

DAVIDSON ALVES DA SILVA

**Efeitos da Prática Sistematizada de Modalidades Esportivas
Coletivas e Individuais na Função Cognitiva e Fatores
Neurotróficos em Adolescentes**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/ UFMG.

2015

DAVIDSON ALVES DA SILVA

**Efeitos da Prática Sistematizada de Modalidades Esportivas
Coletivas e Individuais na Função Cognitiva e Fatores
Neurotróficos em Adolescentes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciências do Esporte.

Orientador (a): Prof. Dr. Luciano Sales Prado

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG.

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

A Dissertação intitulada "**Efeitos da Prática Sistematizada de Modalidades Esportivas Coletivas e Individuais na Função Cognitiva e Fatores Neurotróficos em Adolescentes.**", de autoria do mestrando **Davidson Alves da Silva**, defendida em 06 de Julho de 2015, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Luciano Sales Prado (Orientador)
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Bruno Rezende de Souza
Instituto de Ciências Biológicas
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 06 de Julho de 2015.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com o auxílio concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

EPIGRAFE

“Cada dia que vivo, mais me convenço de que o desperdício da vida está no amor que não damos, nas forças que não usamos, na prudência egoísta que nada arrisca e que esquivando-se do sofrimento, perdemos também a felicidade”.

Carlos Drummond de Andrade

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS por sempre iluminar e guiar meus caminhos pessoais e profissionais. Por sempre proteger e dar saúde a mim e minha família. Sem o senhor não conseguiríamos.

Não tenho palavras para agradecer meus pais, Gilson e Neuza, pela educação que me deram e por sempre me apoiarem em todos os momentos e decisões de minha vida. Vocês são meu porto seguro. Amo vocês!

A Cristiane, minha futura esposa, pelo carinho, apoio no dia a dia, como coletas, leituras de versões e montagem das apresentações. E principalmente por entender os diversos momentos de ausência. Obrigado por tudo. Ter amo!

Aos colegas de laboratório, Felipe Shang, Gabriel Quinan, Gabriela, Diogo, Alexandre pelas discussões, ajuda no dia a dia e a oportunidade de aprendizado diário. Sem a colaboração de vocês tudo teria sido muito mais difícil.

Agradeço muito aos professores Dr. Guilherme Lage, Dr. Leandro Malloy, Dr. Bruno Rezende pela parceria, colaboração e acima de tudo por ter despendido um pouco do precioso tempo de cada um para escutar e contribuir com um humilde projeto de mestrado. Todos vocês foram fundamentais para o projeto ter surgido e evoluído até esta versão final. A vocês o meu sincero muito obrigado.

Agradeço imensamente também ao meu orientador e amigo prof. Dr. Luciano Sales Prado. Por além da orientação, por ser amigo e nos mostrar que a vida é muito maior e vai além de laboratórios, pesquisas e resultados. Que as relações humanas e as amizades e conversas descontraídas são os maiores valores que possam surgir a partir de um projeto de pesquisa. Aprendi e aprendo muito com você. Muito obrigado por ter aberto uma oportunidade maior que a de um mestrado, e de ser seu amigo.

Agradeço também a todos os familiares que e amigos pelos incentivos e aos colegas de laboratório que de alguma forma contribuíram para que essa jornada pudesse ser concluída.

RESUMO

O objetivo principal do presente estudo foi avaliar se adolescentes que treinam, de forma sistematizada, diferentes modalidades esportivas de alto rendimento, no caso futsal e natação, apresentam diferentes desempenhos em testes de funções executivas. Os participantes foram divididos em três grupos: grupo futsal (GF) n=14, grupo natação (GN) n=14 e adolescentes não atletas (GC) n=8. O procedimento experimental foi conduzido em duas etapas: no primeiro, houve um encontro com os técnicos dos clubes, professores de escolas e voluntários e seus respectivos responsáveis para assinatura do um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). No segundo dia, os participantes foram avaliados em suas medidas antropométricas massa corporal (kg), estatura (cm) e dobras cutâneas (mm) para estimativa do percentual de gordura. Em seguida foi realizada punção venosa periférica para análise das concentrações sérias de BDNF. Em seguida, foram aplicados os testes para avaliar os parâmetros envolvidos nas funções executivas como o controle inibitório, flexibilidade cognitiva e a memória operacional, através dos testes de 5 (cinco) dígitos e NBACK respectivamente. Após esta etapa, os voluntários foram submetidos ao protocolo de exercício progressivo máximo em cicloergômetro (Balke & Ware 1959) para a estimativa do consumo máximo de oxigênio (VO₂max) e imediatamente após o protocolo de esforço, foi realizada uma nova punção venosa e aplicado novamente os testes cognitivos para análise das concentrações sérias de BDNF e desempenho cognitivo nos testes pós-exercício. Os resultados para o tempo de resposta em segundos (seg) do teste de controle inibitório não apresentaram diferenças significativas entre grupos pré (34,07 ± 8,96, 30,29 ± 3,43, 35,50 ± 4,66) e pós-exercício (27,93 ± 6,16, 25,50 ± 2,56, 30,88 ± 6,13) para os grupos GN, GF e GC, respectivamente. Ainda, não houve diferença significativa no número de erros para esta etapa. A flexibilidade cognitiva não apresentou diferenças significativas entre grupos pré (34,07 ± 8,96, 30,29 ± 3,43, 35,50 ± 4,66) e pós-exercício (27,93 ± 6,16, 25,50 ± 2,56, 30,88 ± 6,13), para o os grupos GN, GF e GC, respectivamente. Também não houve diferença significativa para número de erros para a flexibilidade. Para a memória operacional, avaliada pelo 2Back, não houve diferenças significativas no tempo de resposta em milissegundos entre grupos: para GN (349,46 ± 156,77) e (401,09 ± 24,16), para GF (329,65 ± 82,39) e (399,13 ± 26,43) e para o GC (387,57 ± 108,19) e (427,75 ± 27,62) pré e pós-exercício, respectivamente. Para o número de acertos também não houve diferença significativa entre grupos: GN (59,86 ± 20,82) e (68,79 ± 4,28), GF (66,79 ± 12,00) e (69,43 ± 2,71) e GC (49,88 ± 19,19) e (67,75 ± 3,37) pré e pós-exercício, respectivamente. Não houve diferenças entre grupos nas

concentrações séricas de BDNF em repouso. As concentrações de BDNF pós-exercício foram significativamente menores para CG em relação ao GN. E ainda os níveis de BDNF pós-exercício foram significativamente menores em relação ao repouso para todos os grupos. Conclusão: As funções executivas não apresentaram diferenças significativas entre grupos pré e pós-exercício. O níveis de BDNF pós-exercício são menores em relação ao pré-exercício.

Palavras-Chaves: Exercício, Cognição, Função Executiva.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate whether teenagers who train, in a systematic way, different sports at high performance level, indoor soccer and swimming, have different performance in executive function tests. Participants were divided in three groups: group futsal (GF) $n = 14$, swimming (GN) $n = 14$ and non-athlete adolescents (GC) $n = 8$. The experimental procedure was conducted in two (two) stages: in the first meeting with coaches from clubs, school teachers and volunteers and their respective parents or responsible persons for signing of a consent term. The participants were evaluated on anthropometric measurements their body mass (kg), height (cm) and skinfolds (mm) to estimate body fat. Peripheral venous blood sampling at rest was carried out for analysis of seric concentrations of BDNF. Tests were applied to evaluate the parameters involved in executive functions such as inhibitory control, cognitive flexibility and working memory, through the 5 (five) digits test and Nback, respectively. Then, the volunteers underwent a progressive exercise protocol in a cycle ergometer until voluntary fatigue (Balke Ware & 1959) to estimate the maximal oxygen consumption (VO_{2max}) and immediately after the exercise protocol, a new venous blood sampling was performed as well as the cognitive tests. The results for the response time in seconds (sec.) on inhibitory control test showed no significant differences between groups pre (34.07 ± 8.96 , 30.29 ± 3.43 , 35.50 ± 4.66) and post-exercise (27.93 ± 6.16 , 25.50 ± 2.56 , 30.88 ± 6.13) for GN groups GF and GC respectively. However, there was no significant difference in the number of errors for this step. Cognitive flexibility showed no significant differences between groups pre (34.07 ± 8.96 , 30.29 ± 3.43 , 35.50 ± 4.66) and post-exercise (27.93 ± 6.16 , $25, 50 \pm 2.56$, 30.88 ± 6.13), for the GN GF and GC groups, respectively. There was also no significant difference in number of errors for flexibility. For the working memory, assessed by 2Back, there were no significant differences in response time in milliseconds between groups for NG (349.46 ± 156.77) and (401.09 ± 24.16) to GF (329.65 ± 82.39) and (399.13 ± 26.43) and the control group (387.57 ± 108.19) and (427.75 ± 27.62) before and after exercise, respectively. For the number of correct answers, there were also no significant difference between groups (59.86 ± 20.82) and (68.79 ± 4.28), GF (66.79 ± 12.00) and ($69.43 \pm 2,71$) and the control group (49.88 ± 19.19) and (67.75 ± 3.37) before and after exercise, respectively. There were no differences between groups in serum BDNF at rest. The post-exercise concentrations of BDNF were significantly lower in GC, when compared to GN. BDNF levels post-exercise were significantly lower compared to rest for all groups.

Conclusion: Executive functions showed no significant differences between groups pre and post-exercise. The post exercise BDNF levels are lower when compared to pre-exercise.

Key Words: Exercise, Cognition, Executive function.

Lista de ilustrações (gráficos, quadros, figuras, fotografias, etc.)

Fig 1. Linha do tempo do procedimento experimental.....	34
Fig. 2 Orientação da posição das mãos para realização do teste NBack.....	37
Fig. 3 Desenho mostrando como deve ser a resposta do voluntário na fase Two Back..	38
Fig.4 Foto da fase 1 (leitura) do teste de cinco dígitos.....	39
Fig.5 Foto da fase 2 (Contagem) do teste de cinco dígitos.....	39
Fig.6 Foto da fase 3 (Controle Inibitório) do teste de cinco dígitos.....	40
Fig.7 Foto da fase 4 (Flexibilidade Cognitiva) do teste de cinco dígitos.....	40
Quadro 1: Equação para estimativa do VO ₂ máx.....	35
Gráfico 1: Tempo de resposta da fase 1 (leitura) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	43
Gráfico 2: Tempo de resposta da fase 2 (contagem) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	44
Gráfico 3: Tempo de resposta da fase 3 (inibição) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	45
Gráfico 4: Número de erros da fase 3 (inibição) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	45
Gráfico 5: Tempo de resposta da fase 4 (flexibilidade) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	46
Gráfico 6: Número de erros da fase 4 (flexibilidade) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	47
Gráfico 7: Tempo de resposta da fase de processamento automático do teste 0-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	48
Gráfico 8: Número de acertos da fase processamento automático do teste de 0-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	49
Gráfico 9: Tempo de resposta da fase de processamento controlado do teste 1-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	49

Gráfico 10: Número de acertos da fase processamento automático do teste de 1-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós-exercício.....	50
Gráfico 11: Tempo de resposta da fase de processamento controlado do teste 2Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	51
Gráfico 12: Número de erros da fase processamento automático do teste de 2Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício.....	51
Gráfico 13: Concentrações de BDNF por grupo pré e pós-exercício.....	52

Lista de tabelas

TABELA 1 Dados antropométricos e VO₂max dos voluntários.....32

Lista de abreviatura e siglas

GF – Grupo Futsal

GN – Grupo Natação

GC – Grupo Controle

EC – Exercício Coordenativo

AED – Aula de Educação Física

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TALE – Termo de assentimento Livre e Esclarecido

BDNF – Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro

VO₂máx – Consumo máximo de Oxigênio

FEs - Funções Executivas

Fcmáx - Frequencia cardíaca máxima

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Função Executiva e Exercício	20
2.2 Condicionamento Físico, BDNF e Cognição	23
2.3 Exercício Crônico, Cognição e BDNF	25
2.4 Exercício Agudo Cognição e BDNF	29
2.5 Atividade Individual Versus Coletiva e Cognição	31
3 MÉTODOS	34
3.1 Cuidados Éticos	34
3.2 Participantes	34
3.3 Delineamento Experimental	35
3.3 Variáveis Medidas	37
3.4 Análise Estatística	44
4 Resultados	45
5 Discussão.....	57
Referências.....	68

1 INTRODUÇÃO

Um estilo de vida fisicamente ativo e a capacidade aeróbica durante a pré-adolescência e adolescência têm sido positivamente associados com a saúde cerebral e a função executiva (CHADDOCK *et al.*, 2012). Alguns possíveis benefícios da atividade física para o funcionamento cognitivo vêm sendo apontados a partir de investigações sobre os efeitos agudos e de longo prazo da prática regular de atividade física na cognição (PESCE *et al.*, 2009).

Estudos sugerem que, durante a pré-adolescência, a maior capacidade cardiovascular pode proporcionar benefícios gerais para a função executiva (HILLMAN, CASTELLI & BUCK 2005 e BUCK, HILLMAN & CASTELLI, 2008). Assim, uma série de estudos com crianças pré-adolescentes indicam que as crianças com melhores desempenhos em testes de capacidade aeróbica como, por exemplo, o teste de PACER (teste de *shuttle-run* de 20m) (HILLMAN *et al.*, 2009 e BUCK, HILLMAN e CASTELLI 2008) ou espirometria direta (PONTIFEX *et al.*, 2011 e WU *et al.*, 2011) apresentam melhor desempenho em testes que avaliam as funções executivas que exigem o controle inibitório, e melhor capacidade de memória correlacional (CHADDOCK *et al.*, 2011). O melhor condicionamento aeróbico também está associado a uma interferência positiva no desempenho acadêmico (CASTELLI *et al.*, 2007, TRUDEAU e SHEPHARD, 2008, HILLMAN *et al.*, 2009) ou a intensidade da atividade física pode contribuir com o desempenho acadêmico (COE *et al.*, 2006 e DONNELLY e LAMBOURNE, 2011). Assim, o nível elevado de condicionamento aeróbico ($VO_2\text{max}$ de $48.7 \pm (3.6) \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) em relação ao baixo nível de condicionamento ($VO_2\text{max}$ de $35.2 \pm (4.6) \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) (CHADDOCK *et al.*, 2011) poderia influenciar positivamente algumas funções executivas (FEs), definidas como aspectos que envolvem programação, inibição de respostas, planejamento, memória de trabalho e processamento controlado (TOMPOROWSKI *et al.*, 2008), ou processos autorreguladores que incluem organização, resolução de problemas abstratos, memória, controle motor e controle inibitório (DONNELLY e LAMBOURNE, 2011) e que são funções são cruciais para a sobrevivência humana e dependem em grande parte dos lobos frontais, com o apoio da área temporal e parietal (MIYAKE *et al.*, 2012). Neste sentido, alguns estudos de intervenção têm demonstrado efeitos positivos de programas de atividade física sobre determinados parâmetros das FEs, bem como procurado avaliar os efeitos crônicos desta prática. Davis *et al.*, (2007) avaliaram o efeito do treinamento aeróbico de 05 sessões por semana, durante 15

semanas, em 94 crianças entre 07 e 11 anos de idade, estudantes do ensino fundamental. Foi observado que o grupo que se exercitava por 40 minutos, em comparação ao grupo que treinava por 20 minutos, foi positivamente influenciado quanto ao aspecto cognitivo de planejamento (autorregulação), mas o desempenho de atenção lógica, verbal e espacial e da tarefa de recordação não foi afetado. Estas observações indicam que o treinamento pode melhorar seletivamente determinados aspectos cognitivos.

Estudos sugerem que a prática regular de uma modalidade esportiva também pode influenciar a função executiva, por se tratar de ações que podem melhorar o nível de condicionamento aeróbico, por exemplo. Desta forma, Chaddock *et al.*, (2011) avaliaram em 46 crianças (9-10 anos), praticantes de atletismo, a relação entre a capacidade aeróbia e a tarefa de memória. Um grupo treinava 01 vez por semana ou menos (grupo de menor capacidade aeróbia) e o outro treinava 04 vezes ou mais por semana (grupo de maior condição aeróbia). O grupo com melhor condição aeróbica apresentou um maior desempenho na tarefa de memória relacional, mas nenhuma diferença foi encontrada para a memória não relacional.

No entanto, os benefícios da atividade aeróbica, veementemente apontados como positivos para as funções executivas são controversos em alguns estudos de revisão. Com base em uma meta-análise, Smith e colaboradores (2010) demonstraram uma visão controversa dos efeitos da atividade física sobre o funcionamento executivo. Estes autores argumentam que o treinamento físico aeróbio contribuiu apenas para melhorias modestas ($d = 0.123$; 95% CI, 0.021–0.225; $p = 0.018$) na função executiva em estudos realizados com adultos, bem como na atenção, velocidade de processamento e memória. Em outras palavras, o aumento da aptidão cardiovascular não necessariamente beneficiaria a função executiva. Argumento compartilhado pela meta-análise de Verburgh *et al.*, (2013) no qual não houve efeito global significativo do exercício físico crônico ($d = 0,14$, 95% CI -0,04 a 0,32, $p = 0,19$) sobre as funções executivas, mas sim um efeito global significativo do exercício físico agudo ($d = 0,52$, 95% CI 0,29-0,76, $p < 0,001$), para estudos realizados com crianças, adolescentes e adultos jovens.

Esta contradição é provavelmente devido a outros fatores potenciais que podem moderar a associação entre atividade física e função executiva em humanos (HUANG *et al.*, 2014). As características da atividade física praticada podem constituir um destes fatores que explicam a divergência nas tendências encontradas na literatura. Assim, os estudos sobre os benefícios de atividade física para as FEs precisam ir além das atividades aeróbicas simples,

que exigem pouca atenção como corrida em esteira, andar de bicicleta, etc (DIAMOND 2015). Um exemplo disso são outras formas de atividade física, como as que não enfatizam exclusivamente o condicionamento aeróbico ou possuam ações motoras predominantemente cíclicas e sem significativa variação em sua execução. Ou seja, praticar determinadas atividades que exigem um maior esforço cognitivo em resposta a estímulos externos imediatos, que surgem a partir de um ambiente imprevisível, incorporando o aumento da demanda cognitiva no exercício físico, pode proporcionar facilitação adicional para a melhora de certos aspectos cognitivos (HUANG *et al.*, 2014). Esta noção é apoiada por poucas pesquisas anteriores em seres humanos, que indicaram que as intervenções com foco na participação em atividades que são cognitivamente, fisicamente e socialmente exigentes podem levar a maiores benefícios cognitivos para os indivíduos (BUDDE *et al.*, 2008, PESCE *et al.*, 2009). A prática de esportes de modalidades coletivas, por exemplo, pode ter efeitos diferenciados sobre determinados aspectos cognitivos, quando comparada à prática de atividades predominantemente cíclicas e individuais (BEST, 2012). Segundo este autor, a literatura apresenta dados bem estabelecidos indicando que a atividade física aguda melhora o desempenho cognitivo, mas há poucos dados disponíveis no que diz respeito a prática das atividades físicas denominadas "engajadas", como, por exemplo, os jogos em equipe e destas sobre aspectos específicos das FEs. Assim, atividades como exercícios coordenativos (BUDDE *et al.*, 2008) ou práticas esportivas em equipes e jogos coletivos que exigem uma rápida adaptação e tomada de decisão em diferentes contextos e situações de jogo (PESCE *et al.*, 2009) podem aumentar o desempenho cognitivo em tarefas que envolvam atenção ou recordação imediata, respectivamente, em comparação às atividades individuais, para situações de equivalente intensidade absoluta e duração. Ou seja, os estudos sobre os benefícios cognitivos do exercício físico precisam ir além de atividades aeróbicas simples que exigem pouca atenção ou somente treinamento da resistência aeróbica, eles devem também buscar entender os domínios esportivos e atividades físicas cotidianas (SOGA, SHISHIDO E NAGATOMI, 2015). O único estudo, dentro dos limites dessa pesquisa, que procurou avaliar os efeitos da prática regular de diferentes exercícios físicos foi o de (HUANG *et al.*, 2014) realizado com idosos. Nele não foram observadas diferenças significativas no tempo de reação e de respostas corretas no controle inibitório entre o grupo que praticava tênis, tênis de mesa e badminton em relação ao grupo que praticava exercícios cíclicos como natação e corrida. Houve diferença de desempenho entre os grupos que praticavam exercício de forma regular e aqueles que praticavam de forma irregular. A única diferença entre grupos foi a amplitude da onda p300, um marcador neuroelétrico avaliado por eletroencefalograma. Os

resultados mostraram que o grupo que pratica exercícios não cíclicos a amplitude da onda P300 foi inferior na região frontal em comparação com a região central do cérebro, diferença tal que não ocorreu nos outros dois grupos. Isso demonstra que o grupo de atividades imprevisíveis necessita mobilizar menos áreas do cérebro para executar a mesma tarefa de controle inibitório.

Além da influência das diferentes características da atividade física sobre as funções executivas, tem-se buscado entender os mecanismos fisiológicos que podem influenciar esses possíveis mecanismos. O fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) é um potencial candidato para mediar os efeitos do exercício sobre o cérebro (YAU *et al.*, 2011a).

Diversos estudos tem procurado avaliar os efeitos dos exercícios agudos e crônicos da atividade física sobre a liberação de BDNF (CHO *et al.*, 2012, GRIFFIN *et al.*, 2011), bem como as possíveis relações entre o condicionamento cardiovascular e as concentrações periféricas de BDNF (CHAN *et al.*, 2008;. CURRIE *et al.*, 2009; 2011 e NOFUJI *et al.*, 2008 e CHO *et al.*, 2012). Os estudos são contraditórios quando se analisa a relação entre as concentrações de BDNF periférico e aptidão cardiorrespiratória (HUANG *et al.*, 2013). Alguns estudos tem demonstrado que indivíduos com maior capacidade aeróbica apresentam menores concentrações de BDNF de repouso (CHAN *et al.*, 2008, CURRIE *et al.*, 2009, JUNG *et al.*, 2011, NOFUJI *et al.*, 2008 e CHO *et al.*, 2012). Outros perceberam uma relação positiva entre nível de condicionamento e BDNF (ZOLADZ *et al.* 2008 e CORREIA *et al.* 2011) e Floel *et al.*, (2010) e Winker *et al.*, (2010) não encontraram associações. Com relação às repostas agudas do exercício, a revisão **de knaepen *et al.*, (2010)** mostrou um aumento das concentrações séricas de BDNF após o exercício na maioria dos estudos. Assim, percebe-se um conflito na relação entre níveis de condicionamento e concentrações de BDNF. Futuros estudos comparando a concentração de fatores neurotróficos imediatamente após o exercício e na condição de repouso entre os exercícios regulares podem ajudar a elucidar a relação entre fatores neurotróficos e exercício (LEE *et al.*, 2013).

Quando se trata de verificar a influência da capacidade aeróbica nas concentrações de fatores neurotróficos, apenas um estudo (LEE *et al.*, 2013), dentro de nosso conhecimento, foi realizado em adolescentes. Neste, verificou-se que o grupo fisicamente ativo apresentou menores valores de repouso para o BDNF e VEGF e melhor desempenho em tarefas que avaliam as funções executivas. E que os níveis de BDNF foram capazes de prever o

desempenho nos testes cognitivos. Maior desempenho nos testes cognitivos, menor valores de repouso para as concentrações destes fatores neurotróficos.

Deste modo, diante das informações apresentadas em relação à influencia da atividade física no desempenho em testes cognitivos, há, por um lado, a relação do nível de condicionamento aeróbio, sendo quanto maior o condicionamento maior o desempenho cognitivo (HILLMAN *et al.*, 2009 e BUCK, HILLMAN e CASTELLI 2008, PONTIFEX *et al.*, 2011 e WU *et al.*, 2011, CHADDOCK *et al.*, 2011). Por outro lado há outra abordagem da relação entre atividade física e a cognição que é o tipo de atividade praticada. Ao se comparar atividade em grupo (Ex, jogos coletivos ou exercícios coordenativos) e exercícios cíclicos, os exercícios em grupo ou coordenativo agudo tem se demonstrado influenciar mais alguns aspectos cognitivos como memória recente e atenção (BUDDE *et al.*, 2008; PESCE *et al.*, 2009) em relação aos exercícios cíclicos ou automatizado e que estas respostas podem ser mediadas por fatores neurotróficos (LEE *et al.*, 2013). No entanto, pouco se sabe sobre a influencia do exercício crônico sobre as FEs (VERBURGH *et al.*, 2013) e muito menos sobre a influência do tipo de atividade (HUNG *et al.*, 2014) principalmente em crianças e adolescentes.

A participação por parte de adolescentes no esporte de rendimento é uma realidade no Brasil. Porém, em nossas revisões não foi encontrado estudos que compararam o efeito do treinamento de longo prazo de atividades com diferentes características (ex. modalidade individual como natação e atletismo e coletivas como futsal, basquetebol e voleibol) nas FEs em indivíduos adolescentes e nem os efeitos sobre mecanismos neurobiológicos possivelmente associados a essas funções.

Portanto, a investigação dos efeitos da participação de longo prazo em programas de treinamento sistematizado em esportes de rendimento de modalidades coletivas (em equipe) e individuais, bem como do nível de condicionamento aeróbico, sobre aspectos selecionados da cognição, como a função executiva e o comportamento dos fatores neurotróficos, pode auxiliar no entendimento dos efeitos crônicos da atividade física sobre a cognição.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente estudo é avaliar o desempenho cognitivo em repouso e após exercício de intensidade progressiva até a fadiga voluntária em adolescentes praticantes de modalidades esportivas individuais e coletivas portadores de nível semelhante de aptidão aeróbica.

O objetivo secundário é verificar se há diferenças nos níveis de BDNF em repouso e pós-exercício progressivo até a fadiga em praticantes de diferentes modalidades esportivas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Função Executiva e Exercício

As funções executivas são processos que assessoram diversas ações cotidianas, incluindo o planejamento, o raciocínio flexível, a atenção e concentração e a inibição e apresentam um desenvolvimento contínuo desde a infância até o início da idade adulta (LUNA *et al.*, 2004 e BEST, MILLER e JONES 2009) e são extremamente necessárias para o desenvolvimento dos seres humanos, pois diferenças iniciais nas funções executivas predizem, ao longo do tempo, resultados no desenvolvimento do indivíduo incluindo o desempenho escolar, a saúde mental e suas competências nos domínios sociais (MALLOY-DINIZ *et al.*, 2008). As funções executivas são também as habilidades cognitivas necessárias para controlar e regular nossos pensamentos, emoções e ações (MORTON, 2013) e ainda inclui a memória operacional, assim como a iniciação e controle de ação (ALVES *et al.*, 2012). Malloy (2008) define as funções executivas como “um conjunto de habilidades que, de forma integrada, permitem ao indivíduo direcionar comportamentos a uma meta, avaliar a eficiência e a adequação desses comportamentos, abandonar estratégias ineficazes em prol de outras mais eficientes e desse modo, resolver problemas imediatos, de médio e de longo prazo”.

Assim, para avaliação das FEs necessita-se conhecer e estabelecer claramente quais são os parâmetros que as norteiam. Segundo Morton (2013) e Diamond (2013) as FEs consistem em três parâmetros os quais iremos adotar no presente estudo: 1- o controle inibitório que está relacionado às ações de pensar antes de agir diante de determinadas situações (dar respostas ponderadas em vez de impulsivas), resistir às tentações e distrações e permanecer atento; 2 - Memória de trabalho ou operacional no qual consiste em manter informação em mente e utilizá-la para explorar e manipular as relações entre ideias e fatos,

atualizar o pensamento ou planejamento, ou fazer um cálculo matemático mentalmente; e (3) flexibilidade cognitiva: ser capaz de se ajustar às mudanças de demandas e prioridades, aproveitar oportunidades inesperadas ou superar problemas repentinos.

Outro aspecto relevante da função executiva destacada por (LUNA *et al.*, 2004) é a velocidade de processamento, medido normalmente pelo tempo de reação simples no qual reflete a eficiência com a qual as informações são processadas. Além disso, o controle inibitório que é a capacidade de filtrar e reter ruídos de um conjunto de resposta é fundamental para a decisão de escolha em um plano cognitivo ao longo de alternativas e tarefas.

Perante os fatores expressos acima, se torna importante estudar as funções executivas em crianças e adolescentes. Stroth *et al.*, (2009) confirma esta importância ao destaca componentes das FEs como a memória, pois a aprendizagem e memória são consideradas essenciais para o funcionamento eficaz em ambientes complexos. Especialmente memória visuo-espacial e verbal porque o aprendizado espacial e lexical são fatores importantes da vida cotidiana e sua grande relevância para o aprendizado escolar. Além da memória, a concentração é um aspecto do funcionamento cognitivo, que envolve a inibição e controle dos impulsos, que são partes dos processos executivos essenciais para a aprendizagem.

As Fes podem ser influenciadas pelo exercício físico. As pesquisas envolvendo exercício e cognição se envolve em alguns âmbitos. O primeiro deles são quais as condições adequadas para observar a relação do exercício físico e a função executiva, como por exemplo, a intensidade e duração do exercício, o período analisado, durante ou após o exercício físico, a idade e aptidão cardiovascular dos participantes. E o segundo, quais mecanismos fisiológicos explicam estes efeitos positivos ou negativos sobre processos cognitivos e em terceiro que processos são afetados por estes mecanismos.

Audiffren (2009) explana sobre duas abordagens teóricas que buscam explicar a relação exercício físico e a função executiva: a abordagem psicológica e a abordagem energética.

A abordagem psicológica possui pressupostos básicos subjacentes ao processamento de informação como, por exemplo, os estados mentais envolvidos em processo, a relação dos estados mentais como estados físicos (ou seja, eles resultam da atividade eletroquímica dos neurônios). Uma das preocupações centrais da psicologia cognitiva é estudar essas representações e processos mentais. Devido ao fato de essas questões não serem diretamente observáveis, segundo Audiffren (2009) os psicólogos cognitivos desenvolveram métodos para

inferir alguns das suas características a partir da medição de diferentes variáveis tais como o tempo reação e as taxas de resposta corretas e incorretas de uma determinada avaliação.

Psicólogos comportamentais defendem que as análises devem basear-se diretamente a fatos observáveis como estímulos e respostas, sem qualquer referência aos estados internos hipotéticos. Por outro lado, os psicólogos cognitivos estão interessados por estados e processos que ocorrem entre as entradas sensoriais e as saídas motoras do sistema de processamento de informação. Variáveis típicas da psicologia cognitiva incluem atenção, reconhecimento de padrões, memória, controle motor, raciocínio, resolução de problemas, linguagem, tomada de decisão, aprendizagem e, mais recentemente, as funções executivas.

A abordagem energética está preocupada com os aspectos intensivos ou de energia. Conceitos como *arousal* (excitação) e ativação foram associados no início com a mobilização ou liberação de energia dentro do organismo. Métodos para avaliar a estrutura e função do cérebro forneceram os meios para identificar mais precisamente os componentes neurofisiológicos de excitação e ativação. Segundo Audiffren, (2009) principais sistemas de neuromoduladores foram distinguidos: a noradrenalina, o sistema dopaminérgico e serotoninérgico e que estudos realizados com animais e os seres humanos mostraram exercício físico agudo resultam em uma liberação no cérebro catecolaminas (noradrenalina e dopamina) e indolaminas (serotonina ou 5-hidroxitriptamina) e também de fatores neurotróficos como o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF), o fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-1) e o fator de crescimento do endotélio vascular (VEGF). Portanto, uma grande parte dos efeitos agudos e crônicos do exercício físico sobre os processos cognitivos podem estar estreitamente relacionado com as neuromodulações catecolaminérgicas e indolaminérgicas de redes neurais envolvidos no processamento de informação e também aos fatores neurotróficos responsáveis pela neurogenesis e angiogeneses. Outros têm avaliado as ativações elétricas induzidas pelo exercício (HILLMAN, CASTELLI e BUCK 2005, PONTIFEX *et al.*, 2011). Assim essa abordagem energética busca entender os mecanismos neurais e hormonais de ativação do cérebro e suas relações com o exercício físico e a função executiva.

2.2 Condicionamento Físico, BDNF e Cognição

A neurogênese em seres humanos adultos pode ser observada através do estudo dos níveis periféricos dos fatores neurotróficos que influenciam o desenvolvimento, a proliferação, diferenciação e regulação de novas células no cérebro. O fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF), o fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1) e fator de crescimento endotelial vascular (VEGF) são três potenciais candidatos propostos para mediar os efeitos do exercício sobre o cérebro (YAU *et al.*, 2011a). O BDNF e o VEGF são sugeridos a estarem envolvidos nos benefícios da regulação induzida pelo exercício sobre a aprendizagem bem como a ativação da neurogênese e angiogênese no hipocampo (VAYNMAN *et al.*, 2004). Esses dados podem ser confirmados pelos estudos de Trejo *et al.*, (2001) e Fabel *et al.*, (2003) ao demonstrarem que, quando foi bloqueado a captação de IGF-1 e VEGF periférico por seus receptores, mesmo após o exercício, a neurogênese foi suprimida.

Acredita-se que o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) desempenhe um papel importante no crescimento neuronal, transmissão, modulação e plasticidade neuronal (FERRIS *et al.*, 2007, LESSMANN e BRIGADSKI, 2009). O BDNF é uma proteína homodímera (proteína composta de duas subunidades idênticas) (Rosenfeld, *et al.*, 1995) que atua através do seu receptor de tirosina-quinase (TrkB), para promover a diferenciação e sobrevivência neuronal (COTMAN e ENGESSER-CESAR, 2002) e é produzido e secretado no âmbito do sistema nervoso central e periférico (LESSMANN e BRIGADSKI, 2009) pelas células endoteliais vasculares (NAKAHASHI *et al.*, 2000), células do músculo esquelético e músculo liso (MATTHEWS *et al.*, 2009) e células imunes (KERSCHENSTEINER *et al.*, 1999), sendo portanto uma substância endógena que desempenha um papel central na saúde dos neurônios

Embora o BDNF circulante se origine tanto por vias centrais quanto através de fontes periféricas (KNAEPEN *et al.*, 2010), existe evidência que sugerem que o cérebro possa ser, a principal fonte de BDNF, tanto em repouso quanto durante o exercício, nos seres humanos (RASMUSSEN *et al.*, 2009). Estudos que utilizaram ratos que se exercitaram em rodas com livre acesso têm demonstrado o aumento de BDNF no hipocampo (NEEPER *et al.*, 1996), sendo que, em humanos, ocorre um aumento das concentrações séricas de BDNF após o exercício (KNAEPEN *et al.*, 2010).

No entanto, apesar de pesquisas indicarem uma correlação positiva entre o exercício e os níveis circulantes de BDNF, alguns estudos têm relatado que sua concentração plasmática

em repouso está inversamente associada com níveis de atividade física, estimada com o uso de pedômetros e ou questionários, e com níveis de aptidão cardiorrespiratória determinada através de testes máximos em cicloergometro ou testes de esteira (CHAN *et al.*, 2008; CURRIE *et al.*, 2009; JUNG *et al.*, 2011 e NOFUJI *et al.*, 2008).

O trabalho de Nofuji *et al.*, (2008) demonstrou uma relação inversa entre a concentração de BDNF no soro e atividade diária, determinada por contagem de passadas e dispêndio de energia em homens. Um questionário utilizado por Chan *et al.*, (2008) constatou menores níveis de BDNF no soro de um grupo fisicamente ativo, quando comparado com indivíduos sedentários. No entanto, estes estudos anteriores não realizaram medidas fisiológicas da aptidão cardiorrespiratória, assim como medição do consumo máximo de oxigênio (VO₂max). Nofuji *et al.*, (2008) aponta para a importância da utilização de tais medidas na investigação adequada da relação entre atividade física e as concentrações de BDNF no soro em humanos.

Estudos transversais com seres humanos são conflitantes quando se analisa a relação entre as concentrações de BDNF periférico e níveis de atividade física ou aptidão cardiorrespiratória (HUANG *et al.*, 2013). Um estudo mostra que há uma relação positiva e significativa entre nível de condicionamento e BDNF (CORREIA *et al.*, 2011). Outros dois não constataram associação significativa (FLOEL *et al.*, 2010 e WINKER *et al.*, 2010), sendo que, ainda, uma correlação negativa e significativa entre as concentrações de BDNF e condicionamento físico mensurados a partir de testes máximos (CURRIE *et al.*, 2009, Jung *et al.*, 2011, CHO *et al.*, 2012) foi observada. O mesmo foi verificado por Chan *et al.*, (2008), porém os autores avaliaram o níveis de prática de atividades físicas a partir de questionários.

Portanto, considerando-se a evidência científica hoje disponível e dentro da margem dessa revisão de literatura, percebe-se que a relação entre nível de atividade física ou nível de condicionamento físico e as concentrações plasmáticas de BDNF em adultos e idosos não está claramente estabelecida e poucos são os estudos avaliando essa relação em crianças e adolescentes.

O estudo da Lee *et al.*, (2013) é o único e mais recente estudo que procurou verificar os níveis de atividade física e sua relação com níveis séricos de BDNF, e VEGF em adolescentes bem como o desempenho cognitivos. Nesse estudo os autores avaliaram, através de questionários, os níveis de atividades de 45 adolescentes praticantes de natação, remo, triatlo e corrida e 46 do grupo controle sedentários todos com média de idade de 16 anos. Foi

verificado que o desempenho cognitivo foi melhor nos fisicamente ativos nos testes cognitivos de Stroop Color-Word que avalia o controle inibitório; Wisconsin Card Sorting (WCST) que avalia a flexibilidade cognitiva e no teste de memória espacial. Quanto aos níveis de fatores neurotróficos o grupo fisicamente ativo apresentaram valores de repouso menores para o BDNF e VEGF.

Esse estudo mostra que o nível de atividade física pode influenciar em alguns fatores neurotróficos e também no desempenho cognitivo. No entanto a amostra foi composta de praticantes de atividades esportivas estritamente individuais. Não foi abordado a influencia do tipo de atividade, praticada de forma crônica, sobre aspectos cognitivos e de fatores fisiológicos como os fatores neurotróficos.

Sendo assim, faz-se necessário esclarecer a relação entre desempenho cognitivo de crianças e adolescentes ativos fisicamente em relação àqueles adolescentes sedentários, bem como estabelecer de que maneira os níveis de fatores neurotróficos em repouso e após exercícios se correlacionam com o desempenho cognitivo nessa faixa etária de indivíduos que praticam modalidades esportivas de diferentes características.

2.3 Exercício Crônico, Cognição e BDNF

As mudanças comportamentais e psicológicas induzidas pela prática regular de uma atividade física normalmente aparecem após um período do início do programa exercício e podem ser mantidas por várias semanas após o término (CHADDOCK *et al.*, 2012) e a atividade física pode aumentar o nível de excitação do individuo, o que representa um maior número de atenção disponível, que por sua vez, facilita o desempenho em tarefas que envolvem esforço da função cognitiva (AUDIFFREN, 2009).

Estudos com base em modelos animais tem demonstrado os efeitos crônicos do exercício e as respectivas mudanças estruturais e duradouras no organismo de ratos como angiogênese (SWAIN *et al.*, 2003), ou a neurogênese (VAN PRAAG *et al.*, 1999), o que pode refletir e melhoras no desempenho cognitivo.

Em seres humanos alguns estudos tem buscado verificar os efeitos do treinamento na cognição. Davis *et al.*, (2007) analisaram o efeito crônico de 05 sessões de treinamento aeróbio por semana, durante 15 semanas, na função executiva avaliado pelo *Cognitive Assessment System* (CAS) teste que envolve planejamento, atenção, processamento, percepção e memória (PASS). Desse estudo participaram 94 crianças entre 07 e 11 anos de

idade, estudantes do ensino fundamental, dividido em 03 grupos: grupo controle (GC n=29), que praticava menos de 01 hora por semana de atividade física, e dois grupos que praticavam uma gama de exercícios orientados como pular corda, correr e mini jogos de basquetebol e futebol. Um grupo denominado baixo volume de exercício físico (G20) realizava 20 minutos de atividade e o grupo alto volume de exercício físico 40 minutos de atividade (G40). Os resultados mostraram que o G40 obteve maior desempenho no teste de planejamento da função executiva em relação ao grupo controle. Porém, não foram observadas melhoras nos desempenhos de atenção, processamento, percepção e memória.

Outro estudo que avaliou o efeito crônico do treinamento aeróbico, porém em crianças mais novas (5 e 6 anos), foi o do Fisher *et al.*, (2011). Os autores avaliaram memória espacial (SSP) e um teste de memória de trabalho espacial (SWM), teste de atenção ANT e ainda o teste CAS. Todos os testes foram aplicados 3 semanas antes do início da intervenção, na semana inicial da intervenção e após as 10 semanas de intervenção, exceto o CAS que só foi aplicado imediatamente antes e após as 10 semanas de treinamento. Participaram desse estudo 64 crianças divididas em 2 grupos. Um grupo controle (n=30) participava de duas aulas de educação física semanais e as atividades eram as do currículo pedagógico e um grupo de intervenção (n=34) que também realizavam 2 aulas de educação física semanais com ênfase em atividades aeróbicas. O controle era feito através de um acelerômetro e indicaram que o grupo de intervenção foi mais ativo que o controle. Os resultados mostraram que houve uma taxa de erro significativamente menor no grupo intervenção para memória de trabalho espacial após o período de intervenção, mas não houve diferenças nos outros parâmetros cognitivos avaliados. Outro aspecto relatado pelos autores é que não houve um controle da intensidade, apenas uma indicação de que o grupo de intervenção se movimentou mais, o que pode ter contribuído para os resultados pouco conclusivos.

Os resultados desses dois estudos demonstram como o treinamento aeróbico em diferentes indivíduos pode-se ter diferentes resultados sobre determinados parâmetros das FEs em crianças. Assim, as diferenças nos programas e intensidades de treinamento proposto, bem como o público avaliado e os testes cognitivos associados, tornam difícil a comparação dos resultados e uma justificativa pelas diferenças apresentadas.

Stroth *et al.*, (2009) investigaram a relação do exercício e cognição numa população de adultos jovens saudáveis, estudantes universitários, (n=28) faixa etária entre 17 e 29 anos idade (média $19,65 \pm 3,3$). Foi realizado um estudo de intervenção com o treinamento aeróbico moderado no qual consistia três sessões de treinamento semanal, duração de trinta minutos, durante seis semanas com uma intensidade de treinamento relativo baseado no limiar de

lactato. E posteriormente ao período de treinamento foi avaliados os potenciais efeitos positivos da aptidão nas funções cognitivas. A função cognitiva foi avaliada por medidas de concentração (teste D2 adaptado), capacidade visuoespacial e memória verbal de curto prazo (teste VVM). O teste visuoespacial consistia de um "mapa de rua" e o participante tinha que memorizar um determinado caminho e recuperá-lo imediatamente com base num mapa de rua idêntico, mas sem o caminho estabelecido. Tempo de visualização do mapa era de 1 minuto e o tempo para lembrar eram 2 minutos. O desempenho é medido pelo número de cruzamentos lembrados corretamente no mapa com um máximo de 21 interseções. Na "construção" (verbal) ao participante é dado um texto, com uma descrição detalhada de um edifício (teatro e museu), contendo nomes, números. Imediatamente após a apresentação das informações, os fatos eram solicitados. O tempo disponível para memorizar a informação é de 1 minuto e o tempo para relembração do material era de 4 minutos. As medidas de desempenho são o número de respostas lembradas corretamente. Os voluntários foram divididos em 2 grupos (grupo treinamento e grupo controle). Os resultados observados foram que o desempenho na memória visuoespacial melhorou (tamanho do efeito $d=1,01$), enquanto memória verbal e concentração não houve melhora. Estes resultados sugerem que o impacto da atividade física pode ser específico para as diferentes funções cognitivas para esse público avaliado. Uma vantagem desse estudo em relação aos de Fisher *et al.*, (2011) e Davis *et al.*, (2007) e que foi determinaram a intensidade do treinamento pelo limiar de lactado, mas mesmo assim apenas um aspecto foi afetado, a memória visuoespacial, sem modificação nos outros parâmetros cognitivos.

A busca dos mecanismos biológicos pelos quais possam justificar as melhoras relatadas no desempenho cognitivo tem focado em avaliar o efeito do exercício aeróbio crônico sobre BDNF. Tanto os níveis de repouso de BDNF e sua resposta ao exercício agudo, quanto após um período prolongado de exercício aeróbico, têm sido investigados. Três estudos relataram que os níveis de BDNF de repouso foram aumentados em certa medida, após um período de treinamento aeróbico (SEIFERT *et al.*, 2010; ERICKSON *et al.*, 2011; RUSCHEWEYH, 2011), enquanto que um estudo revelou que um período de 12 semanas de treinamento a 80% da frequência cardíaca no limiar aeróbico não influenciou significativamente as concentrações de BDNF (SCHIFFER *et al.*, 2009). Além disso, outro estudo mostrou que a resposta do BDNF a uma única sessão de exercício foi aumentada depois de um período prolongado de exercício aeróbico (GRIFFIN *et al.*, 2011.).

Erickson *et al.*, (2011) realizou um estudo de 01 ano de duração sobre os efeitos treinamento aeróbico em 120 adultos idosos saudáveis dividido em 2 grupos, um grupo controle (n=60 média idade 65.5 ± 5.44 anos) e um grupo treinamento (n=60 média de idade 67.6 ± 5.81 anos). Observou-se que o exercício aeróbico promoveu a elevação das concentrações de BDNF no soro, no volume do hipocampo e da função cognitiva avaliada pela memória espacial e no desempenho no teste de memória. Porém não houve correlação entre o desempenho no teste cognitivo e os as concentrações de BDNF. O estudo de Ruscheweyh *et al.*, (2011) também demonstrou um aumento dos níveis de BDNF em repouso, bem como melhora significativa da função cognitiva relacionado a memória verbal em idosas (50 a 72 anos) saudáveis após 6 meses de exercício aeróbico. Outro estudo que verificou o efeito do treinamento aeróbico de 3 e 5 semanas no desempenho cognitivo de memória foi o do Griffin *et al.*, (2011). Porém o publico foi adultos jovens sedentários n=47 (22 ± 2 anos). Os voluntários foram divididos em 2 grupos, um exercício (n=32) e um grupo controle (n=15). O grupo exercício que treinou 5 vezes por semana obteve uma melhora o desempenho cognitivo e esse desempenho foi dependente da melhora da capacidade aeróbica e que o aumento induzido por exercício agudo na função do hipocampo pode ser mediada pelas ações de BDNF.

No entanto, os estudos sobre exercício e cognição mencionados foram realizados com adultos jovens e idosos e o seu efeito sobre as populações mais jovens tem sido ambígua (GUINEY e MACHADO, 2013; VERBURGH *et al.*, 2013). Alguns estudos têm relatado que o exercício regular e uma melhor aptidão física não foram associados com uma melhor desempenho de FEs em adolescentes saudáveis com média de idade de 14,2 anos (STROTH *et al.*, 2009). Uma meta-análise recente não conseguiu identificar qualquer efeito cognitivo benéfico do exercício crônico entre os adolescentes, o que pode estar relacionado ao pequeno número de estudos (VERBURGH *et al.*, 2013). E ainda, segundo Huang *et al.*, (2013), estudos experimentais bem desenhados são necessários para entender os efeitos da atividade física e exercício físico sobre a neuroplasticidade e desenvolvimento cognitivo.

Mais recentemente Lee *et al.*, (2013) analisaram o desempenho de funções executivas de 91 adolescentes, média de idade 16 anos, divididos em 2 grupos, exercícios, aqueles que praticavam exercícios regularmente (remo, natação, corrida ou triathlon) e o outro grupo controle (não praticavam exercícios de forma regular). Foi observado um melhor desempenho nas tarefas de controle inibitório e flexibilidade cognitiva, mas não em memória espacial para o grupo exercício comparado ao grupo controle. Nesse mesmo estudo os níveis em repouso

das concentrações de BDNF foram menores para os indivíduos fisicamente ativos em comparação com os do grupo controle. Cho *et al.*, (2012) relatou uma relação dinâmica entre o exercício e a circulação fatores neurotróficos em adultos humanos. Em indivíduos com altos níveis de aptidão cardiorrespiratória, a relação entre a maior capacidade aeróbica e o BDNF foi positivo quando BDNF foi medido imediatamente após o exercício, mas a relação foi negativa se BDNF foi medido em repouso. Contudo novos estudos comparando a concentração de fatores neurotróficos imediatamente após o exercício e na condição de repouso podem ajudar a elucidar a relação entre fatores neurotróficos e níveis de condicionamento em adolescentes (LEE *et al.*, 2013).

Portanto, atualmente são poucos os estudos realizados com o objetivo de avaliar o efeito crônico do treinamento nas funções executivas. No estudo de Meta Análise do Verburgh *et al.*, (2013), no qual foram incluídos apenas estudos randomizado e com a presença de grupo controle, apenas 4 (1 com adultos e 3 com crianças) dos 19 estudos analisados eram de intervenção e desses nenhum realizado com adolescentes. Nesta meta-análise não foi visualizado um efeito crônico do treinamento nas FEs (tamanho do efeito = 0,14 e $p = 0,19$).

2.4 Exercício Agudo Cognição e BDNF.

Poucos são os dados envolvendo exercício agudo e cognição em adolescentes reportados na literatura. Os estudos que buscaram avaliar o efeito agudo sobre o desempenho de FEs não têm visto efeitos significativos (STROTH *et al.*, 2009, COOPER *et al.*, 2012, SOGA, SHISHIDO e NAGATOMI 2015)

O estudo mais recente avaliou os efeitos agudos do exercício aeróbico moderado em esteira a 60 e 70% da frequência cardíaca máxima ($F_{cmáx}$), sobre as FEs (controle inibitório e memória trabalho) em 28 adolescentes sedentários com idade média de $15,6 \pm 0,5$ anos (SOGA, SHISHIDO e NAGATOMI 2015). Os autores não encontraram efeitos positivos na função executiva após o exercício. O estudo de Cooper *et al.*, (2012) avaliou os efeitos agudos de exercício aeróbico intervalado nas FEs em 45 adolescentes de 12-13 anos. Eles observaram melhoras nos tempo de resposta em tarefas de memória trabalho, mas não houve melhora no número de respostas corretas e nem na tarefa de controle inibitório (Stroop color). Também

não houve melhora do desempenho no controle inibitório após exercício aeróbico de 20 min. em cicloergometro em 35 adolescentes (14,2 anos) a 60% da FC_{máx} (STROTH *et al.*, 2009). Este estudo ainda não observou o efeito do nível do condicionamento aeróbico, porém os indivíduos com maior condicionamento apresentaram maiores processos de preparação da tarefa antes de elas serem executadas. Assim, percebe-se que são limitadas as pesquisas envolvendo adolescentes e os efeitos do exercício agudo sobre as FEs nessa população e que os resultados ainda são contraditórios.

Além desses dados tem se buscado entender como o exercício agudo tem se mostrado benéfico principalmente para estudos com adultos e idosos na cognição. O BDNF tem sido o principal potencial para se explicar a melhora induzida pelo exercício na função cerebral e alguns estudos examinaram os efeitos do exercício na função cognitiva, além de concentrações de BDNF (FERRIS *et al.*, 2007; WINTER *et al.*, 2007; GOEKINT *et al.*, 2008, 2010; ERICKSON *et al.*, 2011;. GRIFFIN *et al.*, 2011; RUSCHEWEYH *et al.*, 2011). Apesar de usar diferentes medições cognitivas, a maioria dos estudos mostrou que a função cognitiva foi melhorada após o exercício agudo (FERRIS *et al.*, 2007; WINTER *et al.*, 2007; GRIFFIN *et al.*, 2011). Esses estudos forneceram algumas evidências de que o BDNF periférico foi associado com aumento induzido pelo exercício na função cerebral.

Nos estudos de Ferris *et al.*, (2007) e Winter *et al.*, (2007) com adultos jovens (média de idade 25.4 ± 1.01 e 22.2 ± 1.7 anos respectivamente) verificaram um aumento das concentrações periféricas de BDNF após o exercício aeróbico agudo de moderada e alta intensidade e conseqüente melhora no desempenho em testes cognitivos em tarefas de controle inibitório (Stroop Color) e tarefas de memória, aprendizagem e atenção. Em ambos os estudos a liberação de BDNF foi maior nos exercícios de alta intensidade, no entanto no estudo de Ferris *et al.*, (2007) não houve correlação entre as alterações dos níveis de BDNF e o desempenho na tarefa de Stroop. Já no estudo do Winter *et al.*, (2007) a manutenção dos níveis de BDNF após exercício intenso relacionou com a melhora aprendizagem a curto prazo. Assim verifica-se um conflito nos dois estudos na relação entre as concentrações de BDNF pós-exercício e o desempenho cognitivo. Isso pode ser devido às características do exercício físico e dos testes cognitivos realizados, tornando uma comparação entre esses resultados difícil de realizar. A maioria dos estudos envolvendo cognição e BDNF foi realizado com adultos e idosos, em adolescentes não se tem visto na literatura a relação de exercício agudo e liberação de BDNF, apenas o estudo de Lee *et al.*,(2013) foi realizado com adolescentes, mas comparou o nível de pratica de atividade física com as concentrações de

BDNF em repouso, como relatado no tópico anterior. Assim, mais estudos são necessários nesta área, incluindo estudos para examinar os efeitos da intensidade, duração e tipo de exercício na função cognitiva em adolescentes (COOPER *et al.*, 2012).

2.5 Atividade Individual Versus Coletiva e Cognição

Com base nas pesquisas citadas anteriormente, pode-se perceber a influencia do condicionamento aeróbico em determinados aspectos cognitivos, porém em outros não. A importância da capacidade aeróbia no desempenho de tarefas cognitivas foi demonstrada em crianças pré-adolescentes (HILLMAN *et al.*, 2009 e BUCK, HILLMAN e CASTELLI 2008, PONTIFEX *et al.*, 2011, WU *et al.*, 2011 e CHADDOCK *et al.*, 2011). Porém, ainda não está bem estabelecido como o desempenho cognitivo está relacionado com os tipos, duração ou intensidade dos programas de treinamento (TOMPOROWSKI *et al.*, 2008), pois o desempenho cognitivo pode ser afetado pelo tipo de tarefa cognitiva selecionado e o tipo de exercício físico realizado bem como programa de treinamento proposto (LAMBOURNE e TOMPOROWSKI, 2010).

Além disso, estudos mostram os exercícios físicos que possuem características de imprevisibilidade do ambiente, por exemplo, exercícios coordenativos e jogos coletivos que exige uma rápida adaptação e tomada de decisão em diferentes contextos e situações de jogo, aumenta a função cognitiva comparada a atividades cíclicas ou fechada (ou seja, repetitiva e não adaptativa) para atividades físicas agudas de equivalente intensidade e duração (BUDDE *et al.*, 2008; PESCE *et al.*, 2009). Neste sentido, no que se refere ao tipo de exercício físico realizado, atividade em grupo ou atividade coordenativa, Budde *et al.*, (2008) compararam, em 99 adolescentes de 13 a 16 anos de idade, o desempenho cognitivo em tarefas que envolve atenção e concentração (teste D2) pré e após 10 minutos de atividades em dois grupos. Um grupo (n=47 média de idade $15,04 \pm 0,87$ anos) foi submetido a de exercícios coordenativos (EC) (EC eram movimentos envolvidos com a coordenação no futebol e no protocolo Munique fitness Test). O outro grupo (n = 52 média de idade de $14,98 \pm 0,78$ anos) participou de uma aula normal de Educação Física. Os autores observaram em seus resultados que ambos os grupos melhoraram o desempenho no teste cognitivo pós 10 minutos de exercício em relação ao pré-exercício. Porém o grupo EC obteve um aumento mais significativo para uma mesma intensidade (mesma frequência cardíaca). Segundo os autores o grupo EC requer uma maior variedade de processos dependentes do córtex pré-frontal, em comparação com

movimentos básicos em intensidade moderada. Além disso, o EC é suposto conduzir a uma excitação do cerebelo, que é também responsável por mediar funções cognitivas. Assim, o resultado desse estudo sugere que o EC conduz a uma facilitação de redes neuronais, resultando em uma geral pré-ativação das atividades corticais responsáveis por funções cognitivas como atenção. Já o mesmo não ocorreria nas aulas normais, pois os alunos realizariam movimentos automatizados.

Pesce *et al.*, 2009 compararam o desempenho cognitivo em um teste cognitivo de memória recente e tardia (*Free-recall memory task*) após jogos em equipe (duração de 42min) e após treino aeróbico em circuito (duração 38min). Ambos os protocolos apresentaram uma mesma intensidade demonstrada pela frequência cardíaca (FC) > 139 bpm e PSE 15 pontos, mas diferentes demandas de interação cognitivas e sociais demonstrada por análise de vídeo em que no circuito os voluntários executaram as atividades de forma solitária, enquanto que nos jogos ouvem interação com outros indivíduos. Essas avaliações foram realizadas em 52 alunos de 11 a 12 anos. Os resultados apontaram para um melhor desempenho na memória após ambos os protocolos de exercício em relação à situação sem exercício precedente, porém o jogo em equipe obteve melhor desempenho na tarefa de recordação imediata que o exercício em circuito. Mas na tarefa cognitiva de recordação tardia não houve diferença entre os grupos. Concluindo, os autores alegam que o aumento da excitação fisiológica provavelmente é responsável para os efeitos do exercício no desempenho de memória. E o melhor desempenho para de recordação imediata após o jogo em equipe, presumivelmente é atribuído à ativação cognitiva induzida por atividades que envolvam habilidades abertas caracterizadas por rápidas mudanças de situações interativas e por uma correspondente necessidade de processos de decisão sob pressão de tempo.

Em crianças e adolescentes esses são os dois únicos estudos que compararam o efeito agudo de atividades com características distintas. A cerca de nosso conhecimento, nenhum estudo verificou o efeito crônico de diferentes tipos de atividades nas funções executivas de crianças e adolescentes. O único estudo de projeto transversal que buscou, até o presente momento, verificar a relação entre o tipo de exercício e o desempenho no componente controle inibitório das funções executivas foi o (HUANG *et al.*, 2014) realizado com idosos. Neste estudo realizado com 60 idosos com média entre $69,42 \pm 3,0$ anos dividido em 3 grupos: Habilidades aberta: aqueles que praticavam apenas tênis de mesa, tênis e badminton; Habilidades fechadas: aqueles que praticavam natação e corrida; grupo de exercícios irregulares: aqueles que realizavam exercícios de forma irregular. Os resultados indicaram

que aqueles se exercitam regularmente, independentemente do tipo de exercício, exibiu um tempo de reação mais rápido no teste de controle inibitório em comparação com o grupo de exercícios irregulares. Assim, os autores concluíram que a participação em exercícios físicos envolvendo aumento da demanda cognitiva está associada a melhora da eficiência neural na alocação de recursos para tarefas que requerem controle de interferência.

Conforme citado anteriormente e diante da falta de evidências sobre a influência do tipo de exercício praticado na função executiva, principalmente em crianças e adolescentes, o presente estudo tentará avaliar esse efeito em adolescente que praticam diferentes atividades físicas em atletas de alto rendimento.

3 MÉTODOS

3.1 Cuidados Éticos

Este estudo respeitou as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional da Saúde (Resolução 466/2012) e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (Número do Parecer:779.129) e Colegiado de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, tendo sido realizado no Laboratório de Fisiologia do Exercício da EEEFTO-UFMG.

3.2 Participantes

A amostra foi composta por 36 adolescentes do sexo masculino, de idades entre 14 e 16 anos, praticantes da modalidade esportiva coletiva futsal (n=14), a modalidade esportiva individual natação (n=14) e de adolescentes sedentários (n=8) que apenas praticam Educação Física escolar ou esporte recreacional. Todos os atletas tinham experiência de pelo menos 2 anos de treinamento na modalidade sem interrupções, exceto férias, e participavam regularmente de competições de nível estadual e nacional, sendo, assim, caracterizados como atletas de alto rendimento. Os voluntários foram divididos em três grupos: praticantes de modalidade natação (GN) praticantes de modalidade futsal (GF) e um grupo controle de adolescentes sedentários (GC), todos recrutados na cidade de Belo Horizonte. É importante ressaltar que os atletas não praticava outra modalidade de forma concomitante, ou seja, atletas de natação praticavam apenas natação, e o mesmo para os atletas de futsal. Os dados das características antropométricas se encontram na tabela 1.

TABELA 1

Dados antropométricos e VO₂max dos voluntários.

	GF	GN	GC
N	14	14	8
Idade	16,26 ± 0,50	15,21 ± 0,84	15,8 ± 0,80
Peso (Kg)	63,51 ± 6,98	67,78 ± 11,41	66,35 ± 6,85
Estatura (cm)	174,07 ± 6,39	174,17 ± 6,01	171,7 ± 3,01
%Gordura	10,6 ± 4,79	8,25 ± 3,41	17,18 ± 11,60*
VO₂ (mlO₂/kg·min⁻¹)	37,93 ± 3,57	41,8 ± 4,46 [#]	33,88 ± 5,05
Tempo Prática (anos)	8,5 ± 1,94	9,66 ± 3,02	-

diferença significativa GNxGC p<0,05.

* diferença significativa GN e GF x GC p<0,05.

3.3 Delineamento Experimental

Inicialmente foi realizado um contato com os treinadores, professores e escolas onde os voluntários foram recrutados para explicação dos procedimentos experimentais e autorização para se realizar a pesquisa. Com a autorização, foi dado o início dos procedimentos experimentais. No primeiro encontro foi realizada uma reunião com os voluntários, que foram informados de todos os procedimentos que seriam adotados. Cada responsável pelos voluntários, bem como o próprio voluntário, assinaram um *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido* (TCLE), relatando estarem cientes dos riscos relacionados à pesquisa, sendo que a qualquer momento poderiam deixar de participar do estudo sem a necessidade de apresentarem uma justificativa aos pesquisadores.

No segundo dia, foi apresentadas perguntas a cada voluntário para a análise de fatores que podem influenciar o desempenho nos testes cognitivos (Chaddock *et al.*, 2011) e que poderiam ser fatores de exclusão do estudo. Foi perguntado a cada voluntário e a seu respectivo responsável se o mesmo já fora diagnosticado com o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) ou se toma algum medicamento de forma controlada para alguma questão neurológica. Posteriormente, o PAR-Q (THOMAS *et al.*, 1992), um questionário de estratificação de risco foi utilizado para identificar a necessidade de avaliação clínica e médica antes do início da atividade física. Em seguida, foram realizadas as medidas antropométricas, como massa corporal (kg), estatura (cm), dobras cutâneas para o cálculo do percentual de gordura (%G) e índice de massa corporal (IMC).

Os voluntários foram, então, submetidos à punção venosa periférica para posterior análise das concentrações de BDNF no sangue (fator neurotrófico derivado do cérebro). Esse procedimento foi realizado por profissional qualificado e treinado, o qual realizou a devida higienização do local a ser puncionado e usou de materiais estéreis e descartáveis. Foi priorizada região de fácil acesso (antebraço, região antecubital).

Posteriormente, em uma sala reservada e silenciosa, foram aplicados, por profissionais habilitados, protocolos para avaliar os parâmetros envolvidos nas funções executivas, como o controle inibitório, a flexibilidade cognitiva e a memória operacional. O controle inibitório e a flexibilidade cognitiva foram avaliados pelo teste de Cinco Dígitos (PAULA *et al.*, 2013). Em seguida foi aplicado o teste Nback para avaliar aspectos relacionados à memória operacional (CALLICOTT *et al.*, 1999).

Em seguida, todos os voluntários realizavam protocolo de exercício progressivo máximo em cicloergometro (BALKE *et al.*, 1959) para a estimativa do consumo máximo de oxigênio (VO_2max) e determinar a frequência cardíaca máxima (FCmáx) e percepção subjetiva do esforço (PSE). A utilização de cicloergômetro para estimar a capacidade aeróbica se dá por ser um método pouco familiar e inespecífico para os voluntários deste estudo (ACSM, 2010), pois não puderam participar praticantes de ciclismo, mesmo que em nível recreacional. Assim, minimizou-se a possibilidade de haver influência da especificidade da modalidade praticada sobre o desempenho aeróbico. Após o protocolo de esforço o voluntário passou por um período de “volta a calma” por 5 minutos, no qual o mesmo pedalava em um ritmo lento e em seguida foi realizado a punção venosa para análise sanguínea pós-exercício. Logo e seguida foram aplicados novamente os testes cognitivos para avaliação do desempenho após exercício (fig. 1).

3.3.2 Variáveis Fisiológicas

Colheita Sanguínea

O sangue foi colhido e acondicionado em tubos BD Vacutainer (total 4 ml de sangue), de acordo com o seguinte procedimento: logo após a assepsia do local, região da fossa antecubital do antebraço, o sangue foi extraído através de punção venosa com agulha calibre 22 G acoplada em canhão e mais um tubo a vácuo. Logo após a coleta, a região recebeu um curativo.

Processamento de Amostra

O sangue, após coagulação, foi centrifugado a 1500 RMP por 15 minutos e o soro alicotado em eppendorfs de 2 ml e armazenados a -80°C até o momento da análise. A análise foi realizada de acordo com o manual do kit Elisa (BDNF E max $\text{\textcircled{R}}$ ImmunoAssay System – USA - Promega) conforme especificado pelo fabricante para determinar as concentrações de BDNF.

Consumo Máximo de Oxigênio (Protocolo de Esforço em Cicloergômetro)

Para estimativa capacidade aeróbica ($\text{VO}_{2\text{max}}$) foi utilizado um cicloergômetro da marca (Monark, Suécia) através do protocolo progressivo de Balke (BALKE *et al.*, 1959). Nesse protocolo, o voluntário realizou um período de aquecimento com duração de 3 minutos, com uma carga individualizada de 50 W e numa cadência de 60 RPM. Após o aquecimento, foi fornecida uma pausa de 2 minutos no qual foram realizados os últimos ajustes de banco e eventuais dúvidas do voluntário eram sanadas. Em seguida, iniciou-se o teste, no qual adiciona-se de forma progressiva cargas de 25 watts em intervalos de 2 minutos. Para determinar o $\text{VO}_{2\text{max}}$, utilizando a fórmula de Balke, é necessário a verificação da massa corporal do avaliado antes da realização do teste, bem como a última carga completada pelo indivíduo (em watts). Com estes dados, aplica-se a equação indicada no quadro 1.

Quadro 1: Equação para estimativa do $\text{VO}_{2\text{max}}$

Protocolo	Carga Watts	Tempo de estágio (min)	Equações para cálculo do $\text{VO}_{2\text{max}}$
Balke	25 w sujeito normal	2	$\text{VO}_{2\text{max}} \text{ ml}(\text{kg}\cdot\text{min})^{-1} = \frac{200 + (12 \times W_{\text{max}})}{\text{Peso (Kg)}}$

A interrupção do exercício se deu mediante a solicitação do voluntário ou na ocorrência de classificação de pontuação 20 quanto ao nível do esforço realizado pelo voluntário na escala de PSE (Borg, 1982); incapacidade de manter as rotações por minuto estipulada; presença de sintomas como tontura, confusão mental, falta de coordenação, palidez, náusea ou pele fria e úmida (ACSM, 2010).

Frequência Cardíaca (FC)

A FC foi monitorada continuamente durante o protocolo de esforço e registrada pelo cardiofrequencímetro da marca Polar System (Finlândia), sendo estas coletadas em repouso, imediatamente antes do início, a cada 2 minutos e ao término do teste.

Percepção Subjetiva do Esforço (PSE)

Para a determinação da percepção subjetiva de esforço, foi apresentada aos voluntários uma escala de 15 pontos (6 a 20), sendo o 6 atribuído ao menor esforço durante o exercício e o 20 ao maior esforço possível (BORG, 1982). Os registros foram feitos no início e a cada 2 minutos de exercício.

3.3.2 Variáveis Cognitivas

Os testes cognitivos foram aplicados pré e aproximadamente 9 minutos após o teste progressivo para estimativa de VO_2 máximo.

N – back: Objetivo deste teste é a avaliação da memória operacional (Callicott et al., 1999; Goldberg et al., 2003).

O teste de N-Back (realizado em computador) é composto por 3 etapas, onde, em cada uma delas, há 30 estímulos de preparação e treinamento, em que feedback é fornecido sobre acertos, erros ou ausência de resposta caso o participante ultrapasse o tempo limite para reagir ao estímulo. Após o treino inicia-se o teste propriamente dito, que consiste de seis blocos com 14 estímulos (total de 84 estímulos), onde cada estímulo fica visível na tela por 200ms e há um intervalo entre estímulos de 1800ms. Em todas as fases, o indivíduo deve pressionar 4 teclas, onde cada uma delas corresponde ao número fixo, sendo que o examinador explicou ao participante quais teclas correspondem a cada número (Fig.2). Em todas as etapas foi avaliado o tempo de resposta e o número de acertos. Na primeira etapa é visada a velocidade de

processamento automático e nas fases 2 e 3 a velocidade de processamento controlado. As fases estão descritas abaixo.



Fig. 2 Orientação da posição das mãos para realização do teste NBack.

Primeira fase – No Back:

Nesta tarefa, o voluntário é orientado a pressionar a tecla correspondente ao número da tela o mais rápido que puder. O estímulo aparece em forma de losango, no qual cada número (1 a 4) possui uma posição fixa, conforme a figura abaixo.

Assim, se na tela aparecer o número 1, o participante deverá pressionar a tecla 1 do teclado, e assim por diante. Seguido às instruções, é realizado o treino e após inicia-se o teste propriamente dito.

Segunda fase - One Back:

A tarefa é pressionar a tecla correspondente ao número que apareceu uma tela antes do número que o participante estiver vendo na tela naquele momento, sempre o mais rápido que puder.

Ex. Se na tela apareceu o número 4, mas na tela anterior apareceu o número 1, deve se pressionar a tecla 1 (Fig. 3)

Terceira Fase - Two Back

A tarefa é pressionar a tecla correspondente ao número que apareceu duas telas antes do número que o participante estiver vendo na tela, sempre o mais rápido que puder.

Ex. Se na tela apareceu o número 4, mas nas duas telas anteriores apareceram os números 3 e 1, deve se pressionar a tecla 1, conforme figura 3.

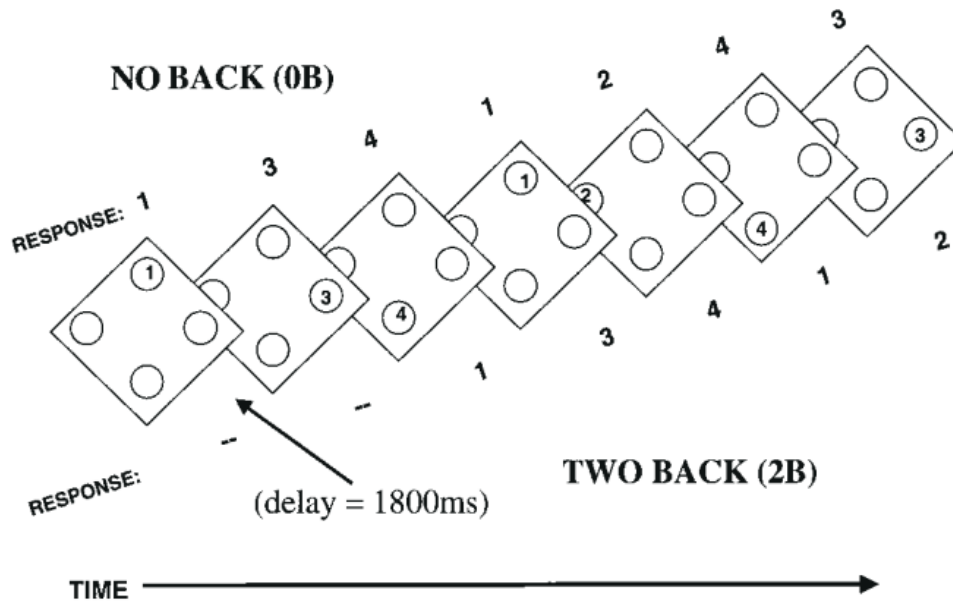


Fig. 3 Desenho mostrando como deve ser a resposta do voluntário na fase Two Back.

Cinco Dígitos

O objetivo do teste de Cinco dígitos é avaliar o controle inibitório e flexibilidade cognitiva, que são componentes das funções executivas (DIMOND, 2013). Ele é composto por 4 etapas: 1 Fase de leitura, 2 Contagem, 3 Inibição e 4 Flexibilidade cognitiva. As duas primeiras avaliam processos automáticos (controle atencional) e as 2 últimas avaliam processos controlados (relacionados as FEs). Todas as fases são precedidas de treino e são mensurados os tempos, e número de erros em cada etapa. Em todas as etapas o participante é instruído a executar a tarefa o mais rápido possível.

Etapa 1 Leitura: É solicitado ao voluntário que leio o número que está apresentado em cada retângulo conforme figura 4.

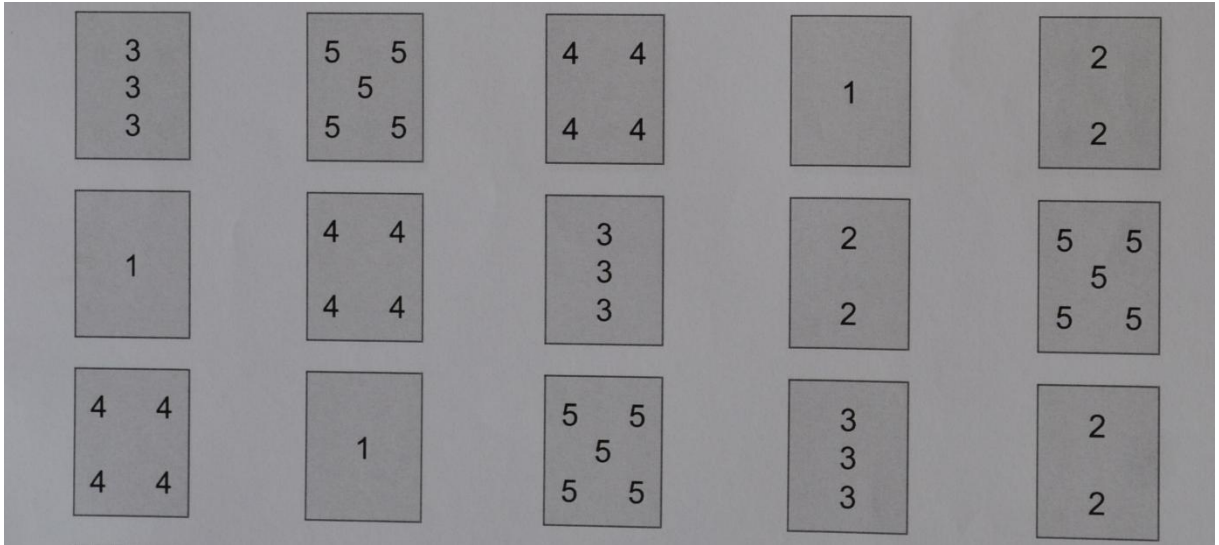


Fig.4 Foto da fase 1 (leitura) do Teste de Cinco Dígitos.

Etapa 2 Contagem: É solicitado ao participante que conte o número de asteriscos que aparece em cada retângulo, conforme figura 5.

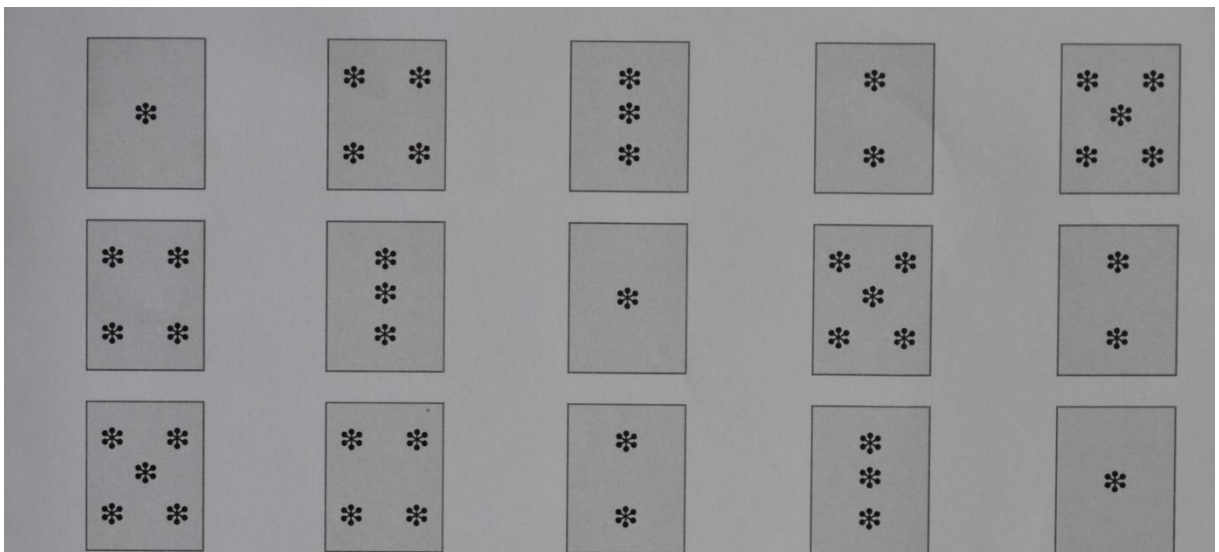


Fig.5 Foto da fase 2 (Contagem) do Teste de Cinco Dígitos.

Etapa 3 Inibição: É solicitado ao participante que ele conte quantos números existem em cada quadro, e não o número apresentado. Figura 6.

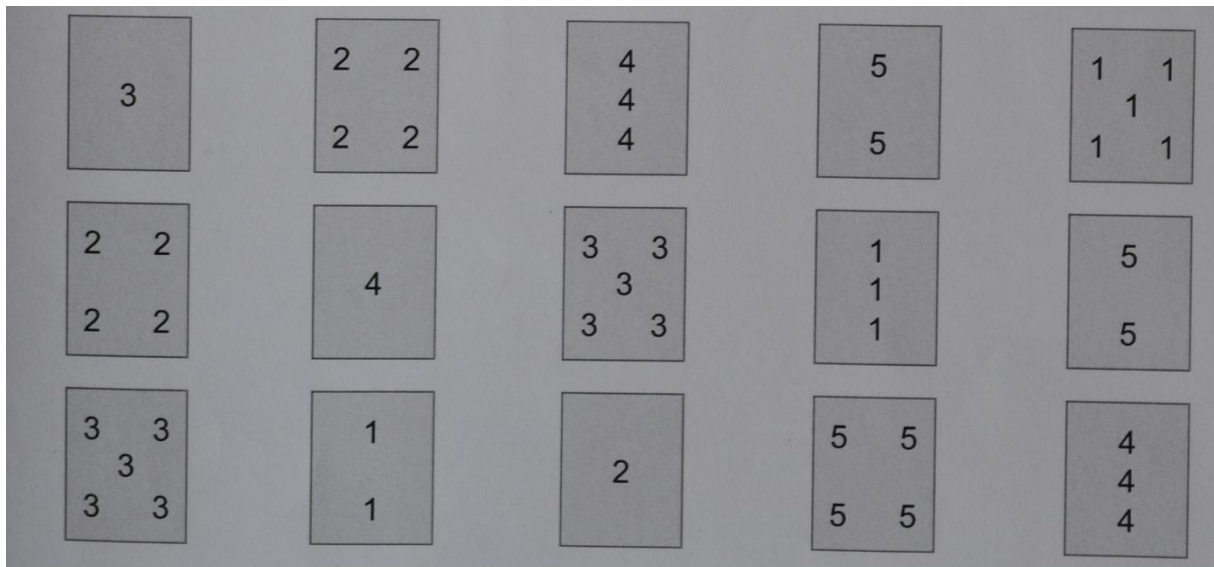


Fig.6 Foto da fase 3 (controle inibitório) do Teste de Cinco Dígitos.

Etapa 4 Flexibilidade: É solicitado ao participante a contar os números, como na etapa anterior, mas quando chegar a um quadro com a borda em negrito ele deverá ler o número presente ao invés de contar a quantidade números presentes (Figura 7).

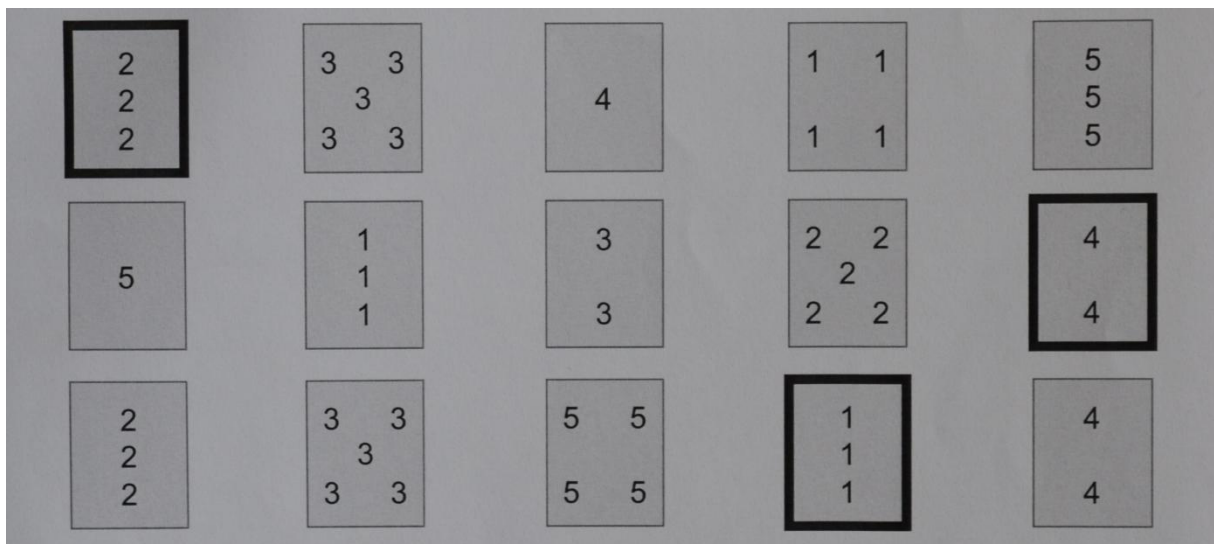


Fig.7 Foto da fase 4 (flexibilidade cognitiva) do Teste de Cinco Dígitos.

3.3.3 Questionários

Questionário de Prontidão Para a Atividade Física - PAR-Q

Este questionário é aplicado para evitar que portadores de patologias, especialmente cardiovasculares, sejam colocados em risco durante as atividades físicas no teste sobre esforço máximo (ANEXO I).

3.4 Análise Estatística

Os resultados serão expressos em média e desvio padrão. Foi realizada uma comparação do desempenho de acerto nos testes cognitivos e concentrações periféricas de BDNF entre os GN, GF e GC através de um teste uma ANOVA *Two-way* (2 x 3) entre os fatores tempo (pré e pós) e grupos (GF, GN e GC). Havendo diferenças, o teste *post-hoc* de Tukey foi utilizado. Para comparação entre grupos dos dados antropométricos, a ANOVA *one-way* foi utilizada. O nível de significância estatística adotado foi de 5% ($p < 0,05$). O software utilizado foi o SPSS Versão 20.

4 Resultados

Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Primeiramente serão apresentados os dados dos testes de 5 (cinco dígitos), em que foram avaliados os processos automáticos (controle atencional) e os processos controlados (relacionados às FEs).

Para as duas primeiras fases (leitura e contagem), onde se avalia processos automáticos, aspectos relacionados ao controle atencional, não houve erros nos três grupos avaliados. Então, os dados a seguir se referem apenas aos valores de tempo de resposta em segundos (seg.) para as duas tarefas pré e pós-exercício para os três grupos experimentais. Em seguida, serão apresentados os resultados do teste de N-Back, no qual é avaliada a memória operacional através do tempo de resposta em milissegundos (ms) e do número de acertos.

4.1 Cinco Dígitos:

Fase 1 Leitura

Na fase de leitura não houve interação entre grupo x tempo ($F= 0,261$ e $p=0,771$) e, conseqüentemente, não houve diferença significativa nos valores do tempo de resposta pré e pós-exercício entre grupos. As médias do tempo de resposta em segundos foram GN $17,64 \pm 3,05$ e $17,35 \pm 3,50$ para GN, para GF $15,79 \pm 2,19$ e $15,79 \pm 2,49$ e para o GC $18,50 \pm 3,16$ e $19,50 \pm 2,83$ pré e pós-exercício, respectivamente. Também não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos, nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 1).

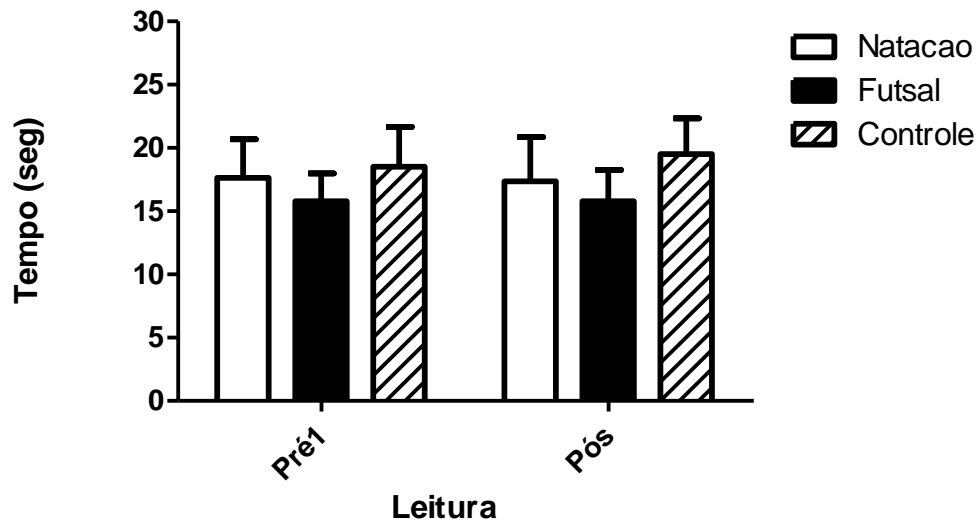


Gráfico 1: Tempo de resposta da fase 1 (leitura) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p < 0,05$.

Fase 2 Contagem.

Na fase de contagem não houve interação entre grupo x tempo ($F = 0,099$ e $p = 0,906$) e, conseqüentemente, não houve diferença significativa nos valores pré e pós- exercício para nenhum dos grupos no tempo de resposta. As médias do tempo de resposta em segundos foram para GN $22,00 \pm 3,37$ e $21,07 \pm 3,75$, para GF $19,57 \pm 1,87$ e $18,36 \pm 1,95$ e para o GC $22,88 \pm 2,03$ e $22,50 \pm 4,54$, pré e pós-exercício, respectivamente. (Gráfico 2).

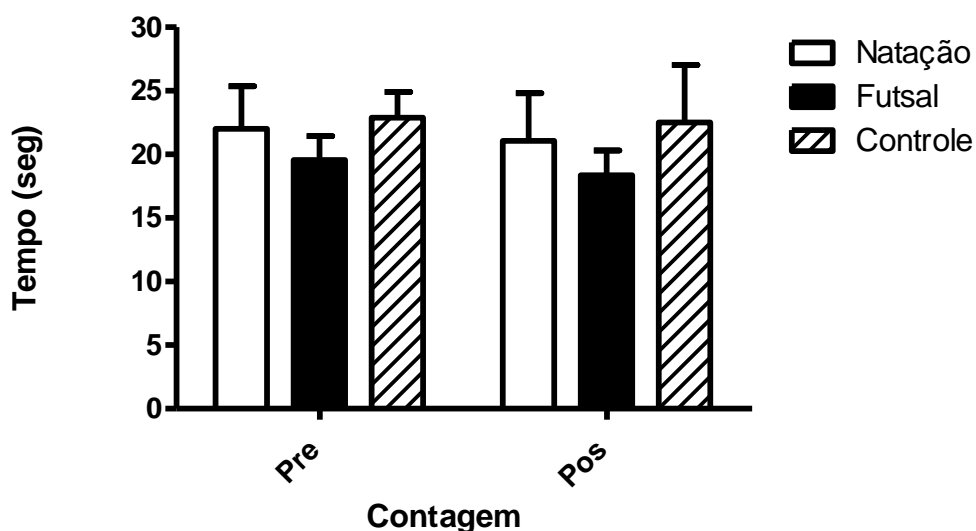


Gráfico 2: Tempo de resposta da fase 2 (contagem) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP. $p \leq 0,05$.

Fase 3 - Controle Inibitório

Na fase de controle inibitório não houve interação entre grupo x tempo ($F = 0,13$ e $p = 0,878$). No primeiro componente de FE avaliado, não foram observadas diferenças significativas entre os valores pré e pós-exercício para nenhum dos grupos no tempo de resposta. As médias do tempo de resposta em segundos foram para o GN pré ($34,07 \pm 8,96$) e pós ($27,93 \pm 6,16$). Para o GF pré ($30,29 \pm 3,43$) e pós ($25,50 \pm 2,56$), e para o GC pré ($35,50 \pm 4,66$) e pós ($30,88 \pm 6,13$). Ainda, não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 3).

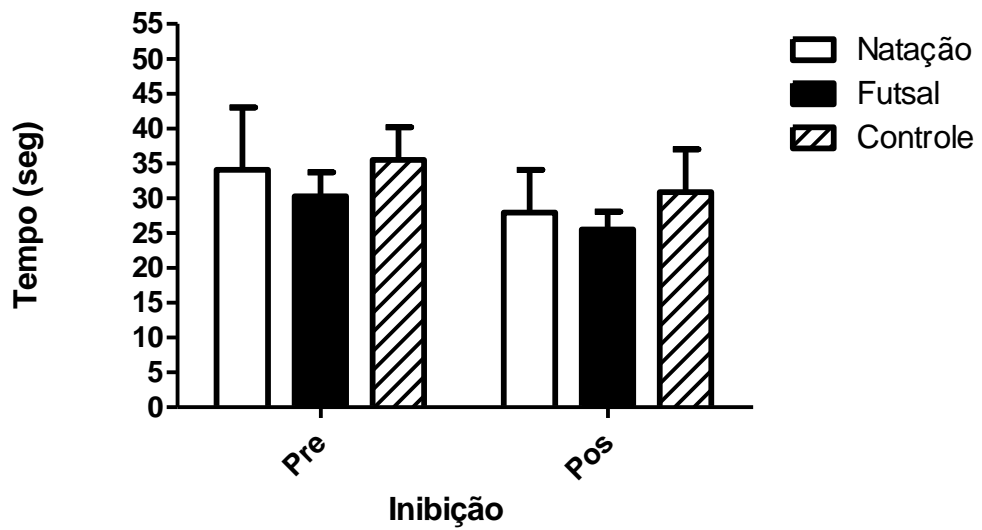


Gráfico 3: Tempo de resposta da fase 3 (inibição) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP. $p \leq 0,05$.

Ainda nesta fase, foi analisado o número de erros pré e pós-exercício para cada grupo. Os valores foram para o GN pré ($0,93 \pm 1,07$) e pós ($0,36 \pm 0,63$), para o GF pré ($0,36 \pm 0,84$) e pós ($0,21 \pm 0,43$) e para o GC pré ($0,63 \pm 0,74$) e pós ($0,63 \pm 0,92$). Para o número de erros não houve interação entre grupo x tempo ($F= 0,827$ e $p=0,442$). Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 4).

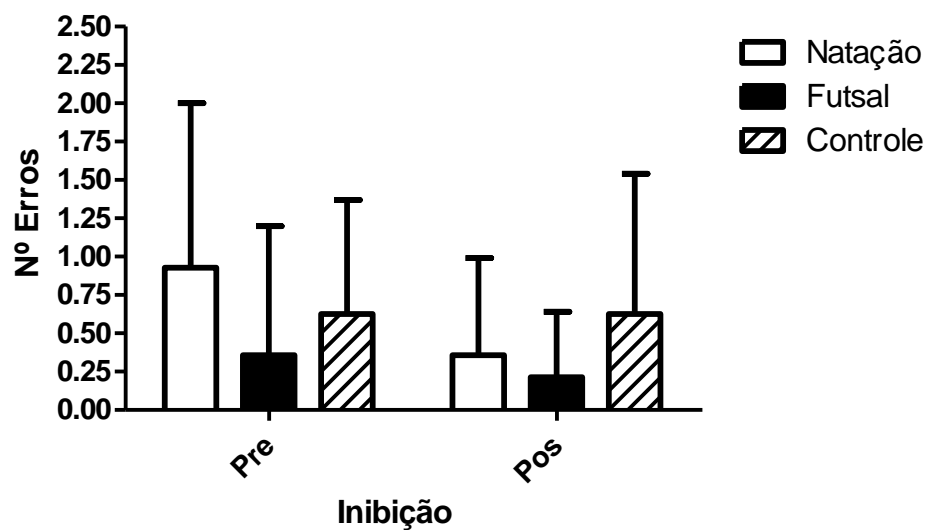


Gráfico 4: Número de erros da fase 3 (inibição) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Fase 4 – Flexibilidade

Na fase de flexibilidade não houve interação entre grupo x tempo ($F= 1,274$ e $p=0,286$). Assim, os resultados não apresentaram diferença significativa nos valores pré e pós-exercício para nenhum dos grupos no tempo de resposta. As médias do tempo de resposta em segundos foram: para GN ($39,36 \pm 8,63$) e ($36,29 \pm 7,88$), para GF ($36,36 \pm 4,20$) e ($29,57 \pm 4,07$) e para o GC ($45,88 \pm 7,49$) ($36,25 \pm 7,69$), pré e pós-exercício, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 5).

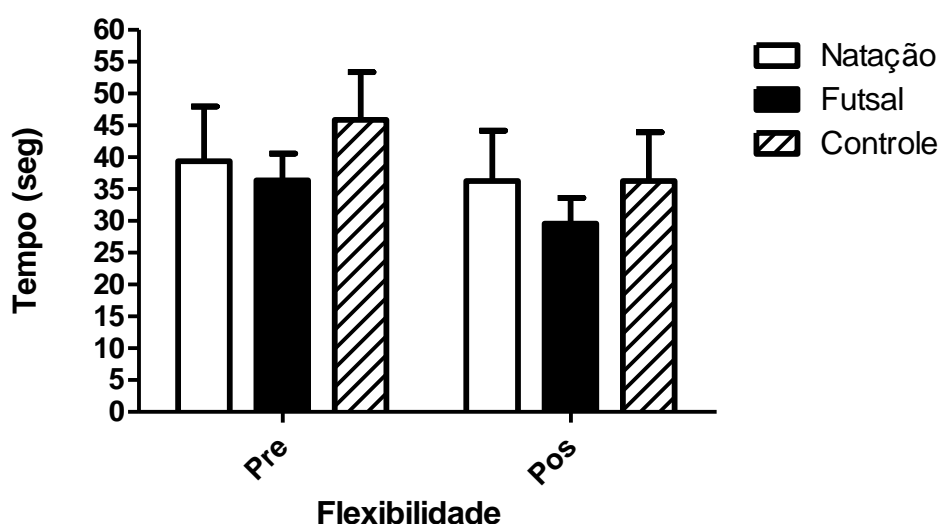


Gráfico 5: Tempo de resposta da fase 4 (flexibilidade) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Nesta fase 4 também foi analisado o número de erros pré e pós-exercício para cada grupo. Os valores obtidos foram: para o GN pré ($1,07 \pm 1,54$) e pós ($0,79 \pm 1,05$), para o GF pré ($0,50 \pm 0,85$) e pós ($0,36 \pm 0,84$) e para o GC pré ($2,50 \pm 1,85$) e pós ($1,13 \pm 0,99$). Na fase de flexibilidade não houve interação no número de erros entre grupo x tempo ($F= 0,099$ e $p=0,906$) Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 6).

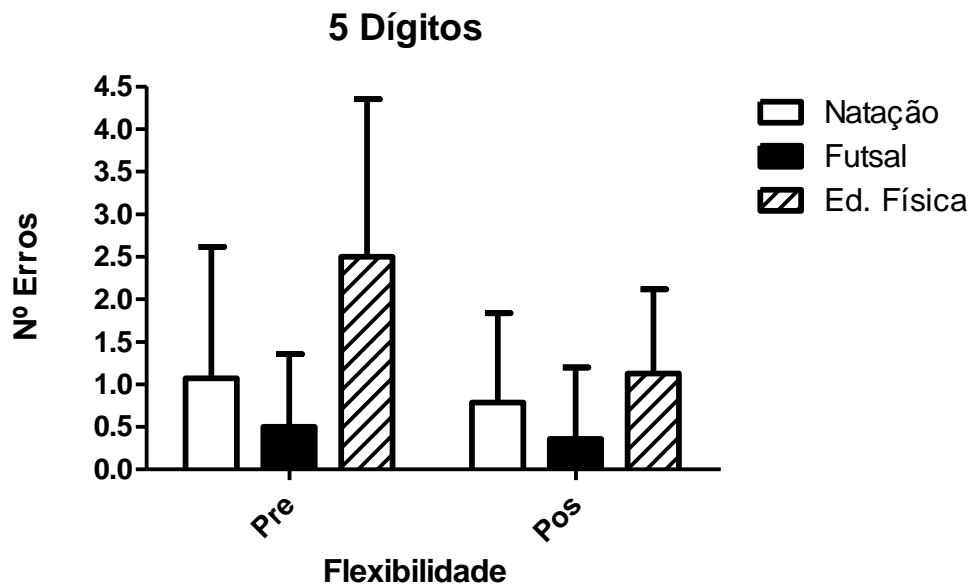


Gráfico 6: Número de erros da fase 4 (flexibilidade) do teste de cinco dígitos para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

4.2 N-Back

Fase 1 - 0Back

Na primeira fase do teste de memória operacional, o objetivo foi avaliar a velocidade de processamento automático e os resultados demonstram que não houve interação entre grupo x tempo ($F= 0,111$ e $p=0,896$). Assim, não houve diferença significativa nos valores pré e pós-exercício para nenhum dos grupos no tempo de resposta. As médias do tempo de resposta em segundos foram: para GN ($564,57 \pm 99,36$) e ($488,41 \pm 105,01$), para GF ($488,15 \pm 84,79$) e ($424,75 \pm 86,89$) e para o GC ($555,89 \pm 98,02$) e ($507,38 \pm 92,53$), pré e pós-exercício, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 7).

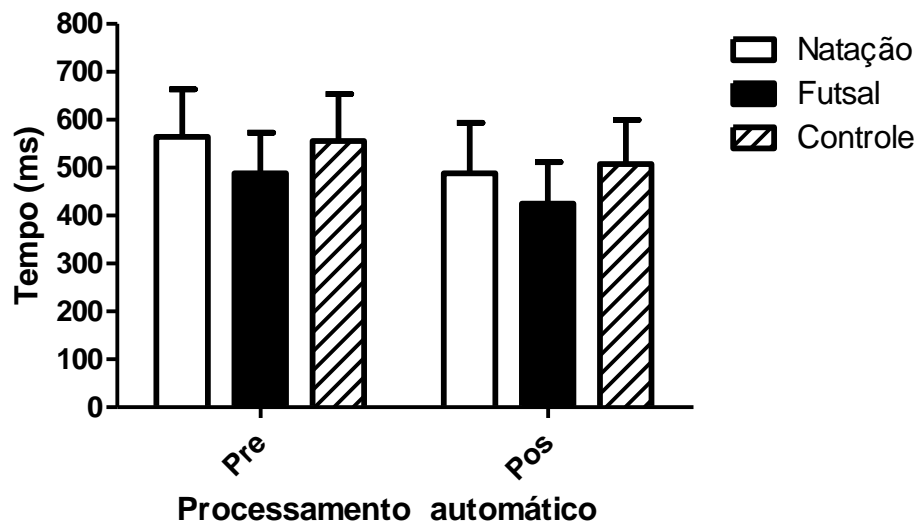


Gráfico 7: Tempo de resposta da fase de processamento automático do teste 0-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Quanto ao número de acertos nesta fase, não foram observadas diferenças significativas na interação entre grupo x tempo ($F = 1,243$ e $p = 0,295$). Os resultados foram: para GN ($76,29 \pm 4,75$) e ($72,14 \pm 5,39$), para o GF ($75,29 \pm 10,98$) e ($75,36 \pm 3,79$) e para o GC ($77,88 \pm 5,62$) e ($71,75 \pm 7,42$), pré e pós-exercício, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 8).

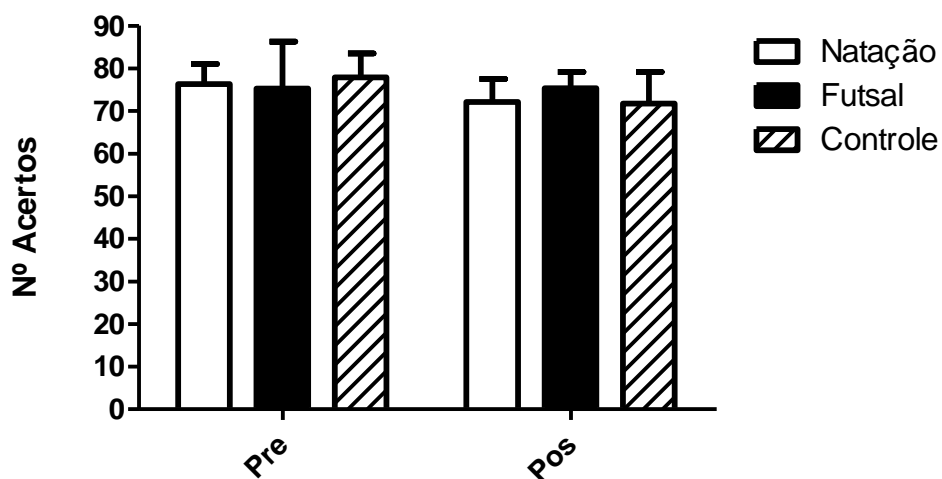


Gráfico 8: Número de acertos da fase processamento automático do teste de 0-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Fase 2 - 1Back

Os resultados dessa fase demonstram que não houve interação entre grupo x tempo ($F= 0,581$ e $p=0,562$). As médias do tempo de resposta em milissegundos foram: para GN ($388,61 \pm 222,65$) e ($318,24 \pm 140,63$), para GF ($288,95 \pm 102,66$) e ($265,76 \pm 59,11$) e para o GC ($466,51 \pm 248,98$) e ($339,74 \pm 89,85$) pré e pós-exercício, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 9).

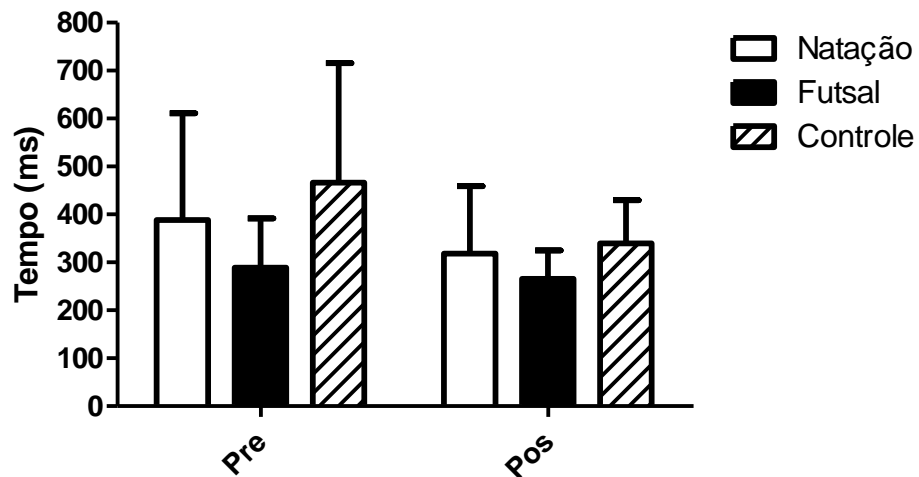


Gráfico 9: Tempo de resposta da fase de processamento controlado do teste 1-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Quanto ao número de acertos nesta fase, não foram observadas diferenças significativas na interação entre grupo x tempo ($F= 0,366$ e $p=0,695$). Os resultados foram: para GN ($67,86 \pm 18,80$) e ($55,43 \pm 17,00$), para o GF ($71,71 \pm 11,20$) e ($66,57 \pm 9,56$) e para o GC ($64,88 \pm 23,28$) e ($56,88 \pm 16,70$), pré e pós-exercício respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 10).

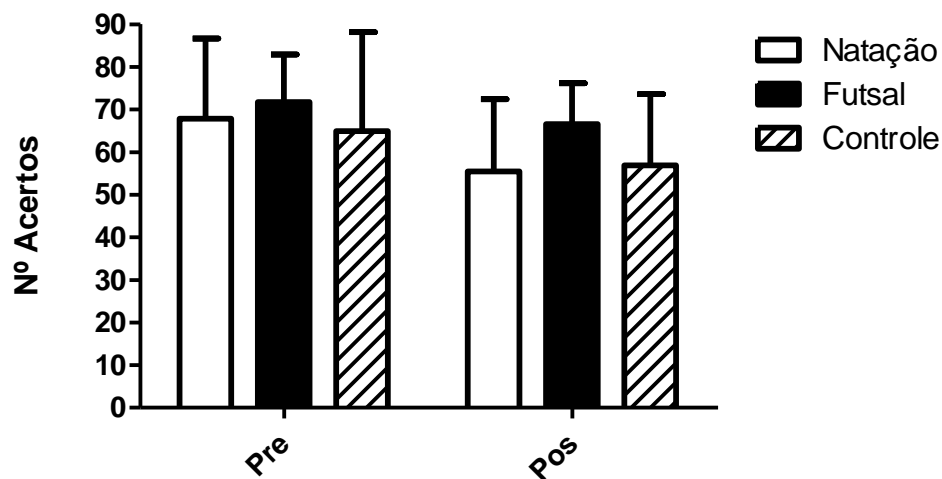


Gráfico 10: Número de acertos da fase processamento automático do teste de 1-Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós-exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Fase 3 - 2Back

Os resultados dessa fase demonstram que não houve interação entre grupo x tempo ($F = 0,155$ e $p = 0,857$). As médias do tempo de resposta em milissegundos foram: para GN ($349,46 \pm 156,77$) e ($401,09 \pm 24,16$), para GF ($329,65 \pm 82,39$) e ($399,13 \pm 26,43$) e para o GC ($387,57 \pm 108,19$) e ($427,75 \pm 27,62$), pré e pós-exercício, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 11).

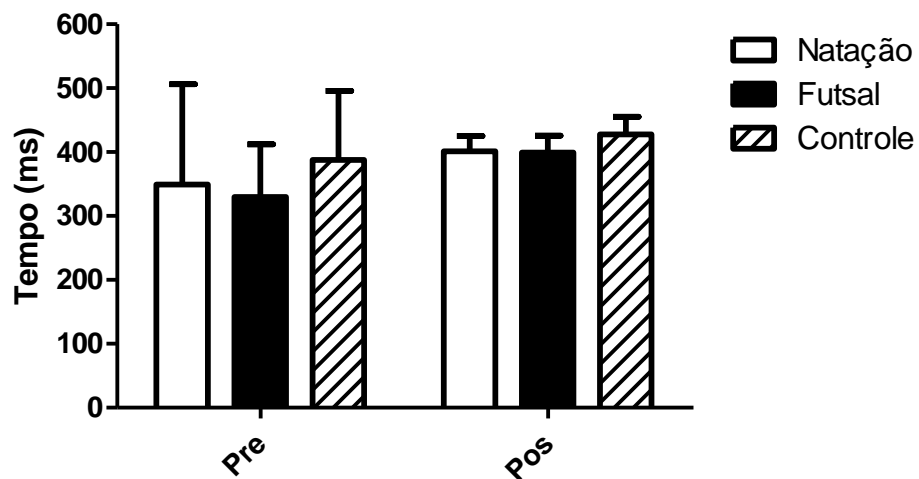


Gráfico 11: Tempo de resposta da fase de processamento controlado do teste 2Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Quanto ao número de acertos nesta fase não foram observadas interação entre grupo x tempo ($F = 1,864$ e $p = 0,163$). Os resultados foram: para GN ($59,86 \pm 20,82$) e ($68,79 \pm 4,28$), para o GF ($66,79 \pm 12,00$) e ($69,43 \pm 2,71$) e para o GC ($49,88 \pm 19,19$) e ($67,75 \pm 3,37$), pré e pós-exercício, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre grupos nas duas condições de tempo, pré e pós-exercício (Gráfico 12).

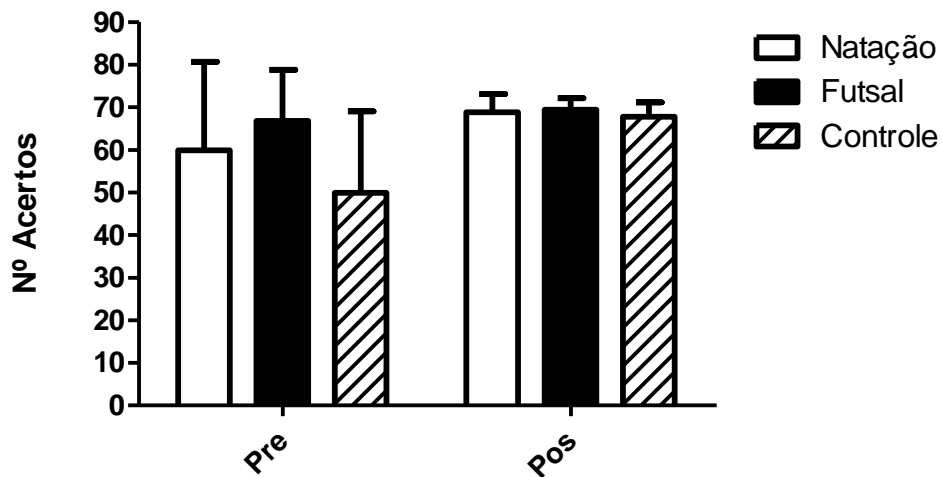


Gráfico 12: Número de acertos da fase processamento controlado do teste de 2Back para os grupos natação, futsal e controle nas condições pré e pós exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

Os resultados das concentrações de BDNF não demonstraram diferenças significativas na situação de repouso entre os GF ($139,7 \pm 38,25$), GN ($162,9 \pm 40,14$) e GC ($135,4 \pm 40,77$). Também não foi observada diferença significativa entre GF ($63,1 \pm 33,89$), GN ($85,7 \pm 38,49$) e GC ($49,0 \pm 26,06$) na situação pós-exercício. A única diferença entre grupos ocorreu no pós-exercício. O GC apresentou valores de concentrações de BDNF significativamente menores que o GN ($p=0,049$). As concentrações de BDNF pós-exercício foram significativamente menores que as concentrações em repouso ($F=54,852$ e $p < 0,001$).

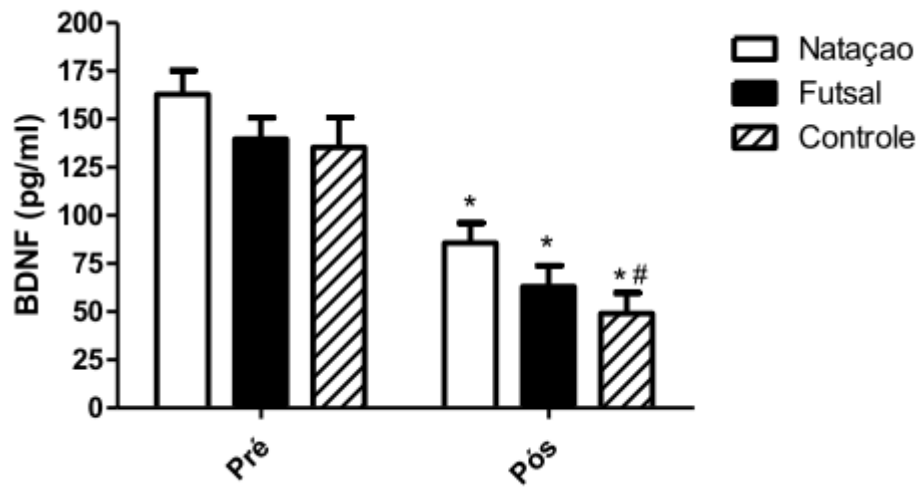


Gráfico 13: Concentrações de BDNF por grupo pré e pós-exercício. * Valores de concentrações de BDNF pós-exercício significativamente menores que o pré-exercício para cada grupo $p < 0,001$. # Diferença significativa GC em relação ao GN pós-exercício. Os dados estão expressos como média \pm DP $p \leq 0,05$.

5 Discussão

Estudos de revisão e meta-análises recentes (Guiney & Machado, 2013; Verburgh *et al.*, 2013) têm destacado a escassez de estudos que examinaram os efeitos da prática regular de exercício físico sobre as funções executivas de adolescentes. E dentro do que é conhecido até o presente momento, este parece ser o primeiro estudo a avaliar o desempenho em tarefas de FEs em adolescentes que praticam modalidades esportivas de alto rendimento, por mais de 2 anos consecutivos, com diferentes características motoras em sua prática. Assim, o principal resultado do presente estudo foi a ausência de diferenças significativas observadas no desempenho de tarefas que avaliam as funções executivas (FEs) entre os grupos de adolescentes que praticam diferentes modalidades esportivas (futsal e natação) em repouso e após exercício progressivo até a fadiga voluntária (Gráficos 1 a 12).

Exercício Crônico

Os resultados do presente estudo se assemelham ao que foi observado no trabalho de Huang *et al.*, (2014), realizado com idosos (idade média = $69,40 \pm 3,00$ anos). Os autores compararam o desempenho em controle inibitório de 3 grupos que praticavam exercícios físicos de características diferentes. Um grupo foi caracterizado por aqueles que praticavam habilidades denominadas de abertas (HA) (tênis de mesa, tênis e badminton), o outro praticava habilidades fechadas (HF) (natação e corrida) e o terceiro, que praticava exercícios de forma irregular (EI), não era constante. Os resultados não demonstraram diferenças significativas entre grupos HA e HF no tempo de reação e exatidão de acertos na tarefa de inibição (Eriksen Flanker). Entretanto, foi observado melhor desempenho nos grupos que se exercitavam regularmente, independente do tipo de habilidade, em relação ao grupo EI. A única diferença observada entre os grupos HA e os outros, foi que o HA apresentou amplitude menor da onda P300, avaliada por eletroencefalograma, na região do lobo frontal, em comparação com o lobo central, ao passo que não ocorreu diferenças nos outros grupos. Os autores pontuaram que a diferença de amplitude observada no grupo indica que o seu controle da função de inibição foi melhor do que a dos indivíduos do grupo HF e EI. Estes últimos podem necessitar de maior mobilização de áreas cerebrais para processar e executar a tarefa cognitiva em questão.

No entanto, as comparações do estudo atual com o de Huang e colaboradores são limitadas, principalmente pelas características da amostra. Vale ressaltar que a amostra do

presente estudo é composta por adolescentes, atletas de alto rendimento, que treinam em média 400 e 690 minutos por semana e que praticam a mesma modalidade há, em média, 8,6 e 9,1 anos para os GF e GN, respectivamente. No presente estudo não foi realizada análise de eletroencefalograma. Portanto, o fato de não se ter encontrado diferenças significativas entre os GF e GN em repouso e pós-exercício não permite afirmar que houve o mesmo “esforço” cognitivo para quem pratica modalidades esportivas distintas, embora não possuam diferenças significativas no nível de condicionamento aeróbico.

Outro destaque dado em outros estudos é que os indivíduos idosos são beneficiados cognitivamente pela atividade física, o que ainda não foi observado de forma consistente em jovens adultos e adolescentes (Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006). A possível falta de evidências de melhoras das funções executivas provocadas pelo exercício físico em jovens pode ser devido a uma ausência da queda das funções cognitivas, o que ocorreria em idosos em função do declínio cognitivo que ocorre com o envelhecimento (Salthouse & Hasker, 2006).

Os estudos de meta-análise Smith *et al.*, (2010) e Verburg *et al.*, (2013) demonstraram uma visão contraditória dos efeitos da atividade física sobre o funcionamento executivo em adultos e adolescentes, respectivamente. No primeiro estudo, foi observado que o treinamento físico aeróbio contribuiu para apenas melhorias modestas na função executiva ($d=0,123$) em outras palavras, esta não necessariamente é beneficiada pelo o aumento da aptidão cardiovascular. Na segunda meta-análise, não foi apontado qualquer efeito do exercício crônico sobre as FEs. Os resultados do presente estudo corroboram com os resultados de Verburg *et al.*, (2013), pois apesar do GN apresentar um $VO_2\text{max}$ maior ($41,8 \pm 4,46$ $\text{mlO}_2/\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$) em relação ao GC ($33,88 \pm 5,05$ $\text{mlO}_2/\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), não houve diferenças significativas no desempenho nas FEs de todos os parâmetros avaliados. No entanto, tal fato pode estar associado, em parte, ao número relativamente reduzido de voluntários do GC ($n=8$). O desempenho no teste de 5 (cinco) dígitos em sua fase de flexibilidade o GN obteve um desempenho, em valores absolutos, melhor que o GC. O GN apresentou média do tempo de resposta e número de erros menores ($39,36 \pm 8,63$ ms e $1,07 \pm 1,54$) comparado ao GC ($45,88 \pm 7,49$ ms e $2,50 \pm 1,85$) respectivamente. A mesma tendência parece ocorrer para o teste de 2Back, com percentual de acertos e tempos de respostas GN de (71,26% e $349,46 \pm 156,76$ ms) contra (59,37% e $387,56 \pm 108,19$ ms) do GC. Ou seja, para estas duas variáveis o tempo de resposta parece ser menor, e o desempenho, considerando os acertos, parece ser maior para o GN. Porém, esses dados não foram diferentes estatisticamente. Dessa forma, não

é possível excluir a possibilidade de que uma amostra maior possa ser capaz de detectar a diferença (se realmente houver).

No entanto, o presente estudo diverge do apontado na revisão de Tomporowski *et al.*, (2008), que indica um efeito benéfico do exercício crônico principalmente sobre alguns domínios de FEs. Esta contradição acontece provavelmente devido a outros fatores potenciais que podem moderar essa associação como a idade dos voluntários. Na mencionada revisão, os estudos envolviam idades entre 8 a 14 anos e no presente estudo de 14 a 16 anos. É possível que o período inicial do desenvolvimento maturacional do cérebro humano esteja mais suscetível a esses efeitos crônicos do exercício aeróbico sobre a cognição, pois em diversos estudos com crianças que apresentam maior capacidade aeróbica possuem maiores desempenhos em tarefas de controle inibitório (BUCK, HILLMAN, CASTELLI, 2008, CHADDOCK *et al.*, 2011, PONTIFEX *et al.*, 2011, CHADDOCK *et al.*, 2012).

Uma outra observação é que os resultados inconsistentes dos estudos sobre os efeitos do exercício físico crônico sobre as FEs em adolescentes possa ser interpretado que este possivelmente leva a um efeito positivo menor no funcionamento executivo em comparação com os efeitos do exercício físico agudo. Isto pode estar relacionado com o efeito demorado da adaptação de processos neurofisiológicos (angiogênese e neurogênese) em resposta ao exercício físico crônico. Já o exercício agudo, leva a um aumento do fluxo sanguíneo e níveis de ativação cerebral que podem ser benéficas para a cognição (VERBURG *et al.*, 2013). Os resultados discrepantes para o exercício físico crônico e agudo pode também estar relacionados com as diferenças no momento da avaliação da função executiva. Na maioria dos estudos sobre exercício físico agudo, a avaliação foi imediatamente após a intervenção, enquanto que a maioria dos estudos sobre exercício físico crônico não fornece detalhes sobre o momento da avaliação (VERBURG *et al.*, 2013).

Por fim, alguns estudos relatam a importância de se investigar a influência de diferentes tipos de exercício físico nas FEs (TOMPOROWISK *et al.*, 2008 e HUANG *et al.*, 2014). Outros estudos destacam a importância e a necessidade de estudar os efeitos crônicos do exercício físico nas populações em fase maturação cerebral (BUDDE *et al.*, 2008 e VERBURG *et al.*, 2013). O presente estudo procurou avaliar estas duas questões. Várias considerações devem ser analisadas ao se interpretar os resultados atuais. Em primeiro lugar, a amostra do presente estudo foi específica de atletas de rendimento participantes de competições em nível regional e que treinam sistematicamente de 4 a 5 vezes por semana. No

entanto, o tamanho amostral do estudo pode limitar a interpretação dos efeitos dos diferentes exercícios sobre as FEs. Mesmo que o projeto atual não permita comentários conclusivos sobre os efeitos dos tipos de exercícios sobre as FE, pesquisas futuras devem, conseqüentemente, considerar os tipos de exercícios físicos praticados pelos voluntários na interpretação de seus resultados e mais estudos envolvendo atletas são necessários.

Exercício Agudo

O presente estudo não encontrou diferenças significativas sobre o desempenho das FEs pós-exercício máximo em comparação à situação repouso em nenhum dos grupos de adolescentes atletas de alto rendimento de futsal e natação e nem no grupo controle. Atualmente, é comum a prática de modalidades esportivas por adolescentes de forma sistematizada, visando ao alto rendimento. Por diversas vezes, as competições e treinos levam os atletas ao seu esforço máximo, o que torna importante analisar os efeitos do exercício nessas condições sobre a cognição. Os poucos trabalhos que buscaram entender os efeitos do exercício agudo na cognição de adolescentes, avaliaram os efeitos de intensidades moderadas (BUDDE *et al.*, 2008 STROTH *et al.*, 2009) ou altas intensidades (COOPER *et al.*, 2012). O presente estudo buscou avaliar após exercício até a fadiga voluntária, por ser na maioria das vezes a realidade de seus treinamentos e competições no dia a dia, realizado por indivíduos que praticam diferentes tipos de esporte de alto rendimento. Além disso, nos estudos disponíveis na literatura não é apontado se os voluntários praticavam sistematicamente alguma atividade física, qual era o nível de condicionamento dos voluntários, nem o tipo de exercício físico praticado. Características quais foram controladas no presente estudo, pois esses fatores podem de certa forma influenciar o desempenho após exercício agudo (HUANG *et al.*, 2014).

Em se tratando da intensidade do exercício, o estudo que procurou avaliar o efeito agudo de 10 minutos exercícios aeróbicos intervalado em intensidades elevadas (10 repetições de 7x20m a 8km/h) nas FEs em adolescentes com média de 13,3 anos (COOPER *et al.*, 2012) observou uma melhora significativa sobre o tempo de resposta da memória de trabalho avaliado pelo testes Paradigma de Sternberg, mas não em outros parâmetros das FEs, como o controle inibitório. Isso corrobora em partes com o presente estudo, pois também não foram visualizadas melhoras do controle inibitório e nem da flexibilidade cognitiva. No entanto, o desempenho de memória trabalho, diverge do resultado apresentado por Cooper e colaboradores. Algumas questões devem ser consideradas ao realizar esta comparação: a

primeira diferença é relativa ao teste aplicado, que no estudo atual foi o N-Back. Este teste pode ter um grau de dificuldade maior, o que pode ter sido um fator para a ausência de melhora do desempenho pós-exercício. A segunda é que os exercícios físicos praticados foram diferentes, pois no atual foi utilizado um exercício progressivo máximo em cicloergômetro (FC final média de 189 bpm) e, em Cooper e colaboradores (2012), foi corrida de alta intensidade (FC média de 172 bpm).

A intensidade do exercício tem sido um aspecto considerado, quando analisados efeitos agudos do exercício físico, mas depende de uma interação com o intervalo de tempo entre o exercício e o momento aplicação dos testes (CHANG *et al.*, 2012). Segundo a meta-análise realizada por estes autores, quando o teste é realizado imediatamente após o exercício, intensidades leves a moderadas são mais benéficas para a função cognitiva, mas os efeitos diminuem rapidamente após o término da sessão. Contudo, em intensidades elevadas é necessário um tempo maior entre o término do exercício físico e o início da tarefa cognitiva para os efeitos do exercício ser maximizados. Esse outro fator pode ter implicado em não ter havido diferenças pós-exercício em relação ao repouso em cada grupo no estudo atual. No presente estudo, o tempo médio transcorrido após a interrupção do exercício foi em média 9,75 minutos, enquanto que o de Cooper e colaboradores foram 45 minutos, no qual os voluntários realizaram outras atividades antes de ser aplicado o teste pós-exercício. Assim, as tarefas executadas pelos participantes, não relatado, e o tempo transcorrido pós-exercício, até a aplicação dos testes cognitivos, são fatores a serem levados em consideração e que podem ter influenciado nas respostas da memória de trabalho no estudo de Cooper e colaboradores.

Outros parâmetros também têm sido utilizados para averiguar a relação entre exercício físico e cognição. Estudos com eletroencefalograma, usando potencial relacionado a eventos (ERP), mostram melhorias das FEs com o aumento da amplitude da onda P300, cerca de 25 minutos após o término do exercício em pré-adolescentes (HILLMAN *et al.*, 2009), o que indica que os benefícios agudos podem ocorrer se houver algum tempo transcorrido após o término da sessão. Estes resultados podem sugerir que as respostas fisiológicas ao exercício (por exemplo, a frequência cardíaca, o fator neurotrófico derivado do cérebro - BDNF) podem impactar no desempenho cognitivo. Em outras palavras, talvez intensidades menores de exercício resultem em condições neurofisiológicas mais favoráveis ao melhor desempenho cognitivo pós-exercício, mas, quando maiores intensidades de exercício são empregadas, seja necessário maior intervalo de tempo para os efeitos ocorrerem. Estes dados são apresentados pela meta-análise que constatou que testes cognitivos administrados 11-20 minutos após o

exercício, geralmente resultam em maiores efeitos (CHANG, LABBAN, GAPIN & ETNIER, 2012).

No presente estudo, a avaliação cognitiva após o término do teste progressivo foi em média de 9,14, 9,53 e 10,57 minutos para os grupos futsal, natação e controle respectivamente, pois o delineamento experimental não permitiu a espera de um tempo maior para aplicação dos testes cognitivos pós-exercício, o que pode justificar a ausência de diferenças em cada grupo. Assim, talvez o tempo decorrido entre o término do exercício até a fadiga e o início dos testes não tenham sido suficientes para se apreciar os efeitos benéficos na presente investigação.

O presente estudo corrobora em partes com uma recente revisão. Uma meta-análise revelou que são poucos os estudos controlados, realizados entre as idades de 5 a 20 anos (9 trabalhos de um total de 79 estudos revisados), que avaliaram o desempenho cognitivo durante, imediatamente após, e 20 minutos após o término da sessão aguda de exercício. Os autores apontam que há pequenas melhoras (tamanho do efeito $d=0,097$) e que esses efeitos são maiores para idosos e crianças em idade escolar em relação à população de adolescentes e adultos já que relacionaram estudos de todas as faixas etárias (CHANG *et al.*, 2012).

Outra recente meta-análise (VERBURG *et al.*, 2013) encontrou tamanho de efeito moderado ($d=0,53$) do exercício agudo sobre as FEs em adolescente. Porém, os autores se basearam em apenas 2 estudos, no qual um deles não encontrou diferenças significativas, após 20 min de exercício aeróbico a 60% da FC_{máx}, no controle inibitório (STROTH *et al.*, 2009). E o outro (BUDDE *et al.*, 2008) analisou os efeitos agudos sobre a atenção pré e pós-exercício de curta duração. O protocolo consistia de 10 minutos de exercício coordenativo (EC) comparado a 10 minutos de uma aula normal de educação física (AED). Os resultados mostram que houve uma melhora pós-exercício em relação ao pré-exercício para as duas formas em uma tarefa de atenção (teste D2). No entanto, o grupo que realizou EC obteve melhores desempenhos em relação ao grupo AED. Já o estudo de Pesce *et al.*, (2009), um terceiro estudo não considerado por Verburg e colaboradores em sua meta-análise, realizado com crianças de 11 e 12 anos buscou avaliar o desempenho de memória recente e tardia pré e pós-exercícios de longa duração e intensidades moderadas semelhantes, após jogos em equipes (basquete e futebol) e o outro um circuito aeróbico (CA). Novamente, o desempenho pós-exercício foi melhor que o pré-exercício nas duas situações. Porém, o grupo jogos em equipe obteve melhor desempenho de memória recente em comparação ao grupo circuito

aeróbico, o que pode apontar que as atividades agudas de diferentes características podem estar relacionadas a melhoras em parâmetros específicos da cognição. No entanto, os dois últimos estudos não avaliaram especificamente as FEs, como no estudo atual. Pode ser que as melhoras ocorram em outros aspectos da cognição e não especificamente nas FEs como ocorreu no presente estudo e também no estudo do Stroth e colaboradores (2009), justificando-se as diferenças encontradas. Outro aspecto é que essa melhora possa ocorrer ao se praticar atividades diferentes e que exijam recursos neurais para praticá-la, pois a melhora acusada no estudo que envolveu os EC e jogos em equipe pode estar relacionada a um aumento de demanda neural para executar a atividade coordenativa, o que não ocorreria na aula de educação física e nem na atividade cíclica aeróbica (corrida), pois seriam processos automatizados (BUDDE *et al.*, 2008). Como no presente estudo utilizamos uma ação que é cíclica (pedalar), esta pode não exigir recursos neurais adicionais em nenhum dos grupos e esse pode ser um fator para não haver efeitos benéficos provocados pelo exercício agudo (PESCE *et al.*, 2009). Talvez o benefício agudo para adolescentes possa estar no fato de se praticar uma ação que lhe exija algo diferente do que o indivíduo esteja habituado. Contudo, mais pesquisas nessa faixa etária são necessárias averiguando diferentes tipos de atividades agudas sobre as FEs para se elucidar essa possibilidade.

Além disso, a atividade no cérebro frontal também muda com a idade. A utilização de ressonância magnética funcional (fMRI) mostrou aumentos da atividade do córtex frontal e ínsula relacionados com a idade durante uma tarefa de controle inibitório em participantes com idades entre 8 a 20 anos (TAMM, MENON, REISS, 2002). Dado que o córtex pré-frontal desempenha um papel importante na função executiva, estas mudanças no desenvolvimento do cérebro podem explicar os efeitos do exercício sobre o controle inibitório de pré-adolescentes a adultos jovens. Essas inconsistências nos resultados envolvendo adolescente podem estar associadas a uma fase de transição de maturação do cérebro da fase pré-adolescência até a idade adulta jovem, o que pode ser refletido no efeito do exercício de intensidade máxima na função executiva. No entanto, mais pesquisas precisam abranger uma faixa etária ao longo do desenvolvimento maturacional, entre 11 a 20 anos, no mesmo protocolo experimental (SOGA, SHISHIDO e NAGATOMI, 2015).

BDNF

O BDNF desempenha papéis importantes em neurônios ao promover a plasticidade e retardar a morte celular, induzir regeneração, e estimular a sobrevivência de células neuronais (KANAEPEN *et al.*, 2010).

O presente estudo não apresentou diferença significativa nas concentrações séricas de BDNF periférico entre os diferentes grupos nas situações repouso. O que era de se esperar entre o GN e o GF, pois o nível de condicionamento dos dois grupos não tiveram diferenças significativas. No entanto, apesar do GN ter apresentado maior capacidade aeróbica ($> VO_2max$) em relação ao GC, não foi observada diferença significativa nas concentrações de BDNF em repouso. Este dado diverge de vários estudos que indicam que indivíduos adultos e com maior capacidade aeróbica possuem menores concentrações de BDNF em repouso (CHAN *et al.*, 2008, NOFUJI *et al.*, 2008, CURRIE *et al.*, 2009, JUNG *et al.*, 2011), ou que atletas possuem maiores concentrações plasmáticas de BDNF em relação ao grupo de adultos sedentários (ZOLADZ *et al.*, 2008). Contudo, o presente estudo corrobora com o estudo de Floel *et al.*, (2010) e Winker *et al.*, (2010) que não encontraram diferenças das concentrações de BDNF em repouso em idosos ativos e inativos. Apesar dos dados divergirem da maioria dos estudos presentes da literatura, alguns pontos em relação ao delineamento experimental devem ser levados em consideração. O primeiro é a amostra ser composta por adolescentes. Todos os estudos ou foram realizados com idosos (FLOEL *et al.*, 2010 WINKER *et al.*, 2010) ou realizados com adultos (CHAN *et al.*, 2008, NOFUJI *et al.*, 2008, CURRIE *et al.*, 2009, JUNG *et al.*, 2010). O estudo realizado com adolescentes dentro de nosso conhecimento até o presente momento foi o de Lee *et al.*, (2013) no qual observou-se que os indivíduos mais ativos fisicamente possuíam menores valores de BDNF de repouso em relação aos menos ativos. No entanto, Lee e colaboradores não estimaram o nível de condicionamento de seus voluntários. O segundo ponto é que, possivelmente, as diferenças das características do grupo amostral (atletas de alto rendimento) contra indivíduos ativos fisicamente, mas que não participam de competições possa ter influenciado nessas respostas, ainda mais por se tratarem de atletas que treinam com um grande volume semanal e em alta intensidade (com frequência de 4 a 5 vezes por semana). Porém, mais estudos com atletas de alto rendimento devem ser realizados.

Não está claro o motivo pelo qual observa-se menores níveis de repouso de BDNF no soro de pessoas mais ativas e de maior capacidade aeróbica. E isto também parece não ser um

consenso (KANAEPEN *et al.*, 2010, CORREIA *et al.*, 2011). Alguns fatores têm sido explorados na tentativa de se explicar tal fato, como a possibilidade de que mudanças no controle fisiológico podem alterar a função das plaquetas na mobilização de BDNF em resposta ao exercício regular. Outra possibilidade seria que a redução dos níveis de BDNF sérico em indivíduos fisicamente mais ativos poderia refletir um mecanismo de absorção mais eficiente de BDNF no sistema nervoso central, promovendo, assim, melhoras na saúde neural. No entanto, ainda faltam evidências experimentais para apoiar esta especulação (CURRIE *et al.*, 2009).

Em termos de exercício agudo, no presente estudo observou-se uma diminuição das concentrações de BDNF pós-exercício em relação ao repouso para todos os grupos, o que diverge do observado em vários outros trabalhos (FERRIS *et al.*, 2007, WINTER *et al.*, 2007, RASMUSSEN *et al.*, 2009 e GRIFFIN *et al.*, 2011). No entanto, todas as investigações onde esta variável foi comparada entre repouso e pós-exercício foram realizadas com adultos com idades entre 20 e 40 anos, o que torna essa comparação difícil. Além disso, selecionamos um público de adolescentes com características muito específicas, atletas de alto rendimento, e que foram avaliadas em situação de exercício progressivo máximo, ou seja, fatores ainda não estudados.

Pode-se tentar especular algumas hipóteses sobre os possíveis motivos para as reduções das concentrações de BDNF pós-exercício máximo, o que não foi encontrado na literatura até então. Primeiro, a faixa etária dos voluntários da amostra. São adolescentes em um período no qual ocorre uma maturação cerebral (TAMM *et al.*, 2002). Esses autores demonstraram que a capacidade do controle inibitório aumenta com o aumento da idade e que ocorrem maiores ativações em várias regiões do córtex pré-frontal nos mais novos em relação aos mais velhos avaliados por fMRI. A hipótese que se pode levantar é que, como a síntese de BDNF se dá em sua maior parte no cérebro, (RASMUSSEN *et al.*, 2009) em indivíduos em fase de maturação, essa síntese poderia não ser tão eficiente ou ser influenciada no exercício agudo máximo, o que somado ao aumento da permeabilidade da barreira hemato-encefálica que ocorre no exercício agudo (BAILEY *et al.*, 2011 e GOEKINT *et al.*, 2011), o BDNF periférico presente na circulação, que antecede ao exercício, ultrapassaria a barreira e assim teríamos menores valores pós exercício. Ressalta-se aqui que esse achado é único, pois até o presente momento não se viu relatos na literatura utilizando-se exercício agudo máximo em adolescentes e muito menos atletas. No entanto, trata-se aqui, de uma hipótese especulativa, que necessita de mais investigações para ser confirmado.

Outras evidências indicam que o comportamento dos níveis basais de BDNF em adolescentes pode ser diferente dos adultos, mostrando uma diferença na síntese de BDNF que ocorre em sua maior parte, até três quartos, no cérebro (RASMUSSEN *et al.*, 2009). A maior parte dos estudos demonstra que os adultos e idosos com maior capacidade aeróbica ou que são mais ativos fisicamente apresentam menores valores de concentrações de BDNF em repouso em relação aos menos condicionados e menos ativos (CHAN *et al.*, 2008, NOFUJI *et al.*, 2008, CURRIE *et al.*, 2009, JUNG *et al.*, 2011). No entanto, este comportamento parece ser diferente em adolescentes. Recentes estudos demonstram que o treinamento aeróbico promove aumentos das concentrações de BDNF em repouso, em relação ao período antes do treinamento (PAREJA-GALEANO *et al.*, 2013, JEON & HÁ, 2015) e o estudo atual apresentou valores absolutos de BDNF em repouso maiores no GN ($160,51 \pm 40,14$ pg/ml), que possui maior capacidade aeróbica em relação ao GC ($135,47 \pm 40,77$ pg/ml), embora essa diferença não seja significativa, possivelmente devido ao pequeno número de voluntários do grupo controle.

Assim, percebe-se uma diferença no comportamento dos níveis de BDNF em reposta ao treinamento aeróbico de adultos em relação à fase da adolescência, mas os motivos dessa diferenças ainda precisam ser elucidados.

Sugestões

No presente estudo optou por analisar fatores fisiológicos relacionados ao exercício. No entanto sugerimos utilizarem também eletroencefalograma e ressonância magnética funcional para rastrear alterações cerebrais durante os testes cognitivos. Como vários estudos anteriores têm demonstrado que o exercício e a melhora da aptidão pode aumentar o fluxo sanguíneo cerebral e alterar o nível de oxigênio no sangue, os padrões de resposta dependentes de tarefas cognitivas podem estar relacionado às melhoras da saúde estrutural do cérebro.

Em função do delineamento experimental exigir critérios de inclusão e exclusão rígidos, houve uma dificuldade de se conseguir voluntários em uma mesma faixa etária, atletas de rendimento e um grupo controle não atletas em mesmo número. Assim sugerimos que o n amostral do grupo controle seja pelo menos os mesmo em estudos futuros. Talvez esse possa ser um motivo para que atualmente se tenha poucos estudos na área envolvendo exercício e cognição em adolescentes.

6 Conclusão

Não há diferenças significativas no desempenho cognitivo em adolescentes praticantes de modalidades esportivas, individuais e coletivas, em repouso e após-exercício de intensidade progressiva até a fadiga.

Não há significativas nas concentrações séricas de BDNF em repouso e pós-exercício entre os indivíduos praticantes de diferentes modalidades esportivas.

O exercício físico agudo máximo reduz os níveis séricos de BDNF pós-exercício em comparação ao repouso em adolescentes, mas os mecanismos dessa redução ainda precisam ser investigados.

Referências

ACSM - American College of Sports and Medicine. *Diretrizes do ACSM para os teste esforço e sua prescrição*. 8 ed. Tradução: Giuseppe Taranto. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

ALVES, C. R. R., GUALANO, B., TAKAO P. P., AVAKIAN, P., Fernandes, R. M., MORINE, D. and TAKITO, M. Y. Effects of Acute Physical Exercise on Executive Functions: A Comparison Between Aerobic and Strength Exercise. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 34, 539-549, 2012.

AUDIFFREN, M. Acute exercise and psychological functions: A cognitive-energetic approach. In T. McMorris, P. D. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp.3–39), 2009.

BAILEY, D. M., EVANS, K. A. , MCENENY, J. YOUNG, I. S. HULLIN, D. A. JAMES, P. E. OGOH, S. AINSLIE, P. N. LUCCHESI, C. 2 , ROCKENBAUER, A. CULCASI, M. and PIETRI, S. Exercise-induced oxidative–nitrosative stress is associated with impaired dynamic cerebral autoregulation and blood–brain barrier leakage. *Experimental Physiology*.96, 11, 1196-1207, 2011.

BALKE, B., WARE, R. W. An experimental study of physical fitness of air force personnel. *United States Armed Forces Medical Journal*, v. 6, n. 10, p. 675- 688, 1959.

BEST, J. R., MILLER P.H. e JONES L. L. Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*. 29, 180-200, 2009.

BEST, J. R. Exergaming Immediately Enhances Children’s Executive Function *Developmental Psychology*, Vol. 48, No. 5, 1501–1510, 2012;

BORG, G.A.V. Psychological bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. v.14, n. 5, p. 377-381, 1982.

BUCK, S. M., HILLMAN, C. H., & CASTELLI, D. M. Aerobic fitness influences on Stroop task performance in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 166– 72, 2008.

BUDDE H., VOELCKER C., PIETRABYK-KENDZIORRA S., RIBEIROC P., TIDOW G. Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters* 441, 219–223, 2008.

CALLICOTT, J. H., MATTAY, V. S., BERTOLINO, A., FINN, K. COPPOLA, R., FRANK, J. A., GOLBERG, T. E., WEINBERG, D.R., Physiological characteristics of capacity constraints in working memory as revealed by functional MRI. *Cerebral Cortex* 20-26, 1999.

CASTELLI, D.M., HILLMAN, C.H., BUCK, S.M., ERWIN, H.E. Physical fitness and academic achievement in third- and fifth-grade students. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 29, 239–252, 2007.

CHADDOCK L., HILLMAN C. H., PONTIFEX M. B., JOHNSON C. R., RAINE L. B. & KRAMER A. F. Childhood aerobic fitness predicts cognitive performance one year later *Journal of Sports Sciences*. V. 30, Issue 5, 2012.

CHADDOCK, L., HILLMAN, C. H., BUCK, S. M., & COHEN, N. J. Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 344–349, 2011.

CHANG, Y.K. LABBAN, J.D. GAPIN, J.I. ETNIER, J.L. The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87 – 101, 2012.

CHAN KL, TONG KY, YIP SP. Relationship of serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and health-related lifestyle in healthy human subjects. *Neuroscience Letters*. 447: 124–128, 2008.

CHO HC, KIM J, KIM S, SON YH, LEE N, Jung SH. The concentrations of serum, plasma and platelet BDNF are all increased by treadmill VO(2max) performance in healthy college men. *Neuroscience Letters*. 519: 78–83, 2012.

COE, D. P., PIVARNIK, J. M., WOMACK, C. J., REEVES, M. J., e MALINA, R. M..Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1515–1519, 2006.

COOPER, S. B. BANDELOW, S. NUTE, M. L. MORRIS, J. G. NEVILL, M.E. The effects of a mid-morning bout of exercise on adolescents' cognitive function. *Mental Health and Physical Activity*, 5, 183- 190, 2012.

CORREIA PR, SCORZA FA, GOMES da Silva S, PANSANI A, TOSCANO-SILVA M, de Almeida AC, Arida RM. Increased basal plasma brain-derived neurotrophic factor levels in sprint runners. *Neuroscience Bull*. 27: 325–329, 2011.

COTMAN C. W. and ENGESSER-Cesar, C. Exercise Enhances and Protects Brain Function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, Vol. 30, No. 2, pp. 75–79, 2002.

CURRIE J, RAMSBOTTOM R, LUDLOW H, NEVILL A, GILDER M. Cardio-respiratory fitness, habitual physical activity and serum brain derived neurotrophic factor (BDNF) in men and women. *Neuroscience Letters*. 451: 152–155, 2009.

DIAMOND, A. Effects of Physical Exercise on Executive Functions: Going beyond Simply Moving to Moving with Thought. *Annals of Sports Medicine and Research* 2(1): 1011, 2015;

DIAMOND, A, Executive Functions, *Annual Review of Psychology*, V.64 135-168, 2013.

DAVIS, C.L., TOMPOROWSKI, P.D., BOYLE, C.A., WALLER, J. L., MILLER P. H., NAGLIERI, J. A. e GREGOSKI, M. Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning: a randomized controlled trial. *Research Quarterly of Exercise and Sport*. V 78, 510–519, 2007.

DENCKER M, ANDERSEN LB. Accelerometer-measured daily physical activity related to aerobic fitness in children and adolescents. *Journal of sports sciences*. 29: 887–895, 2011.

DONNELLY, J. e LAMBOURNE, K. Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Preventive Medicine*. 52, S36–S42, 2011.

ERICKSON, K.I., VOSS, M.W., PRAKASH R.S., BASAK C., SZABO, A., CHADDOCK, L., KIM, J.S. HEO, S. ALVES, H., WHITE, S.M., WOJCICKI, T.R., MAILEY, E., VIEIRA, V.J., MARTIN, S.A., PENCE, B.D., WOODS, J.A., MCAULEY, E., KRAMER, A.F. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*.108: 3017–3022, 2011.

ETNIER, J. L., NOWELL, P. M. Landers, D. M., Sibley, B. A., A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance *Brain Research Reviews*, Volume 52, Issue 1., Pages 119–130, 2006.

FABEL, K., TAM, B., KAUFER, D., BAIKER, A., SIMMONS, N., KUO. C., e Palmer, T. VEGF is necessary for exercise-induced adult hippocampal neurogenesis. *Europe. Journal. Neurosci*. 18, 2803-2812, 2003.

FERRIS LT, WILLIAMS JS, SHEN CL. The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine Science Sports Exercise*. 39: 728–734, 2007.

FISHER A, BOYLE J, PATON J, TOMPOROWSKI P., WATSON C., MCCOLL J. H., REILLY J. J. Effects of a physical education intervention on cognitive function in young children: randomized controlled pilot study. *Biomedcentral Pediatrics*.11:97, 2011.

FLOEL A, RUSCHEWEYH R, KRUGER K, WILLEMER C, WINTER B, VOLKER K, LOHMANN H, ZITZMANN M, MOOREN F, BREITENSTEIN C, KNECHT S. Physical activity and memory functions: are neurotrophins and cerebral gray matter volume the missing link? *Neuroimage*. 49: 2756–2763, 2010.

GAUDINO EA, GEISLER MW, SQUIRES NK. Construct validity in the Trail Making Test: what makes Part B harder? *J Clin Exp Neuropsychol*. 17(4):529-535, 1995.

GOLDBERG, T. E., EGAN, M. F., GSCHIEDLE, T. COPPOLA, R., WEICKERT, T., KOLACHANA, B. S., GOLDMAN, D., WEINBERGER, D. R., Executive Subprocesses in Working Memory Relationship to Catechol-O-methyltransferase Val158Met Genotype and Schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry*. 60(9):889-896, 2003.

Goekint, M. Roelands, B. Elsa Heyman, E. Njemini, R. Meeusen, R. Influence of citalopram and environmental temperature on exercise-induced changes in BDNF. *Neuroscience Letters*. 494, 150–154, 2011.

GOEKINT M, De PAUW K, ROELANDS B, NJEMINI R, BAUTMANS I, Mets T, MEEUSEN R. Strength training does not influence serum brain-derived neurotrophic factor. *Eur J Appl Physiol*, 110, 285–293, 2010.

GOEKINT M, HEYMAN E, ROELANDS B, NJEMINI R, BAUTMANS I, METS T, MEEUSEN R. No influence of noradrenaline manipulation on acute exercise-induced increase of brain-derived neurotrophic factor. *Medicine Science Sports Exercise*, vol 40, n11 1990–1996, 2008.

GRIFFIN EW, MULLALLY S, Foley C, WARMINGTON SA, O’MARA SM, KELLY AM. Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology and Behavior*. 104, 934–941, 2011.

GUINEY, H. e MACHADO, L. Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20:73 – 86, 2013;

HILLMAN CH, BUCK SM, THEMANSO JR, PONTIFEX MB, CASTELLI DM. Aerobic Fitness and Cognitive Development: Event-Related Brain Potential and Task Performance Indices of Executive Control in Preadolescent Children. *Developmental Psychology*, 2009.

HILLMAN, C. H., CASTELLI, D. M. and BUCK, S. M.. Aerobic Fitness and Neurocognitive Function in Healthy Preadolescent Children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 37. No. 11, pp. 1967–1974, 2005.

HILLMAN, C., PONTIFEX, M., RAINE, L., CASTELLI, D., Hall, E., Kramer, A. The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*. 159, 1044–1045, 2009a.

HUANG, C. L. P.C. HUNG C. CHANG, Yu-Kai HUNG, Tsung-Min. Type of physical exercise and inhibitory function in older adults: An event-related potential study. *Psychology of Sport and Exercise*. 15, 205-211, 2014

HUANG, T., LARSEN, K. T., RIED-LARSEN, M., MØLLER, N. C., Andersen, L.B. The effects of physical activity and exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: A review. *Scandinavian Journal Medicine and Science in Sports*, 2013.

JEON, Y. K. HA, C. H. Expression of brain-derived neurotrophic factor, IGF-1 and cortisol elicited by regular aerobic exercise in adolescents. *Journal of Physical Therapy Science* 27: 737–741, 2015.

JUNG SH, KIM J, DAVIS JM, BLAIR SN, CHO HC. Association among basal serum BDNF, cardiorespiratory fitness and cardiovascular disease risk factors in untrained healthy Korean men. *European Journal of Applied Physiology*. 111: 303–311, 2011.

KANAEPEN K. GOEKINT, M. HEYMAN, E. M. MEEUSEN, R. Neuroplasticity – Exercise induced response of peripheral Brain Derived Neurotrophic Factor. A systematic review os experimental studies in human subjects. *Sports Medicine*, 40 (9), 765-801, 2010.

KERSCHENSTEINER B. M., GALLMEIER E., BEHRENS L., LEAL V. V., MISGELD T., KLINKERT W. E.F., KOLBECK R., HOPPE E., WEKERLE Rosa-Laura O., BARTKE I., STADELMANN C., LASSMANN H., WEKERLE H. and HOHLFELD R. Activated Human T Cells, B Cells, and Monocytes Produce Brain-derived Neurotrophic Factor In Vitro and in Inflammatory Brain Lesions: A Neuroprotective Role of Inflammation? *Journal. Exp. Medicine*. Volume 189, Number 5, March 1, 865–870, 1999.

KNAPP, KATIE, Msc Morton J. B., PhD Desenvolvimento do Cérebro e Funcionamento Executivo *Western University, CANADÁ sobre o Desenvolvimento na Primeira Infância [online]*. 2013 Consultado 19/04/2013.

LABELLE, V. BOSQUET, L. MEKARY S. BHERER L. Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain and Cognition*. 81, 10–17, 2013.

LAMBOURNE, K. e TOMPOROWSKI, P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis Review. *Brain Research*. 1341, 12-24, 2010.

LEßMANN, VOLKMAR e BRIGADSKI, Tanja. Mechanisms, locations, and kinetics of synaptic BDNF secretion: An update. *Neuroscience Research*. 65, 11–22, 2009.

LEE, T. M.C. WONG, M. L. LAU, B. WUI-MAN, LEE, J. CHIA-DI, YAU, SUK-Yu, So, KWOK-Fai. Aerobic exercise interacts with neurotrophic factors to predict cognitive functioning in adolescents. *Psychoneuroendocrinology*, 2013.

LUNA B, GARVER KR, Urban TA, Lazar, NA, Sweeney JA. Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*. 75(5):1357-1372, 2004.

MALLOY-DINIZ, L.F., FUENTES, D., SEDÓ, M. & LEITE, W.B. (2008). Funções Executivas. In: Fuentes, D., Malloy-Diniz, L., Camargo, C., Cosenza, R., (Eds.). *Neuropsicologia: teoria e Prática*. Porto Alegre: Artmed.

MATTHEWS V. B., ÅSTRÖM M. B, CHAN M. H. S., BRUCE C. R., KRABBE K. S., PRELOVSEK O., ÅKERSTRÖM T., YFANTI C., BROHOLM C., MORTENSEN O. H., PENKOWA M., HOJMAN P., ZANKARI A., WATT M. J., BRUUNSGAARD H., PEDERSEN B. K. and FEBBRAIO M. A. Brain-derived neurotrophic factor is produced by skeletal muscle cells in response to contraction and enhances fat oxidation via activation of AMP-activated protein kinase. *Diabetologia*. 52:1409–1418, 2009.

MIYAKE, A. FRIEDMAN, N. P. The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21:8 2012.

MORTON JB, ed. Tema. Estimulação cognitiva (funções executivas) – Síntese. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Enciclopédia sobre o Desenvolvimento na Primeira Infância [on-line]*. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development e Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013: Disponível em: <http://www.encyclopedia-crianca.com/documents/sintese-estimulacao-cognitiva-funcoes-executivas.pdf>. Consultado 19/04/2013

NAKHASHI T., FUJIMURA H., ALTAR A. C., Li J., KAMBAYASHI J., TANDON N. N., Sun B. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, 470: 113 – 117, 2000.

NEEPER A. C., SHAWNE A., GDMEZ-PINILLA F., CHOI J., COTMAN C. W. Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Research*. 726, 49-56, 1996.

NOFUJI Y, SUWA M, MORIYAMA Y, NAKANO H, ICHIMIYA A, NISHICHI R, SASAKI H, RADAK Z, KUMAGAI S. Decreased serum brain-derived neurotrophic factor in trained men. *Neuroscience Letters*. 437: 29–32, 2008.

PAREJA-GALEANO, H. BRIOCHE, T. SANCHIS-GOMAR, F. MONTAL, A. JOVANÍ, C. MARTÍNEZ-COSTA, C. GOMEZ-CABRERA, M.C. VIÑA, J. Impact of exercise training on neuroplasticity-related growth factors in adolescents. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*. Sep;13(3):368-71. 2013.

PAULA, J.J., COSTA, D. S., BERTOLA, L., MIRANDA, D., MALLOY-DINIZ, L. F. Verbal fluency in older adults with low educational level: what is the role of executive functions and processing speed? *Revista Brasileira Psiquiatria*; 35:440—442, 2013.

PESCE Caterina, CROVA Claudia, CEREATTI Lucio, CASELLA Rita, BELLUCCI Mario. Physical activity and mental performance in preadolescents - Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*. 2, 16–22, 2009.

PONTIFEX, M. B., RAINE, L. B., JOHNSON, C. R., CHADDOCK, L., VOSS, M. W., COHEN, N. J. Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 1332–1345, 2011.

RASMUSSEN P, BRASSARD P, ADSER H, PEDERSEN MV, LEICK L, HART E, SECHER NH, PEDERSEN BK, PILEGAARD H. Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. *Experimental Physiology*. 94: 1062–1069, 2009.

ROSENFELD, R. D. ZENI, L., HANIU, M. TALVENHEIMO J., RADKA, S. F., BENNET, L., MILLER, J. A., WELCHER, A. A. Purification and Identification of Brain-Derived Neurotrophic Factor from Human Serum. *Protein Expression and Purification*. 6, 465-471, 1995.

RUSCHEWEYH R, WILLEMER C, KRUGER K, DUNING T, WARNECKE T, SOMMER J, VOLKER K, Ho HV, MOOREN F, KNECHT S, FLOEL A. Physical activity and memory functions: an interventional study. *Neurobiology Aging*. 32: 1304–1319, 2011.

SALTHOUSE, T. A., DAVIS, H. P. Organization of cognitive abilities and neuropsychological variables across the lifespan. *Developmental Review*. 26, 31–54, 2006.

SÁNCHEZ-CUBILLO, PERIÁÑEZ, J.A. ADROVER-ROIG D. RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, J.M. RÍOS-LAGO, M. TIRAPU, J. and BARCELÓ, F. Construct validity of the Trail Making Test: Role of task-switching, working memory, inhibition/interference control, and

visuomotor abilities. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15, 438 – 450, 2009.

SCHIFFER, T. SCHULTE, S. HOLLMANN, W. BLOCH, W. STRUDER, HK. Effects of strength and endurance training on brain-derived neurotrophic factor and insulin-like growth factor 1 in humans. *Hormone and Metabolic Research*. 41, 250–254, 2009.

SEIFERT T, BRASSARD P, WISSENBERG M, RASMUSSEN P, NORDBY P, STALLKNECHT B, ADSER H, JAKOBSEN AH, PILEGAARD H, NIELSEN HB, SECHER NH. Endurance training enhances BDNF release from the human brain. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 298, R372–R377, 2010.

SMITH, P. J., BLUMENTHAL, J. A., HOFFMAN, B. M., COOPER, H., STRAUMAN, T. A., WELSHBOHMER, K., JEFFREY N. B., SHERWOOD, A. Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic Medicine*, 72, 239-252, 2010;

SOGA, K., SHISHIDO T., NAGATOMI R. Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise* 16, 7-17. 2015;

STRAUSS, E. SHERMAN, E. M. S. SPREEN, O. A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary, Third Edition. 2006.

STROTH S, HILLE K, SPITZER M, *et al.*, Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychological Rehabilitation*. 19:223–43, 2009.

SWAIN, R.A., HARRIS, A.B., WIENER, E.C. *et al.*, Prolonged exercise induces angiogenesis and increases cerebral blood volume in primary motor cortex of the rat. *Neuroscience*, 117, 1037—1046, 2003.

TAMM, L., MENON, V., REISS, A. L. Maturation of Brain Function Associated With Response Inhibition. *Journal of the American Academy of Child e Adolescent Psychiatry*. Volume 41, Issue 10, Pages 1231–1238, 2002.

THOMAS, S., READING, J., SHEPHARD, R. J. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Canadian Journal of Sport Sciences*, v. 17(4), p. 338-45, 1992.

TOMPOROWSKI, P.D., DAVIS, C.L., MILLER, P.H., NAGLIERI, J.A. Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Education Psychology Review*. 20, 111–131, 2008.

TREJO, J.L., CARRO, E., TORRES-ALEMAN, I. Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus. *J. Neurosci.* 21, 1628-1634, 2001.

TRUDEAU, F., & SHEPHARD, R. J. Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5, 5–10, 2008.

VAN PRAAG, H., KEMPERMANN, G. and GAGE, F.H. Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience*, 2, 266-270, 1999.

VAYNMAN, S., YING, Z., GOMEZ-PINILLA, F. Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *Eur. J. Neurosci.* 20, 2580-2590, 2004.

VERBURGH, L. KÖNIGS, M. SCHERDER, E. J. A. OOSTERLAAN, J. Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 01-08, 2013.

WECHSLER, D. WISC-III: Escala de Inteligência Wechsler para Crianças. Manual/David Wechsler; Adaptação e padronização de uma amostra brasileira. Vera Lúcia Marques de Figueiredo. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2002.

WECKER, N. S. KRAMER, J. H. WISNIEWSKI, A. DELIS, D. C. e KAPLAN, E. Age Effects on Executive Ability. *Neuropsychology* 14, No.3, 409-414 2000.

WINKER R, LUKAS I, PERKMANN T, HASLACHER H, PONOCNY E, LEHRNER J, TSCHOLAKOFF D, DAL-BIANCO P. Cognitive function in elderly marathon runners: cross-sectional data from the marathon trial (APSOEM). *Wien Klin Wochenschr.* 122: 704–716, 2010.

WINTER B, BREITENSTEIN C, MOOREN FC, VOELKER K, FOBKER M, LECHTERMANN A, KRUEGER K, FROMME A, KORSUKEWITZ C, FLOEL A, KNECHT S. High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning Memory.* 87: 597–609, 2007.

WU, C. T., PONTIFEX, M. B., RAINE, L. B. CHADDOCK, L., VOSS, M. W., KRAMER, A. F. and HILLMAN, C. H. Aerobic Fitness and Response Variability in Preadolescent Children Performing a Cognitive Control Task. *Neuropsychology*. May ; 25(3): 333–341, 2011.

YAU, S-Y., LAU, B.W-M., SO, K-F. Adult hippocampal neurogenesis: a possible way how physical exercise counteracts stress. *Cell Transplant.* 20, 99-111, a2011.

ZOLADZ J.A., PILC A., MAJERCZAK J., GRANDYS M., ZAPART-BUKOWSKA J., DUDA K., Endurance training increases plasma brain-derived neurotrophic factor concentration in young healthy men. *Journal of Physiol and Pharmacology*: 59, Suppl 7, 119–132 2008.

ANEXO I

Questionário PAR-Q

Nome: _____ Nasc.: _____ Tel.: _____

Teste 1 : PAR-Q
1 - Seu médico já disse que você possui um problema cardíaco e recomendou atividades físicas apenas sob supervisão médica?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
2 - Você tem dor no peito provocada por atividades físicas?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
3 - Você sentiu dor no peito no último mês?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
4 - Você já perdeu a consciência em alguma ocasião ou sofreu alguma queda em virtude de tontura?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
5 - Você tem algum problema ósseo ou articular que poderia agravar-se com a prática de atividades físicas?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6 - Algum médico já lhe prescreveu medicamento para pressão arterial ou para o coração?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
7 - Você tem conhecimento, por informação médica ou pela própria experiência, de algum motivo que poderia impedi-lo de participar de atividades físicas sem supervisão médica?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Teste 2: Fatores de Risco para Doença Coronariana (ACSM 1998a)
1 - IDADE: Homem acima de 45 anos ou mulher acima de 55 anos?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
2 - COLESTEROL - Acima de 240 mg/l ou desconhecida (não sabe)
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
3 - PRESSÃO ARTERIAL -Acima de 140/90 mmHg , desconhecida ou usa medicamento para a pressão
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
4 - TABAGISMO - fuma?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
5 - DIABETES - Tem diabetes de qualquer tipo?
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6 - HISTÓRIA FAMILIAR DE ATAQUE CARDÍACO - Pai ou irmão antes de 55 anos ou Mãe ou irmã antes dos 65 anos
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
7 - SEDENTARISMO - Atividade profissional sedentária e menos de 30 minutos de atividade física pelo menos 3 vezes por semana
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
8. OBESIDADE - mais de 10 kg de excesso de peso (comparar tabela)
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

Declaro a veracidade do conteúdo exposto acima.

Belo Horizonte, _____ de _____ de 2014. _____

(Assinatura do Participante)