

2

Um Panorama sobre as Funções Executivas

As funções executivas (FE), também chamadas de controle executivo ou controle cognitivo, têm sido definidas como um conjunto integrado de habilidades. E, com o intuito de atingir um objetivo específico, irão permitir o planejamento, monitoramento e a regulação de diferentes tipos de processos cognitivos, sócio-emocionais, motivacionais e comportamentais (de Frias, Dixon e Strauss, 2006; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, et al, 2000; Royall et al., 2002). Normalmente, elas são requisitadas em situações em que um nível consciência e controle cognitivo são necessários, tais como em novas situações com as quais nos deparamos (Diamond, 2013). Por este motivo, desempenham um papel biologicamente adaptativo em nosso cotidiano.

As FE incluem vários componentes de processamento, dentre eles: iniciação de tarefas, organização e planejamento, inibição, flexibilidade cognitiva e alternância, ação intencional, teoria da mente, criatividade, automonitoramento e memória de trabalho (Packwood, Hodgets e Tremblay, 2011; Ren, Schweizer, Xu, 2013; Wasserman e Wasserman, 2012; Zelazo, Carter, Reznick e Frye, 1997). Entretanto, a inibição (controle inibitório e de interferência), a memória de trabalho e a flexibilidade cognitiva têm sido considerados os principais domínios das FE (Lehto et al., 2003; Miyake et al., 2000).

Embora o conceito de 'Funções Executivas' seja bastante utilizado, existe uma grande variação na forma como este constructo é definido (Jurado e Rosseli, 2007; Uehara, Charchat-Fichman e Landeira-Fernandez, 2013). Da mesma forma, não há uma definição universal sobre as FE bem como não há consenso sobre que habilidades abragem o constructo, a nomenclatura dessas habilidades e nem como elas devem ser medidas. Pesquisadores como Hayes, Donnellan e Stokes (2011), por exemplo, intitulam a definição das FE como "indescritível", enquanto Bickel, Jarmolowicz, Mueller, Gatchalian e McClure (2012) como "desafiadora".

Na tentativa de obter um panorama mais claro, inúmeros pesquisadores têm abordado o funcionamento executivo por diferentes campos e perspectivas,

incluindo a psicologia cognitiva, a neuropsicologia, a neurociência, a psicometria, o desenvolvimento humano e a educação. Em consonância com essa ideia, vários modelos e teorias têm sido propostos para explicar este constructo, e, conseqüentemente, revisões foram feitas com o objetivo de mapear todo o conhecimento produzido acerca desta temática (Barros e Hazin, 2013; Burgess e Simons, 2005; Uehara, Charchat-Fichman e Landeira-Fernandez, 2013; Hamdam e Pereira, 2009; Kluwe-Schiavon, Viola e Grassi-Oliveira, 2012; Tirapu-Ustároz, García-Molina, Luna-Lario, Roig-Rovira, e Pelegrín-Valero, 2008 a, b).

2.1

Breve Histórico: Um resumo das principais abordagens

Grande parte da origem do conceito de FE e estudos subsequentes tem início pela investigação neuropsicológica tradicional através da busca por correlações entre achados neuroanatômicos e prejuízos decorrentes das lesões. A associação entre as funções mentais superiores e regiões do lobo frontal já era descrita na Grécia e na Roma a partir das lesões dos gladiadores (Duffy e Campbell, 1994). Mas foi a partir da Teoria Localizacionista de Franz Gall (1802) e da descrição do caso Phineas Gage (1848), que uma investigação mais aprofundada sobre o papel dos lobos frontais foi suscitada (Ratiu, Talos, Haker, Lieberman, e Everett, 2004). Assim, apesar de o termo FE ter sido utilizado pela primeira vez na década de 1970, o conceito de um mecanismo de controle já havia sido discutido desde 1840.

Ainda historicamente, acreditava-se que as funções executivas estavam relacionadas apenas aos lobos frontais (Benton, 1991) e seus danos resultavam numa gama de sintomas conhecidos como “síndrome do lobo frontal” ou “síndromes disexecutivas” (Stuss e Benson, 1986). Por exemplo, o acidente de Gage, que teve parte do seu lobo frontal esquerdo destruído, provocou mudanças no comportamento e personalidade, tais como desinibição e agressividade. Este e outros achados neuropsicológicos (ver Brickner, 1936; Hebb, 1939) contribuíram para que os estudiosos elaborassem modelos e teorias baseadas nas FE como um sistema de controle cognitivo unitário.

Na década de 50, influenciados pelo cognitivismo e as teorias de processamento de informação humana, surgem modelos explicativos sobre os mecanismos e sistemas de controle. Donald Broadbent (1953, 1958) descreve as primeiras diferenças entre os processos automáticos e controlados a partir da teoria do fluxo atencional, sendo posteriormente retomado por Shiffrin e Schneider (1977). Estes autores introduziram a noção de atenção seletiva com o qual as FE estão intimamente relacionadas. Em 1975, Michael Posner cunhou o termo Controle Cognitivo em um capítulo do livro intitulado "Atenção e Controle Cognitivo". Nele, Posner sugere a existência de um ramo executivo separado do sistema atencional responsável por focalizar a atenção sobre determinados aspectos do meio ambiente. Nesta mesma época, Alan Baddeley e Graham Hitch (1974) propuseram um modelo de memória de trabalho, no qual haveria um sistema semelhante ao de Posner. Neste modelo, um componente chamado Executivo Central, permitiria a manipulação da informação na memória de curto prazo. Norman e Shallice (1986) também sugerem que a atenção seria regulada por um sistema supervisor, que sobrepõe respostas automáticas em favor de comportamentos pré-determinados com base em planos ou intenções. Aos poucos, esse sistema de controle é associado à porção mais anterior do cérebro, o córtex pré-frontal. Apesar de os cognitivistas não terem desenvolvido suas teorias sobre as FE, elas proporcionaram uma melhor definição e um maior aprimoramento dos constructos psicológicos, bem como a elaboração de conceitos chave, posteriormente incorporados a outros modelos executivos.

O conceito de função executiva tem como principal precursor o neuropsicólogo russo Alexandr Romanovich Luria (1966, 1973). Apesar de Pribram (1973) ter sido um dos primeiros a usar o termo Executivo ao discutir sobre o funcionamento do córtex pré-frontal e de Lezak (1982) ter sistematizado pela primeira vez o conceito de funções executivas, Luria menciona o termo em artigo publicado em 1968 (Karpov, Luria e Yarbuss, 1968), como etapa final do processamento de dados. Baseado em achados clínicos, Luria propõe um modelo hierárquico de funcionamento cerebral composto por três unidades funcionais, no qual a terceira unidade possuía um papel de autorregulação e monitoramento das atividades mentais, compreendendo principalmente os lobos frontais.

Ao utilizar o termo FE, Lezak (1982) o define em quatro grandes domínios, denominados volição, planejamento, ação intencional e desempenho eficaz,

lançando a hipótese de as FE envolverem um conjunto distinto de comportamentos relacionados. Ou seja, falhas em qualquer um desses domínios acarretaria em uma disfunção executiva. Esta conceitualização foi essencial para a popularização do termo, bem como para unificar os conhecimentos na área, direcionando as pesquisas sobre o tema na comunidade neurocientífica, principalmente na avaliação do funcionamento executivo na prática clínica.

Para Welsh e Pennington (1988), as FE são definidas como a capacidade de manter um conjunto de resolução de problemas apropriado para realização de um objetivo futuro. Denckla (1996) descreve as FE como a capacidade de inibir respostas inadequadas, resistir à distração e interferência, manter o comportamento por períodos prolongados, lidar simultaneamente com múltiplas fontes de informação, captar a essência de uma situação complexa e planejar comportamentos complexos. Gioia, Isquith, Guy e Kenworthy (1996) as caracterizam como iniciação, inibição, alternância, memória de trabalho, planejamento, organização, monitoramento e controle emocional. Segundo Barkley (1997), a autorregulação seria o elemento central no funcionamento executivo, o qual congregaria os componentes da função executiva, incluindo o comportamento orientado à meta, a utilização de regras e falas autodirigidas (internalização da fala), a elaboração de planos para orientação dirigida ao futuro, assim como o controle dos impulsos. Este é um modelo criticado por alguns autores por focar exclusivamente nos déficits cognitivos e comportamentais associados ao Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade/Impulsividade (TDAH/I).

Há uma tendência em investigar somente os processos cognitivos relacionados às FE. No entanto, Damásio (1994, 1996) e Bechara, Damasio e Damasio (2000) contribuem com o modelo do Marcador Somático e incorporam o processamento de informações motivacional e interoceptiva aos processos cognitivos superiores, em especial na tomada de decisão. Eles argumentam que os estados somáticos afetivos, associados aos resultados antes da decisão, são utilizados na orientação de decisões futuras. Desta forma, quando uma escolha é seguida por um resultado negativo, ocorre uma reação afetiva associada a esta escolha. De uma maneira geral, a escolha racional é guiada por reações emocionais que influenciam a tomada de decisão. Assim, para a atuação plena do

organismo, é necessário que ambos interajam no ambiente como um todo (Tirapu-Ustárroz, Muñoz-Céspedes e Pelegrín-Valero, 2002).

Ainda, em termos cognitivos e socioafetivos, Kerr e Zelazo (2004) e Zelazo, Qu e Muller (2005) propuseram uma classificação das FE em processos executivos “frios” (*cold*) e “quentes” (*hot*). Na realidade, os autores retomam a ideia de Abelson (1962) e Zajonc (1980) ao usarem os termos "cognição quente" (*hot cognition*) e "cognição fria" (*cold cognition*), e "estímulo quente" (*hot stimuli*) e "estímulo frio" (*cold stimuli*) de Miller e Cohen (2001) ao descreverem comportamentos relacionados ao córtex pré-frontal dorsolateral e orbitofrontal. Nesta expansão mais atual dos conceitos de Abelson e Zajonc, Zelazo e colaboradores definem os componentes “frios” como processos que tendem a não envolver muita excitação emocional e compreendem os aspectos mais lógicos e cognitivos, como o raciocínio lógico e abstrato, planejamento, resolução de problemas e memória de trabalho. Por outro lado, os processos “quentes” estão mais relacionados com os aspectos emocionais, crenças e desejos, como a regulação do afeto, da motivação e do próprio comportamento social, tomada de decisão, experiência de recompensa e punição, teoria da mente, interpretações pessoais e julgamento moral. De maneira geral, os componentes executivos “frios” têm sido associados ao córtex pré-frontal dorsolateral, enquanto os componentes “quentes” estão mais relacionados com o córtex pré-frontal orbitofrontal e ventromedial (Bechara, Damásio, Damásio e Lee, 1999; Happaney, Zelazo e Stuss, 2004; Royall *et al.*, 2002). Embora essa perspectiva pareça dicotômica, processos frios x quentes, essa diferença deve ser vista como um incentivo aos pesquisadores para adotarem uma concepção mais ampla das FE, abarcando também os aspectos mais afetivos (Zelazo, Qu e Muller, 2005).

O uso de técnicas estatísticas tem sido cada vez mais recorrente nos estudos sobre o funcionamento executivo, tais como as análises fatoriais. Através destas técnicas, o debate sobre a conceitualização das FE pode ser empiricamente investigado em populações-alvo diferentes. Ao reduzir o número de variáveis e identificar o padrão de correlações entre elas, a técnica gera um número menor de novas variáveis latentes - também chamadas de componentes, fatores ou dimensões. Estes maximizam o poder de explicação do conjunto de todas as variáveis, possibilitando a identificação de novos subgrupos que avaliam uma mesma habilidade (Pasquali, 2006). Desta forma, a caracterização das funções

executivas como um componente único ou multi-facetado pôde ser melhor estudado. Assim, à medida que mais estudos são realizados, as FE deixam de ter um caráter unitário, para serem consideradas com constructo fracionado com 2 fatores (Miyake et al., 2001; Pennington, 1997); 3 fatores (Brocki e Bohlin, 2004; Lehto et al., 2003), 4 fatores (Espy et al., 1999; Fisk e Sharp, 2004), 5 fatores (Pineda e Merchan, 2003) ou até 6 fatores (Robbins et al., 1998).

Outra forma de se compreender as funções executivas é através de seu desenvolvimento. Ao invés de focar nos déficits e patologias executivas, os pesquisadores investigam o amadurecimento dos lobos frontais e as trajetórias das habilidades executivas no desenvolvimento típico. Zelazo e Frye (1998), por exemplo, propuseram a Teoria da Complexidade e Controle Cognitivo (CCC) que diz respeito à capacidade de a criança adquirir mais representações a fim de compreender relações cada vez mais complexas entre os objetos. Para estes autores, as FE são responsáveis pelas mudanças na complexidade de regras que uma criança consegue formular e empregar na resolução de um problema. Diamond (2006) sugere que as FE atuam como a capacidade de superar o comportamento automático prepotente, apesar da força da experiência anterior. Essa capacidade para coordenar os componentes das funções executivas (a memória de trabalho, a inibição e a flexibilidade cognitiva) segue uma trajetória própria de desenvolvimento, com picos de crescimento na última metade do primeiro ano de vida e entre 3 e 6 anos de idade. A partir dos estudos sobre o desenvolvimento das FE, já é possível observar a influência da maturação dos lobos frontais e da interação com o meio na compreensão do funcionamento executivo, sendo possível pensar em tratamentos preventivos e transtornos invasivos do desenvolvimento.

Desde os primeiros estudos, pelo menos 20 ou mais definições foram descritas na literatura, tornando o conceito difícil de se definir operacionalmente. Muitos autores têm feito tentativas para definir o conceito de função executiva por meio de modelos que variam de um a vários componentes, envolvendo um conjunto de comportamentos relacionados e sobrepostos, que poderão ser observados na Tabela 1. Tal como descrito, a seção tem como objetivo traçar um paronama geral e sucinto das principais abordagens. É importante lembrar que não

houve pretensão de listar todos os modelos e teorias formulados até a presente data.

Tabela 1 - Quadro de autores e componentes executivos de acordo com o modelo proposto.

Autores	Definições, Palavras-chaves, Teorias e Modelos
Harlow (1868)	Relato de caso - Phineas Gage
Brickner, (1936); Hebb (1939); Eslinger e Damasio, (1985); Malloy, Bihrlle, Duffy e Cimino, (1993)	Disfunções frontais: Pacientes Joe A, K.M., E.V.R. e J.C.
Broadbent (1953, 1958)	Teoria do Fluxo Atencional
Luria (1963, 1966, 1973)	Unidades Funcionais: 3a unidade
Neisser (1967)	Controle executivo como coordenador de processos cognitivos durante a resolução de problemas
Atkinson e Shiffrin (1968)	Modelo Modal ou de Múltiplos Armazenadores da Memória
Baddeley e Hitch (1974)	Memória de trabalho: Executivo Central
Posner e Snyder (1975)	Modelo de controle cognitivo
Schiffrin e Schneider (1977)	Modelo dos processos controlados e automáticos: detecção, busca e atenção
Lezak (1982); Lezak, Howieson, Lorring, Hannay e Fischer (2004)	Múltiplos componentes: Volição, planejamento, ação intencional, desempenho eficaz
Norman e Shallice (1986)	Sistema Atencional Supervisor (SAS)
Stuss e Benson (1986; 1987); Stuss, Shallice, Alexander e Picton, (1995)	Modelo Hierárquico das Funções Mentais; Processos supervisores independentes
Welsh e Pennington (1988)	Autodeterminação e autorregulação
Goldman-Rakic (1992)	Múltiplas Memórias de Trabalho
Damasio (1994, 1995); Bechara, Damasio e Damasio (2000)	Hipótese do Marcador Somático: Tomada de decisão
Shallice e Burgess (1996)	Elaboração de estratégias, resolução de problemas, memória de trabalho, monitoramento e reformação do esquema
Borkowski e Burke (1996)	Autorregulação na resolução de problemas: análise da tarefa, seleção e monitoramento da estratégia
Denckla (1996)	Processos controlados: iniciação, sustentação, inibição, alternância, antecipação, planejamento, eficiência e produtividade, cognitiva e emocional.
Gioia, Isquith, Guy e Kenworthy (1996)	Orientação, direcionamento e gerenciamento das funções cognitiva, emocional e comportamental durante a resolução de novos problemas.
Duncan (1995, 1996); Duncan e Owen (2001)	Teoria da Negligência de Metas (relacionada à inteligência) e Modelo de Codificação Adaptativa
Barkley (1997)	Modelo de Autorregulação: memória de trabalho, autorregulação do afeto e motivação, internalização da fala, inibição comportamental e fluência
Fuster (1997)	Modelo de Organização Temporal do Comportamento
Zelazo e Frye (1998)	Teoria da complexidade e controle cognitivo (CCC): representações de regras hierárquicas
Perry e Hodges (1999)	Formulação de novos planos de ação para selecionar, programar e monitorar as sequências de ações apropriadas.
Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter e Wager (2000)	Modelo Hierárquico das FE: Flexibilidade mental, atualização da informação e monitoramento e inibição de respostas prepotentes
Munakata (2001)	Representação gradativa: Flexibilidade comportamental

	e do pensamento
Miller e Cohen (2001)	Termo guarda-chuva de processos cognitivos direcionados a metas. Controle cognitivo e manutenção de metas.
Delis, Kaplan e Kramer (2001)	Pensamento flexível, inibição, resolução de problemas, planejamento, controle de impulso, formação de conceito, pensamento abstrato e criatividade.
Anderson, Northam, Wrennall e Hendy (2001); Anderson (2002)	Sistema de controle executivo: controle atencional, flexibilidade cognitiva, estabelecimento de metas e processamento de informação
Royall et al. (2002)	Habilidades cognitivas que são responsáveis pelo planejamento, iniciação, sequenciamento e monitoramento de comportamentos complexos dirigidos a metas.
Pineda e Merchan (2003)	Organização e flexibilidade, velocidade de processamento, controle inibitório e fluência verbal
Elliot (2003)	Autorregulação: Resolução de novos problemas, modificação do comportamento a partir de uma nova demanda, formulação de estratégias e sequenciamento de ações complexas
Huettel, Misiurek, Jurkowsky e McCarth (2004)	Funções executivas estratégicas e dinâmicas
Banich (2004)	Coordenação e organização de comportamentos, refletindo e analisando o sucesso das estratégias geradas.
Zelazo, Qu e Muller (2005)	Componentes Frios e Quentes
Diamond (2006)	Desenvolvimento memória de trabalho, a inibição e a flexibilidade cognitiva
Friedman et al. (2007)	Família de processos de controle cognitivo que atuam sobre os processos de nível inferior para regular e moldar o comportamento.
Ardilla (2008)	Funções Metacognitivas e Emocionais/Motivacionais
Hughes (2009)	Constructo cognitivo complexo que engloba todo o conjunto de processos subjacentes a respostas dirigidas a objetivos perante novas ou difíceis situações.
McCloskey (2011)	Conjunto de processos independentes e coordenados .
Delis (2012)	Conjunto de competências de nível superior que convergem para permitir que um indivíduo se adapte e prospere em ambientes psicossociais complexos.

Como pôde ser visto anteriormente, existe um certo grau de sobreposição entre estas descrições e componentes. A "impureza" das tarefas, baixa confiabilidade teste-reteste, falta de uniformidade nas nomenclaturas são alguns dos fatores que contribuem para esta falta de consenso. Ao mesmo tempo, esta variedade de conceitos também pode refletir as maneiras pelas quais as FE foram construídas e reelaboradas ao longo da história.

Por fim, o único ponto comum entre todos os modelos e teorias é de que as FE possuem um caráter multidimensional e complexo. Este sistema abarca uma série de competências inter-relacionadas e de alto nível de processamento cognitivo, que influenciam nos aspectos afetivo-emocionais, motivacionais, comportamentais e sociais da vida humana (Uehara, Charchat-Fichman e Landeira-Fernandez, 2013).

2.2

Maturação Cerebral

As diferentes habilidades executivas e suas respectivas trajetórias de desenvolvimento têm seu início na infância, continuam na adolescência, chegando até a idade adulta (Huizinga, Dolan e Molen, 2006). Seu lento desenvolvimento é atribuído à maturação prolongada do córtex pré-frontal (CPF; Zelazo, Craik e Booth, 2004). Isto é, o CPF inicia seu desenvolvimento no útero, mas suas conexões, tanto dentro do lobo frontal quanto em outras regiões cerebrais, continuam a se remodelar e amadurecer na vida adulta. Além disso, os neurônios do CPF têm uma maior densidade de dendritos (Elston, Benavides-Piccione e DeFelipe, 2001), o que permite uma maior capacidade de integração de informações diversificadas e execução de planos complexos. Os lobos frontais humanos são a última região do cérebro a amadurecer através de uma perspectiva do desenvolvimento ou evolutiva, sendo uma das principais diferenças entre o cérebro humano e o de outras espécies. Ele possui um grande número de neurônios corticais e uma maior capacidade de processamento de informações comparado a outros primatas e mamíferos (Roth e Dicke, 2005).

A maturação dos lobos frontais envolve um número de processos dinâmicos que são controlados pelo código genético em resposta aos estímulos ambientais. Por um lado, temos a proliferação e a diferenciação neuronal, bem como a arborização dendrítica e axonal. Ao mesmo tempo, a apoptose celular neuronal e a poda das conexões sinápticas (Kuan, Roth, Flavell e Rakic, 2000) também auxiliam neste processo. Esse equilíbrio entre o crescimento neuronal, a conectividade e o processo prolongado de mielinização da substância branca nos lobos frontais é necessário para o desenvolvimento saudável das FE. Por outro lado, os fatores ambientais também influenciam o desempenho durante o desenvolvimento das FE. Por exemplo, a estimulação proporcionada pelos responsáveis, a disciplina que eles exercem na educação dos filhos, o estado de saúde e nutricional da criança, o nível sócio econômico, a escolaridade materna, dentre outros, podem promover um grande impacto durante o período maturacional das FE (Stelzer, Cervigni e Martino, 2011).

As FE parecem melhorar sequencialmente ao longo dos anos paralelamente à maturação frontal, apresentando uma curva de desenvolvimento no formato de

U invertido. Assim, entre o nascimento e os 2 anos de idade, dos 7 aos 9 e ao final da adolescência, entre 16 e 19 anos de idade, ocorrem os principais saltos em seu desenvolvimento (Capilla *et al*, 2004). Desta forma, pode-se dizer que o desenvolvimento das FE apresenta uma trajetória não linear.

2.3

Desenvolvimento das FE

Desde o nascimento, já é possível observar algumas formas elementares de habilidades executivas tais como a capacidade de regular o comportamento em resposta às contingências ambientais e a capacidade de estabelecer metas e de executar comportamentos voluntários. Os primeiros sinais da memória de trabalho e do controle inibitório surgem entre 7 e 8 meses de idade. Os precursores da teoria da mente surgem aos 6 meses com a capacidade de distinguir entre objetos inanimados e animados. Em torno de 12 a 18 meses, as crianças começam a representar a percepção de um objeto compartilhado, além de acompanhar ativamente o olhar de uma pessoa para um objeto (Anderson, 2002). Assim, nos primeiros dois anos de vida, a criança passa de uma atitude dependente para se tornar um indivíduo com uma melhor capacidade de apreciar e posteriormente, direcionar de uma maneira mais eficiente os níveis de engajamento e a interação com o ambiente.

Durante a infância, as interações com os cuidadores e o ambiente são a influência primária no desenvolvimento das FE. À medida que as habilidades sensoriais, linguísticas e de comunicação se desenvolvem, as interações se tornam mais complexas. As habilidades atencionais, o controle de impulso, a autorregulação e a memória de trabalho são as competências primárias com melhoras significativas. Neste período, as FE que envolvem inibição, alternância, flexibilidade cognitiva e resolução de problemas simples também estão presentes. Estas habilidades estimulam e dão suporte ao desenvolvimento da memória, categorização e autorregulação motora e emocional (Richmond e Nelson, 2007).

Ao longo dos anos pré-escolares, uma melhora na inibição, memória de trabalho, fluência verbal e planejamento ajuda a prepará-los para um aprendizado mais ativo e tarefas acadêmicas mais elaboradas (Conway e Stifter, 2011). Para serem bem sucedidos nesse aumento de demandas, eles precisam engajar em um

comportamento apropriado dentro do ambiente escolar bem como estarem aptos para solucionarem problemas, trabalharem com as outras crianças e tomar iniciativa com os adultos (Tarullo, Milner e Gunmar, 2011). Por este motivo, nesta fase, são estabelecidas rotinas de sala de aula e ensinados comportamentos esperados, no contexto acadêmico e social.

Um fator que parece contribuir para o desenvolvimento das FE nos anos pré-escolares é a aquisição da linguagem. Vygotsky, em seu livro *Pensamento e Linguagem* (1987), já discutia sobre a importância da linguagem no desenvolvimento cognitivo do ser humano. Para o autor, a função autorregulatória da linguagem surge entre os 3 e 5 anos de idade juntamente com o uso da fala internalizada. De acordo com Vygotsky, a internalização da fala representa como o desempenho cognitivo começa a ser verbalmente mediado na infância, permitindo que a linguagem se torne uma ferramenta para planejar, controlar e avaliar as ações. Assim, a mediação verbal permite que a criança mantenha mais de uma regra em mente, iniba respostas prepotentes e tenha um objetivo em foco, habilidades diretamente relacionadas às FE (Diamond et al., 2002). Da mesma forma, Zelazo e colaboradores (Zelazo e Frye, 1997; Zelazo et al., 2003) sugerem que o salto que ocorre no desenvolvimento das FE entre as idade de 3 e 6 anos pode ser devido ao início da autorregulação da linguagem. Estas funções autorregulatórias verbais surgem quando a linguagem da criança se torna uma ferramenta para orientar comportamentos direcionados a metas. Conseqüentemente, essa mediação verbal do comportamento parece oferecer às crianças, principalmente, uma maior flexibilidade cognitiva. Por exemplo, Fuhs e Day (2011) observaram uma correlação positiva no desempenho em tarefa de flexibilidade cognitiva e as habilidades verbais das crianças. Desse modo, o desenvolvimento da linguagem facilita a maneira como a informação será absorvida, processada, internalizada e utilizada de acordo com o respectivo contexto.

Através das competências emergentes nos anos pré-escolares, em especial a atenção, o controle motor grosso e fino, a memória e a linguagem expressiva e receptiva, a criança se direciona para uma maior autossuficiência ao interagir com o ambiente de maneira mais ativa (Diamond et al., 2007). O aprimoramento das capacidades de regulação comportamental e a eficiência cognitiva desempenham um papel de preparação para o aumento das exigências nos domínios da

socialização e da aprendizagem requeridos no ambiente escolar (Garon, Bryson e Smith, 2008).

O período escolar também demonstra ser um momento que exige um melhor controle atencional, vigilância e atenção sustentada. Aos 6 anos, a criança demonstra melhorias nas tarefas de controle de impulso, enquanto aos 9 anos, a maioria das crianças já consegue se automonitorar e autorregular suas próprias ações (Anderson, 2002). E entre os 10 a 12 anos, há evidências que sugerem que muitos tipos de controle inibitório estão totalmente desenvolvidos (Brocki e Bohlin, 2004). Como resultado, crianças que obtêm uma boa capacidade autorregulatória, muitas vezes possuem uma boa inibição, postergação do reforço e persistência para orientar demandas de controle. Em relação à autorregulação emocional, principalmente a regulação de frustrações, ansiedade e irribitabilidade, parece haver um melhor e crescente controle para atender as demandas e os desafios do dia a dia.

Garon e colaboradores (2008) sugerem que os componentes das FE surgem em sequência ao longo dos anos escolares, de forma que a memória de trabalho aparece primeiro, seguida da capacidade de inibição, que juntas permitem o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva. Ao mesmo tempo, há uma melhora e um consequente refinamento na habilidades de velocidade de processamento, fluência verbal, alternância e planejamento, e a integração destas habilidades irá auxiliar no sucesso acadêmico (Brocki e Bohlin, 2004).

Por fim, na adolescência, ocorrem alterações substanciais no contexto, dentre elas, as expectativas sociais e as alterações hormonais e físicas, sendo sensíveis às avaliações dos outros (Gieldd et al., 1992). Com a combinação desses fatores, o adolescente atribui maior importância a si e ao ambiente que o circunda. Como tal, os adolescentes demonstram variação no nível de consciência, na tomada de decisão e na resolução de problemas, não somente reflexo das habilidades cognitivas, mas também das condições emocionais e sociais (Crone, 2009).

Até o presente momento, traçou-se um panorama do desenvolvimento geral das FE. Apesar do grande número de componentes mencionados, a inibição, a memória de trabalho e a flexibilidade são os processos mais estudados pelos pesquisadores. Sendo assim, a próxima parte será dedicada à apresentação de

alguns exemplos das trajetórias do desenvolvimento desses três domínios executivos na população infantil.

2.3.1.

Desenvolvimento da Memória de Trabalho

Em 1974, Baddeley e Hitch propuseram o modelo de memória de trabalho (MT; *working memory*) também chamado de memória operacional. Este sistema múltiplo de memória veio substituir o conceito de memória de curto-prazo, deixando de ser apenas um armazenador temporário para ser um processador ativo capaz de manipular e reter um conjunto limitado de informações por um curto período de tempo, segundos ou poucos minutos, antes de desaparecerem por completo (Gathercole, 1999). Em outras palavras, refere-se a um espaço de trabalho em que a informação evocada é efetivamente usada, manipulada e relacionada a outras informações e/ou processos cognitivos (Yudofsky e Hales, 2006). Constitui-se por quatro componentes: o executivo central, a alça fonológica, o esboço visuo-espacial e o retentor episódico, cada qual com uma função específica (Baddeley, 2002).

Atualmente, considera-se que a capacidade da MT aumenta com a idade, durante a infância (Gathercole, 1999) e diminui durante a terceira idade (Linden *et al.*, 1994). O aspecto mais marcante da investigação do desenvolvimento da MT é a observação das contínuas melhorias no desempenho das tarefas de amplitude de memória (ou do inglês *span*), que podem ser do tipo simples (evocação de letras, dígitos e palavras) e complexo (problemas aritméticos e leitura e escuta). Miller (1956), em seu artigo "O mágico número sete", constatou que um adulto pode reter na memória de curto-prazo entre cinco a nove itens de informações agrupadas. Aos 2 anos de idade, uma criança pode chegar a uma amplitude de dois itens e, aos 9 anos, a um total de seis itens (Uehara e Landeira-Fernandez, 2010).

Segundo Gathercole e colaboradores (2004), os elementos básicos da MT estariam formados aos 6 anos, ou até mais cedo, durante a primeira infância. Embora haja dificuldade na avaliação de crianças pré-verbais, Diamond (1995) demonstrou que elas são capazes de manter uma representação na mente de uma ou duas informações e utilizá-las quando necessário. Brainerd (1978) investigou a noção de permanência de objetos através da tarefa de postergação de resposta e

constatou que bebês iniciam a busca por objetos escondidos entre os 4 e 8 meses de idade. Outro exemplo de comportamento que requer a existência de uma memória fonológica de curto-prazo é a ação de bebês imitarem os sons falados pelos pais. Dos 9 aos 12 meses, em tarefa Piagetiana, A-não-B (*A-not-B*), as crianças conseguem atualizar o conteúdo na MT (Diamond, 1985). Apesar de manterem as informações e até manipularem, o desenvolvimento é muito mais lento, mostrando uma progressão.

Uma das principais mudanças que ocorrem durante o desenvolvimento da MT é o aumento da eficácia operacional, da velocidade de processamento de informação, além de uma maior utilização de estratégias na resolução de problemas (Gathercole e Baddeley, 1993). Por exemplo, entre os 9 e 12 anos de idade, a MT parece sofrer um salto significativo em sua capacidade e eficiência, se tornando menos suscetível à interferências (Leon-Carrion, Garcia-Orza e Perez-Santamaria, 2004). Ou seja, a criança passa a processar informações mais rapidamente e de forma automática, conseguindo lidar com um maior número de informações ao mesmo tempo. Crianças de 4 anos já conseguem evocar em média 2 a 3 dígitos, chegando a 7 dígitos aos 14 anos de idade (Gathercole e Baddeley, 1993). De maneira similar, por volta dos 7 anos de idade, ocorre uma mudança significativa em relação ao material visuo-espacial. Crianças mais novas (5 anos), comparativamente às mais velhas (10 anos), tendem a ser mais dependentes deste componente em tarefas de memória imediata para memória visual. (Hitch *et al.*, 1988). Assim, a capacidade de armazenamento e manipulação continuaria aumentando até a adolescência (Isaacs e Vargha-Khadem, 1989).

2.3.2.

Desenvolvimento do Controle Inibitório

O controle inibitório se refere à habilidade de inibir respostas prepotentes (forte tendência do indivíduo) ou respostas a estímulos distratores que interrompam o curso eficaz de uma ação, ou ainda a interrupção de respostas que estejam em curso (Barkley, 2001). A inibição também implica no controle de interferência, emocional e motor (Barkley, 1997; Nigg, 2000). Esta habilidade auxilia o controle de impulsos, hábitos antigos de pensamento e ação (respostas condicionadas) e estímulos no ambiente que nos direcionam para um caminho ou

outro (Diamond, 2013). Um exemplo da relevância dessa função foi demonstrado em um estudo longitudinal que acompanhou crianças entre 3 e 11 anos por 32 anos. Observou-se que as crianças com menor controle inibitório possuíam um pior quadro de saúde, ganhavam menos e cometiam mais crimes na vida adulta do que aquelas com melhor controle inibitório quando crianças (Moffitt et al., 2011).

Considerada por Miyake e colaboradores (2000) como a habilidade fundamental para as funções executivas, grande parte de suas tarefas não são medidas puras de inibição e nem investigam apenas um tipo processo de inibitório. Normalmente, distinguem-se as respostas inibitórias simples das complexas, baseando-se no quanto a memória de trabalho é utilizada durante as tarefas. Por exemplo, uma resposta inibitória simples pode ser vista na infância em tarefas nas quais as crianças precisam inibir sua vontade de comer um doce, tal como nas tarefas de postergação do reforço. Já as respostas complexas podem ser investigadas com o uso de tarefas em que a criança precisa manter uma regra arbitrária em mente e é solicitado a ela inibir uma resposta e produzir uma resposta alternativa, como por exemplo, nas tarefas de *Stroop* ou *Go/No-go*.

Desde os primeiros meses de vida, é possível perceber algumas formas elementares de inibição em bebês e em crianças pequenas, como por exemplo o ato de interromper uma ação quando os pais os repreendem (Braver, Cohen, e Barch, 2002; Carlson e Moses, 2001). Aos 12 meses, as crianças aprendem a inibir respostas motoras simples, mas a habilidade de postergar uma gratificação, controlar as emoções e autorregular seu comportamento se desenvolve no final dos anos pré-escolares e início dos anos escolares. A partir da primeira infância (zero a 3 anos) até os 5 anos de idade, as crianças se tornam gradualmente capazes de inibir seus comportamentos por longos períodos de tempo e inibir juntamente uma resposta automática e uma resposta associada com um reforço (Carlson e Moses, 2001). Crianças abaixo de 4 anos tendem a falhar em muitas tarefas de respostas inibitórias complexas. Segundo Zelazo e Frye (1998), parte dessa dificuldade pode ser decorrente da utilização de uma regra abstrata para controlar o comportamento, especialmente quando há uma forte resposta prepotente.

Em tarefas de inibição motora, tal como a *Luria's tapping test* (Luria, 1966), as crianças precisam manter uma regra e inibir a tendência de repetir aquilo que o examinador faz, ao realizar o movimento oposto. Há uma melhora no escore dos acertos entre os 3,5 anos e os 4 anos, e na velocidade de resposta a partir dos 4,5

anos com o maior salto aos 6 anos de idade (Diamond e Taylor, 1996). Outra tarefa com inibição motora muito utilizada é a *Go/No-go*, ainda sem tradução para a língua portuguesa. A criança precisa apertar a tecla do teclado quando um estímulo-alvo aparecer (*go*) ou deixar de apertar a tecla (*no-go*) quando um outro estímulo aparece. As crianças de 3 a 4 anos compreendem as instruções, porém, não conseguem inibir a resposta do estímulo "*no-go*". Ainda, observa-se uma diminuição nos erros por impulsividade (comissionados) e na omissão de respostas entre os 7 e 8 anos e 9-12 anos (Levin et al., 1991).

Por outro lado, em tarefas de inibição verbal, os resultados apresentam-se de maneira diferente. Na tarefa de *Stroop* Dia e Noite (*Stroop-Like Day-Night task* - Gerstadt, Hong e Diamond, 1994), o sujeito deve lembrar de duas regras (dizer "noite" para uma ilustração de um sol e dizer "dia" para uma ilustração de lua) e inibir a resposta relacionada ao que as ilustrações realmente representam. Crianças de 3,5 a 4,5 anos de idade acham a tarefa difícil, enquanto as de 6 e 7 anos, extremamente fácil, além de responderem bem mais rápido. As melhoras na porcentagem do escore de acertos podem ser vistas de maneira contínua em crianças de 3,5 até às de 7 anos, e maior rapidez de resposta nas crianças de 3,5 a 4,5 anos (Gerstadt, Hong e Diamond, 1994). De acordo com Passler e colaboradores (1985), os processos inibitórios demonstram atingir um nível adulto aos 6 anos de idade com melhoras ao longo dos anos escolares. Ao mesmo tempo, nesta idade, grande parte das crianças é capaz de demonstrar um autocontrole básico e autorregulação do afeto, da motivação e da ativação (Barkley, 1997).

2.3.3.

Desenvolvimento da Flexibilidade Cognitiva

A flexibilidade cognitiva pode ser definida como a habilidade de alternar rapidamente o curso das ações ou dos pensamentos de acordo com as exigências do ambiente (Anderson, 2002). Esta habilidade está relacionada com o aprendizado a partir dos erros, geração de novas estratégias, atenção dividida, criatividade e processamento de múltiplas informações concomitantemente.

Intimamente ligada ao controle inibitório e à memória de trabalho, a flexibilidade cognitiva muitas vezes acaba sendo confundida com estas habilidades executivas. A diferença entre as tarefas de inibição e as de

flexibilidade é que estas últimas exigem a alternância entre duas ou mais regras mentais. As tarefas de flexibilidade também exigem a memória de trabalho ao necessitar manter e atualizar a regra baseados no *feedback* do examinador (Crone *et al.*, 2006).

Estima-se que essa habilidade executiva surja nas crianças entre 3 e 5 anos de idade quando começam a utilizar tarefas simples de flexibilização. Quanto mais complexa é a tarefa realizada, maior a dificuldade e mais erros a criança comete. Zelazo e Frye (1998) sugerem que essa dificuldade diz respeito à imaturidade da criança de 3 anos em compreender regras em uma hierarquia. Ao ter uma regra em mente, a criança não consegue modificar para a seguinte. As perseverações ocorrerão até que ela consiga refletir sobre um sistema mais complexo de regras.

Na tarefa *Dimensional Change Card Sort* (DCCS; Frye *et al.*, 1995), semelhante ao Teste de Classificação de Cartas Wisconsin (WCST; Grant e Berg, 1948), as crianças devem classificar as cartas de acordo com uma categoria, tais como cor, forma, categoria semântica, tamanho. Uma das principais diferenças entre o DCCS e o WCST é que, no primeiro, a criança não precisa deduzir a regra, pois a mesma é dita em todas as tentativas e entre as mudanças de categorias/fases. Os resultados demonstram que as crianças de 3 anos apresentam dificuldades para mudar de regra classificatória. Mas, em torno dos 5 anos, a criança realiza esta mudança de regra com maior facilidade. Tal progresso também foi observado nas tarefas *Preschool Attentional Switching Task* (PAST; Chevalier e Blaye, 2008) e *Flexible Induction of Meaning task* (FIM; Deák, 2000), ambas sem tradução e validação para a população brasileira.

Assim, antes dos 3 anos, as crianças acabam sendo mais dependentes do estímulo, respondem de maneira estereotipada e rígida, orientadas apenas para o momento presente (García-Molina *et al.*, 2009). Alguns autores sugeriram hipóteses para esta falha na mudança de regras entre os 3 e 4 anos, dentre elas: falha na inibição ou inércia atencional (Kirkham, Cruess e Diamond, 2003), atenção seletiva ineficiente (Hanania e Smith, 2009), inabilidade para manter na mente mais de uma representação de um objeto (Kloo, Perner, Kershner, Daberning e Aichhorn, 2008), representações graduadas da MT (Blackwell, Cepeda e Munakata, 2009), inabilidade de construir regras complexas (Zelazo *et al.*, 2003) e dificuldades no monitoramento de conflito (Jordan e Morton, 2008).

Assim, ao realizar a tarefa DCCS e obter uma boa categorização, a criança necessita das FE (inibição, alternância e MT), o que faz pensar que este processo não está relacionado a apenas um único mecanismo.

A habilidade de alternar as respostas continua a se desenvolver após os 6 anos, com melhoras significativas dos 6 aos 12 anos (Anderson, 2002). Alguns estudos adaptaram a tarefa DCCS para crianças escolares combinando os estímulos utilizados na versão de pré-escolares com múltiplas etapas de alternância, intitulado DCCS Avançado (Carlson, 2005; Chevalier e Blaye, 2009; Hongwanishkul, Happaney, Lee e Zelazo, 2005). Ao utilizar o teste WCST, Chelune e Baer (1986) observaram que crianças entre 6 e 10 anos demonstraram um bom desempenho, enquanto as de 10 anos apresentaram um desempenho comparável ao de um adulto. Em estudo semelhante, Welsh e Pennington (1991) também observaram um nível de desempenho adulto nas crianças de 10 anos, bem como uma melhora expressiva entre os 7 e 8 anos.

2.4.

Disfunções

Alterações nas trajetórias de desenvolvimento podem provocar consequências e impactos graves e duradouros na vida acadêmica, social, emocional e comportamental de uma pessoa. A partir da perspectiva da plasticidade, sustenta-se que o cérebro jovem é menos comprometido funcionalmente do que o cérebro de uma criança mais velha ou um adulto. Dessa forma, quanto mais cedo uma lesão ou disfunção for identificada, mais facilmente elas podem ser transferidas, reorganizadas e recuperadas (Anderson et al., 2010).

De acordo com Dias, Menezes e Seabra (2010), os comprometimentos mais observados das FE se referem a dificuldades na seleção de informação e iniciação deficiente, distraibilidade, dificuldades na tomada de decisão, mau planejamento e organização, comportamento perseverativo, dificuldade no estabelecimento de novos repertórios comportamentais e dificuldades de abstração e de antecipação das consequências de seu comportamento. Estas alterações podem ter efeitos devastadores nas atividades de vida diária das pessoas, incluindo a capacidade de trabalhar, funcionar de forma independente ou manter relações sociais de maneira

apropriada, sem apresentar qualquer tipo de comportamento estereotipado ou inadequado.

Muitos transtornos adquiridos e do neurodesenvolvimento mostram evidências de disfunções executivas, o que pode refletir a vulnerabilidade das FE dado o número de áreas cerebrais envolvidas na rede executiva ou o período prolongado para o desenvolvimento das FE (Gioia, Isquith, Kenworth e Barton, 2002). Ainda, os prejuízos executivos estão presentes e/ou são decorrentes de algumas condições médicas e genéticas, tais como TDAH (Fuggetta, 2006), Síndrome de Tourette (Como, 2001), Transtornos de Conduta (Moffitt, 1993), Dislexia e Transtornos do Aprendizado (Helland e Asbjornsen, 2000), Transtorno do Espectro do Autismo (Robinson et al., 2009), Epilepsias (Parrish et al., 2007), Fenilcetonúria (DeRoche e Welsh, 2008), Síndrome de Down (Rowe, Lavender e Turk, 2006), Síndrome de Williams (Mervis, 2003), dentre muitas outras.

Por exemplo, crianças com TDAH/I tendem a ter um pior desempenho comparado ao grupo controle, principalmente em tarefas que avaliam o controle inibitório e a supressão de respostas apreendidas, tais como o *Stroop* e *Stop Signal* (Fuggetta, 2006). No Transtorno do Espectro do Autismo (TEA), há a presença de comportamentos repetitivos, falta de controle de impulso, dificuldade em iniciar uma nova rotina, dificuldade em alternar entre as tarefas, inflexibilidade, falta de organização e déficits na teoria da mente (Robinson et al., 2009). No entanto, as habilidades de inibição e MT parecem aparentemente intactas nestas crianças (Hill, 2004). Em ambos os transtornos, as crianças apresentam prejuízos no planejamento de ações futuras que podem ser medidos pela tarefa da Torre de Londres (Jurado e Rosselli, 2007). Em crianças disléxicas, observam-se prejuízos na memória de trabalho, controle inibitório e fluência verbal e de figuras (Reiter *et al.*, 2005), enquanto em crianças com síndrome de Tourette apresentam desempenho alterado apenas nas tarefas de fluência verbal (Anderson, 2001).

Os déficits executivos podem interferir com na capacidade da criança de se desenvolver normalmente e interagir de maneira efetiva no ambiente. Durante a infância, as maiores dificuldades observadas dizem respeito às demandas acadêmicas. Na adolescência, podem estar associadas com às tomadas de decisões impulsivas e ao engajamento em comportamentos de alto risco, alguns deles associados a outras seqüelas físicas e psicológicas, tais como acidentes de trânsito, abuso de substâncias ilícitas e relações sexuais sem proteção (Blakemore e

Choudhury, 2006). Já no início da idade adulta, as disfunções afetam a capacidade do indivíduo para atender às expectativas do mundo adulto, tais como a manutenção de um emprego e pagamento de contas.

A partir da observação clínica, começou a se identificar déficits mais específicos em cada habilidade executiva. Sua compreensão faz-se relevante e possui consequências diretas à prática em diversas áreas e à pesquisa em neuropsicologia, em especial. Na escola, ao saber que o aluno possui déficits na memória de trabalho, o professor pode diminuir as demandas das tarefas propostas em sala de aula, propondo tarefas mais estruturadas, com instruções mais objetivas e breves (Meltzer, 2013). Estas considerações se refletem também na prática de pesquisa, ao se considerar a produção de instrumentos psicometricamente adequados, bem como a necessidade de se mapear os pontos críticos do desenvolvimento de cada uma destas habilidades ao longo de uma dada faixa etária.

Assim, é de suma importância identificar os indicadores para que prognósticos sejam traçados de maneira mais precisa e possam auxiliar na prevenção, antecipando as necessidades de uma determinada pessoa, enquanto ela continua a se desenvolver. Ao mesmo tempo, quando a prevenção não for possível, uma avaliação detalhada do funcionamento executivo irá auxiliar em um melhor delineamento das dificuldades apresentadas pelo sujeito, possibilitando um plano de intervenção eficaz. Neste sentido, a avaliação neuropsicológica das FE pode auxiliar a compreensão do funcionamento cerebral e sua relação com o comportamento humano, contribuindo para o estudo do desenvolvimento normal e patológico. A seguir serão apresentados alguns dos métodos investigativos e principais instrumentos para avaliação das FE utilizados em diversos países e particularmente, no Brasil.