.1017/sjp.2013.12.
- Fischer, K. W. Dynamic cycles of cognitive and brain development: measuring growth in mind, brain and education. In A. M. Battro, K. W. Fischer, & P. J. Léna (eds.). *The Educated Brain: Essays in Neuroeducation*. (pp. 127-150), New York: Cambridge University Press.
- *Fisk, J. E., & Sharp, C. A. (2004). Age-Related Impairment in Executive Functioning: Updating, Inhibition, Shifting, and Access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 26*(7), 874-890, doi: 10.1080/13803390490510680
- *Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L., & Hewitt, J. K. (2011). Developmental Trajectories in Toddlers'

- Self-restraint Predict Individual Differences in Executive Functions 14 Years Later: A Behavioral Genetic Analysis. *Developmental Psychology*, 47(5), 1410–1430, doi: 10.1037/a0023750.
- *Garon, N., Bryson, S., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31–60, doi: 10.1037/0033-2909.134.1.31
- *Gonçalves, H. A., Mohr, R. M., Moraes, A. L., Siqueira, L. S., Prando, M. L. & Fonseca, R.P. (2013). Componentes atencionais e de funções executivas em meninos com TDAH: dados de uma bateria neuropsicológica flexível. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 62(1), 13-21, doi: 10.1590/S0047-20852013000100003
- Gray, S., Green, S., Alt, M., Hogan, T., Kuo, T., Brinkley, S., & Cowan, N. (2017). The structure of working memory in young children and its relation to intelligence, *Journal of Memory and Language*, 92, 183-201, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jml.2016.06.004>
- *Hamdan, A. C., & Bueno, O. F. A. (2005). Relações entre controle executivo e memória episódica verbal no comprometimento cognitivo leve e na demência tipo Alzheimer. *Revista Estudos de Psicologia*, 10(1), 63-71, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-294X2005000100008>
- Hitch, G. J. (2002). Developmental changes in working memory: a multicomponent view. In P. Graf & N. Ohta (Eds.). *Lifespan development of human memory*. (pp. 15-38). Cambridge, EUA: Massachusetts Institute of Technology.
- *Hu, Y., Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. (2016). Executive control of stimulus-driven and goal-directed attention in visual working memory. *Attention Perception Psychophys*, 78(21), 64-2175, doi: 10.3758/s13414-016-1106-7
- *Hughes, C. (2011). Changes and Challenges in 20 Years of Research Into the Development of Executive Functions. *Infant and Child Development*, 20, 251-271, doi: 10.1002/icd.736
- *Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2005). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017–2036, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010
- *Isingrini, M., Angel, L., Fay, S., Taconnat, L., Lemaire, P., & Bouazzaoui, B. (2015). Age-Related Differences in the Reliance on Executive Control in Working Memory: Role of Task Demand. *Plos One*, 10(12):e0145361, doi: 10.1371/journal.pone.0145361
- *Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The Elusive Nature of Executive Functions: A Review of our Current Understanding. *Neuropsychological Review*, 17, 213-233, doi: 10.1007/s11065-007-9040-z
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J.; Sarver, D. E., & Raiker, J. S. (2010). ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38(2), 149-161, doi: 10.1007/S10802-009-9357-6.
- *Lecouvey, G., Quinette, P., Kalpouzos, G., Guillery-Girard, B., Benjanin, A., Gonneaud, J., Abbas, A., Viader, F., Eustache, F., & Desgranges, B. (2015). Binding in working memory and frontal lobe in normal aging: is there any similarity with autism? *Frontiers in Human Neuroscience* 9(90), 1-11, doi: 10.3389/fnhum.2015.00090
- Liberati, A., Altman, D.G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P., Ioannidis, J.P.A., et al. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med*. 6(7):e1000100.
- *Lima, R. F., Azoni, C. A. S., & Ciasca, S. M. (2011). Attentional Performance and Executive Functions in Children with Learning Difficulties, *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 24(4), 685-691, doi: 10.1590/S0102-79722011000400008
- *Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The Development of Nonverbal Working Memory and Executive Control Processes in Adolescents. *Child Development*, 76(3), 697-712, doi: 10.1111/j.1467-8624.2005.00872.x
- *Madden, D. J., Costello, M. C., Dennis, N. A., Davis, S. W., Shepler, A. M. Spaniol, J., Bucur, B., & Cabeza, R. Adult age differences in functional connectivity during executive control. *Neuroimage*, 52(2), 643-57, doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.04.249
- *Malloy-Diniz, L., Cardoso-Martins, C., Carneiro, K. C., Cerqueira, M. M. M., Ferreira, A. P. A., Aguiar, M. J. B., & Starling, A. L. (2004). Funções executivas em crianças fenilcetonúricas. *Arquivos de Neuropsiquiatria*, 62(2-B), 473-479, doi: 10.1590/S0004-282X2004000300018.
- *Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions, *Current Directions in Psychological Science*, 21(8), 8-14, doi: 10.1177/0963721411429458
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100, doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Neath, I. & Surprenant, A. M. (2007). Accounting for age-related differences in working memory using the feature model. In N. Osaka, R. H. Logie, M. D’Esposito (eds.). *The Cognitive Neuroscience of Working Memory*. (pp. 165-180). New York: Oxford University Press.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In: Davidson RJ, Schwartz GE, Shapiro(Eds) D,

- Consciousness and self-regulation: advances in research and theory*, Vol. 4 , 1–18. New York: Plenum Press, 4.
- Peterson, E. & Welsh, M. C. (2014). The Development of Hot and Cool Executive Functions in Childhood and Adolescence: Are We Getting Warmer? In S. Goldstein & J. A. Naglieri (eds.). *Handbook of Executive Functioning*. (pp. 45 – 68). New York: Springer.
- *Piccolo, L. R., & Salles, J. F. (2013). Vocabulário e memória de trabalho predizem desempenho em leitura de crianças. *Revista Psicologia: Teoria e Prática*, 15(2), 180-191, doi: S1516-36872013000200014
- Prencipe, A., Cohen, J., Lamm, C., Lewis, M. D., & Zelazo, P. D. (2011). Development of hot and cool executive function during the transition to adolescence *Journal of Experimental Child Psychology* 108, 621–637, doi: 10.1016/j.jecp.2010.09.008
- *Pureza, J. R., Gonçalves, H. A., Branco, L., Grassi-Oliveira, R., Fonseca, R. P. (2013). Executive functions in late childhood: age differences among groups. *Psychology & Neuroscience*, 6(1), 79-88, doi: 10.3922/j.psns.2013.1.12
- *Purpura, D. J., Schmitt, S. A., & Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components, *Journal of Experimental Child Psychology*, 153, 15-34, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.010>
- *Rabbitt, P. (2017). Speed of Visual Search in Old Age: 1950 to 2016, *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 72(1), 51-60 doi:10.1093/geronb/gbw097
- Riby, L. M., Perfect, T. J., & Stollery, B. T. (2004). The effects of age and task domain on dual task performance: A meta-analysis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(6), 863-891, doi: 10.1080/09541440340000402
- *Samuels, W. E., Tournaki, N., Blackman, S., & Zilinski, C. (2016). Executive functioning predicts academic achievement in middle school: A four-year longitudinal study. *The Journal of Educational Research*, 109(5), 478-490, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00220671.2014.979913>
- Shallice, T., & Burgess, P. I. (1996). The Domain of Supervisory Processes and Temporal Organization of Behaviour [and Discussion]. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 351(1346), Executive and Cognitive Functions of the Prefrontal Cortex, 1405-1412, doi: 10.1098/rstb.1996.0124
- *Silva, P. A., & Santos, F. H. (2011). Discalculia do Desenvolvimento: Avaliação da Representação Numérica pela ZAREKI-R. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 27(2), 169-177, doi: 10.1590/S0102-37722011000200003
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Horton, N. (2007). Working memory as the interface between processing and retention: A developmental perspective. In R. Kail (ed.). *Advances in Child Development and Behavior*. (pp. 215-251). New York: Academic Press.
- *Tsubomi, H., & Watanabe, K. (2017). Development of visual working memory and distractor resistance in relation to academic performance, *Journal of Experimental Psychology*, 154, 98-112, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2016.10.005>
- *Uehara, E., Charchat-Fichman, H., & Landeira-Fernandes, J. (2013). Funções executivas: Um retrato integrativo dos principais modelos e teorias desse conceito. *Revista Neuropsicologia Latinoamericana*, 5(3), 25-37, doi: 10.5579/rnl.2013.145
- *Uehara, E., & Landeira-Fernandez, J. (2010). Um panorama sobre o desenvolvimento da memória de trabalho e seus prejuízos no aprendizado escolar. *Ciência e Cognição*, 15(2), 31-41, doi: S1806-58212010000200004
- *Vandenbroucke, L., Verschueren, K., & Baeyens, D. (2017). The development of executive functioning across the transition to first grade and its predictive value for academic achievement. *Learning and Instruction*, 49, 103-112, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.12.008>
- *van der Ven, S. H., Kroesbergen, E. H., Boom, J., & Leseman, P. P. (2012). The development of executive functions and early mathematics: a dynamic relationship. *Br J Educ Psychol*. 82(Pt 1), 100-119. doi: 10.1111/j.2044-8279.2011.02035.x.
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence: Development and Plasticity. *Child Development Perspectives*, 6(4), 354-360, doi: 10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x