

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Educação Física

ALEXSANDRO SANTOS DA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DO LIMIAR ANAERÓBIO POR MEIO DA
VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA**

BAURU
2017

ALEXSANDRO SANTOS DA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DO LIMIAR ANAERÓBIO POR MEIO DA
VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado
como requisito à obtenção do título de Bacharel
em Educação Física à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de
Bauru sob a orientação do Prof. Dr. Júlio Wilson
dos Santos

BAURU

2017

RESUMO

Há uma busca por métodos mais acessíveis e não-invasivos para determinação da intensidade do esforço físico onde ocorre a transição aeróbia-anaeróbia. Dentre tais métodos, podemos destacar a Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC). A VFC proporciona análise da atividade parassimpática por meio dos índices RMSSD definido como "root mean square", ou seja, raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre os intervalos RR consecutivos em milissegundos e SD1 corresponde ao desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento. Os índices da VFC apresentam um comportamento de queda e estabilização durante um teste progressivo de esforço, indicando um limiar de transição fisiológica denominado primeiro limiar de variabilidade da frequência cardíaca (LIVFC₁). Um segundo declive, após o período de estabilização, sugere relação com o segundo limiar da variabilidade da frequência cardíaca (LIVFC₂). O objetivo do trabalho consistiu em verificar se os parâmetros da VFC, SD1 e RMSSD, determinados em teste incremental, são válidos para estimar a máxima fase estável de lactato (MLSS). A amostra foi composta por 7 homens, praticantes de futebol universitário, com idade média de $23,28 \pm 5,4$ anos. Os participantes realizaram o teste incremental de esforço máximo para identificação do limiar da variabilidade da frequência cardíaca e o teste da máxima fase estável de lactato, para determinação do limiar anaeróbio. A MLSS foi determinada em testes de 30min, em dias diferentes, considerando a intensidade da MLSS com a máxima intensidade na qual não houve variação de lactato acima de 1 mmol/L entre 10-30min. O limiar da VFC foi determinado na curva de intensidade vs VFC, considerando-se o menor ponto da curva calculado com ajuste exponencial de 2ª ordem, calculado com todos os pontos (RMSSD-TP e SD1-TP) e com os três menores pontos da curva (SD1-3P e RMSSD-3P). A análise estatística compreendeu teste-t pareado e correlação de Pearson ($P < 0,05$). A análise de correlação mostrou forte correlação entre a velocidade da MLSS e a velocidade do menor ponto das variáveis obtidas apenas com as equações geradas por 3 pontos da curva (RMSSD-3P: $R = 0,79$ e $P < 0,047$; SD1-3P, $R = 0,79$ e $P < 0,047$). Valores da intensidade obtidos nos menores pontos das curvas de RMSSD e SD1 não diferiram da velocidade média da MLSS $11,0 \pm 0,8$, RMSSD-3P $11,4 \pm 1,2$, SD1-3P $11,4 \pm 1,2$. Embora o número de participantes possa ser uma limitação do estudo e mais estudos ainda precisam ser feitos, para melhor entendimento do limiar anaeróbio da VFC, a VFC parece ser sensível suficiente para estimar a máxima fase estável de lactato.

Palavras-chave: Variabilidade da frequência cardíaca; Limiar da variabilidade da frequência cardíaca; Máxima fase estável de lactato;

ABSTRACT

There is a search for more accessible and non-invasive methods to determine the intensity of the physical effort where the aerobic-anaerobic transition occurs. Among these methods, we can highlight the Heart Rate Variability (HRV). VFC provides analysis of parasympathetic activity through the RMSSD and SD1 indices that measure the differences in the R-R interval, from beat to beat, based on the standard deviation of the differences. The HRV indices show a falling and stabilizing behavior during a progressive stress test, indicating a physiological transition threshold termed the first heart rate variability threshold (LIVFC1). A second slope, after the stabilization period, suggests a relationship with the second heart rate variability threshold (LIVFC2). The objective of this work is to verify if the parameters of HRV, SD1 and RMSSD, determined in incremental test, are valid to estimate the maximum stable phase of lactate (MLSS). The sample consisted of 7 men, university football practitioners, with a mean age of 23.28 ± 5.4 years. Participants performed the maximal effort incremental test to identify the heart rate variability threshold and the maximum lactate stable phase test to determine the anaerobic threshold. The MLSS was determined in 30min tests, on different days, considering the MLSS intensity at maximum intensity in which there was no lactate variation above 1 mmol / L between 10-30min. The HRV threshold was determined on the intensity vs. VFC curve considering the lowest point of the calculated curve with 2nd order exponential adjustment, calculated with all points (RMSSD-TP and SD1-TP) and with the three smallest points in the curve (SD1 -3P and RMSSD-3P). Statistical analysis included paired t-test and Pearson's correlation ($P < 0.05$). The correlation analysis showed a strong correlation between the speed of the MLSS and the velocity of the smallest point two variables obtained only with the equations generated by 3 points of the curve (RMSSD-3P: $R = 0.79$ and $P < 0.047$; SD1-3P, $R = 0.79$ and $P < 0.047$). The intensity values obtained at the lowest points of the RMSSD and SD1 curves did not differ from the mean speed of the MLSS 11.0 ± 0.8 , RMSSD-3P 11.4 ± 1.2 , SD1-3P 11.4 ± 1.2 . Although the number of participants may be a limitation of the study and further studies still need to be done to better understand the anaerobic threshold of HRV, HRV appears to be sensitive enough to estimate the maximum stable phase of lactate.

Keywords: Heart rate variability; Threshold of heart rate variability; Maximum stable lactate phase;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- RMSSD-TP	19
Figura 2- RMSSD-3P.....	19
Figura 3- SD1-TP.....	20
Figura 4- SD1-3P.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação de velocidade da máxima fase estável de lactato (MLSS) e da velocidade correspondente aos menores valores de RMSSD e SD1.....21

Tabela 2- Correlação dos valores de velocidade entre a máxima fase estável de lactato (MLSS) e as velocidades correspondente aos menores valores de RMSSD e SD1.....21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 Limiar Anaeróbio.....	9
2.2 Limiar da Variabilidade da Frequência Cardíaca.....	10
3. OBJETIVO.....	12
4. MÉTODOS.....	13
4.1 Amostra.....	13
4.2 Desenho experimental.....	13
4.3 Teste incremental até a exaustão.....	14
4.4 Identificação do limiar da variabilidade da frequência cardíaca.....	14
4.5 Identificação da máxima fase estável de lactato sanguíneo.....	15
4.6. Análise de Lactato Sanguíneo.....	16
4.7. Análise Estatística.....	16
5. RESULTADOS.....	17
6. DISCUSSÃO.....	18
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS.....	23
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	26

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é uma possibilidade de medida não invasiva que tem como objetivo identificar a variação dos intervalos entre batimentos cardíacos consecutivos (RR) em um eletrocardiograma (ECG) (TASK FORCE, 1996; BORRESEN; LAMBERT, 2008). Vanderlei et al. (2009) complementam este conceito ao mencionarem que a VFC também descreve oscilações entre frequências cardíacas instantâneas consecutivas.

A VFC pode ser um indicativo sensível e antecipado de alguma alteração que pode resultar em comprometimento na saúde de um indivíduo. De acordo com Vanderlei et al. (2009), a alta VFC representa funções autonômicas normais e a baixa VFC representa um indicativo de adaptações anormais e insuficientes do sistema nervoso autônomo (SNA). A regulação intrínseca do coração, a qual gera a ritmicidade, é realizada a partir das células marcapasso controladas pelo sistema nervoso autônomo, podendo apresentar alteração durante a estimulação ou inibição do sistema simpático ou parassimpático. A atividade parassimpática apresenta como característica uma diminuição da frequência cardíaca devido a liberação de acetilcolina, contrário ao comportamento da atividade simpática onde ocorre a elevação da frequência cardíaca, resultado da liberação de norepinefrina (LIMA, 1999; FRONCHETTI, 2007).

A análise da VFC tem apresentado uma grande utilidade para a avaliação do SNA quando analisada no teste de esforço dinâmico incremental, uma vez que a elevação da frequência cardíaca no período inicial do exercício físico pode ser explicada pela retirada gradual da atividade parassimpática, que ocorre quase que por completa entre 50 a 60% do VO₂pico, promovendo ativação predominantemente do sistema simpático (BRUNETTO et al. 2008).

Alonso et al. (1998) verificaram a análise simultânea entre a frequência cardíaca e sua variabilidade durante a realização do exercício progressivo e foi constatada uma relação inversa entre elas. No entanto, essa relação não foi linear. Houve um aumento progressivo da frequência cardíaca até o pico do exercício, enquanto a variabilidade da frequência cardíaca apresentou uma redução até o limiar anaeróbio, após esse ponto não houve alteração até o pico do exercício.

Recentemente, a VFC tem sido empregada como parâmetro para verificar alterações no nível de aptidão física de atletas e os seus resultados apresentam informações importantes na mudança do treinamento. A VFC se mostra sensível quando ocorrem alterações nas cargas

de treino, tornando-se um importante meio para a prescrição adequada de treinamento (OLIVEIRA et al., 2012). De acordo com Ribeiro et al. (2015), a VFC é uma importante ferramenta para avaliação da modulação autonômica cardíaca em atletas na prescrição, no treinamento e na recuperação.

Na prescrição do treinamento físico e esportivo é comum a utilização de parâmetros para a determinação de limiares metabólicos. Para Francischi, Pereira e Lancha JR (2001), o limiar metabólico é compreendido pela intensidade de exercício na qual ocorre predomínio das vias anaeróbias para manutenção da demanda energética durante o exercício. A identificação do limiar metabólico é essencial quando se pensa em avaliar e prescrever exercício, possibilitando a identificação da predominância metabólica em diferentes intensidades.

Para o controle de carga, é de grande relevância a identificação desses limiares metabólicos, pois, por meio deles, pode-se distinguir diferentes zonas de treinamento, acompanhar alterações metabólicas ou de desempenho durante determinadas intensidades e momentos do exercício. Devido à importância da identificação dos limiares metabólicos houve uma grande busca por diferentes metodologias para seu reconhecimento. Na literatura, parece haver uma concordância que, em exercícios com cargas progressivas, os resultados encontrados são semelhantes, sendo eles a existência de dois limiares, que apresentam três zonas metabólicas diferentes: aeróbia, mista e anaeróbia. É necessário a realização de testes que determinem esses dados (ABAD, 2006).

De acordo com Lima e Kiss (1999, p.36)

O primeiro limiar representaria o limite inferior para o treinamento aeróbio e o segundo limiar o limite superior para atividades de longa duração. Treinar abaixo do limite inferior não provoca melhora da aptidão aeróbia e treinar acima do limite superior provoca melhora da potência aeróbia máxima e da capacidade anaeróbia e não da tolerância ao exercício de longa duração. Apesar de grande divergência quanto à nomenclatura relacionada aos limiares metabólicos, em nossa cultura, é usual identificar o primeiro limiar com limiar aeróbio e o segundo limiar anaeróbio.

O ponto do exercício físico onde há o aumento da ventilação pulmonar resultando no desequilíbrio do consumo do oxigênio, é conhecido como limiar ventilatório. Essa intensidade no exercício mostra que a respiração pulmonar já não está em equilíbrio com a necessidade de oxigênio a nível celular. A hiperventilação gerada ocorre devido ao aumento da produção de dióxido de carbono resultado do tamponamento do lactato que se acumula devido à glicólise anaeróbia aumentada (McARDLE; KATCH; KATCH, 2008).

Alguns parâmetros utilizados para identificação desses limiares são, por exemplo, a análise da concentração de lactato, a qual permite identificar o limiar de lactato (LL), e a troca gasosa, que identifica o primeiro limiar ventilatório (LV1).

Para a avaliação do componente aeróbio pode se realizar alguns testes como: máxima fase estável de lactato; limiar anaeróbio individual; limiar anaeróbio identificado pela concentração fixa de 3,5 e 4,0 mM e lactato mínimo (MOREL; ZAGATTO, 2008). A máxima fase estável de lactato representa a intensidade máxima de exercício onde há o equilíbrio entre a taxa de produção e a de remoção de lactato. É comumente utilizada e considerada padrão ouro para determinação da intensidade de transição metabólica aeróbia-anaeróbia (MANCHADO et al., 2006; PEREIRA et al., 2002).

No entanto, há uma busca por métodos mais acessíveis e não-invasivos que possam apresentar a intensidade do esforço físico onde ocorre a transição aeróbia-anaeróbia. Dentre tais métodos acessíveis, podemos destacar a VFC (BRUNETTO et al., 2005).

De acordo com Vanderlei et al. (2009), dentre as técnicas disponíveis para medir a VFC que proporcionam análise da atividade parassimpática, encontram-se os índices RMSSD e o SD1 que medem a diferenças do intervalo R-R, de batimento a batimento, com base no desvio padrão das diferenças. Os índices da VFC apresentam um comportamento de queda e estabilização durante um teste progressivo de esforço, indicando um limiar de transição fisiológica, denominado primeiro limiar de variabilidade da frequência cardíaca (LIVFC₁), que pode ser usado como uma alternativa simples e não invasiva para estimar o limiar de lactato. Um segundo declive, após o período de estabilização, sugere relação com o segundo limiar da variabilidade da frequência cardíaca (LIVFC₂), o qual está associado à retirada do sistema parassimpático e a predominância do sistema simpático (LIMA; KISS, 1999; FRONCHETTI et al., 2007)

Estudo de Nascimento et al. (2011) verificou o grau de associação entre o limiar de lactato mínimo e o limiar de variabilidade da frequência cardíaca em nove universitários submetidos ao teste de Wingate, para indução de hiperlactacidemia, e ao teste incremental até exaustão. Os autores observaram correlação significativa entre as variáveis analisadas e mencionam que esses fenômenos podem estar relacionados à maior ativação simpática e à maior contribuição anaeróbica, que promovem, respectivamente, redução da VFC e aumento na concentração de lactato. No entanto, os autores mencionam que ainda não há um protocolo ideal para a identificação do limiar de variabilidade da frequência cardíaca. Além disso, também não se sabe ao certo a qual limiar metabólico ele está associado, evidenciando assim a necessidade de mais investigações a respeito.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Limiar Anaeróbio

O primeiro e o segundo limiar ventilatório (LV1 e LV2), assim como o limiar de lactato (LL) e o limiar anaeróbio (LAN), são modelos que apresentam alteração de diferentes domínios metabólicos durante o exercício, sendo muito utilizados como referência para o treinamento físico e a prescrição de exercício (GAESSER; POOLE 1996).

É fundamental avaliar o componente aeróbio seja para o estado de treinamento para a identificação da condição fisiológica em que o atleta se encontra ou para prescrição do treinamento visando a identificação da transição aeróbia-anaeróbia para determinação da intensidade de esforço. Para a avaliação do componente aeróbio pode se realizar alguns testes como: máxima fase estável de lactato; limiar anaeróbio individual; limiar anaeróbio identificado pela concentração fixa de 3,5 e 4,0 mM e lactato mínimo (MOREL; ZAGATTO, 2008). No entanto, apesar de tais procedimentos serem amplamente usados, são também considerados invasivos

O teste do máximo estado estável de lactato (MLSS), o qual corresponde à maior quantidade de lactato no sangue em que a produção se iguala a remoção, corresponde à maior intensidade submáxima em que se pode realizar exercício, cuja a fonte de energia provem predominantemente do metabolismo aeróbio (BENEKE, 2003; ABAD, 2006).

De acordo com Ferguson, Myers e Froelicher (2004), o limiar ventilatório está associado ao aumento súbito na concentração de lactato sanguíneo durante o exercício, ou seja, reflete a mudança no equilíbrio entre a produção e a remoção de lactato. Isso ocorre devido ao excesso de íons H^+ que precisa ser tamponado para manutenção do pH fisiológico, provocando aumento de CO_2 e estimulação da ventilação. Para identificação do limiar ventilatório, devem ser realizados testes com acréscimos de curta duração, com mensuração contínua da ventilação pulmonar por minuto até o ponto de surgimento da fadiga (McARDLE; KATCH; KATCH, 2008).

O VO_{2max} representa a potência aeróbia máxima, mensurado com precisão em laboratório a partir do uso de equipamentos específicos, ou por meio de alternativas não tão exatas que se aproximam desse valor de forma indireta, utilizando-se fórmulas. Para realização do teste de mensuração do VO_{2max} utiliza-se diferentes ergômetros, esteira, bicicleta, banco ou teste de campo (pista de atletismo ou piscina) (SANTOS, 2004).

2.2 Limiar da Variabilidade da Frequência Cardíaca

O corpo sofre diversos estímulos disponibilizados pelo ambiente em que se encontra e o sistema cardiovascular, como resposta, necessita que haja adaptações agudas e crônicas, para que o organismo se mantenha funcionando de acordo com sua necessidade, apresentando uma grande capacidade de resposta a diversas circunstâncias metabólicas e fisiológicas. A modulação cardíaca se dá pelas células marcapasso que geram ritmicidade e pelo sistema nervoso autônomo que age por meio da estimulação ou inibição das atividades simpática e parassimpática (FRONCHETTI; AGUIAR, 2007).

A prática de exercício físico regular ou esporádica pode gerar alterações no comportamento da frequência cardíaca. As mudanças podem ser medidas essencialmente pela flutuação do tônus simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo, o qual opera no nódulo sinoatrial do coração (NAKAMURA, 2005).

Durante o trabalho cardíaco, há uma excitação no coração resultando impulso no nódulo sinoatrial, o qual gera uma distribuição desse impulso pelos átrios, acarretando na despolarização atrial, a qual é identificada no eletrocardiograma (ECG) pela onda P. Após a geração desse impulso, ocorre a condução aos ventrículos por meio do nódulo atrioventricular e distribuído pelas fibras de Purkinje, acarretando a despolarização dos ventrículos, representada pelas ondas Q, R e S em um ECG, resultando no complexo QRS (VANDERLEI et al., 2009).

Ao estudar a variabilidade da frequência cardíaca, é fundamental entender o sistema nervoso autônomo, pois ele permite mensurar a influência do sistema simpático e parassimpático que age no ritmo cardíaco. O sistema simpático é responsável pelo aumento da frequência cardíaca, resultando em intervalos menores entre batimentos. Já o sistema parassimpático é responsável por desacelerar o ritmo da frequência cardíaca, apresentando um maior intervalo entre os batimentos.

A medida da variabilidade da frequência cardíaca pode ser mensurada por meio dos intervalos entre batimentos, sendo esses períodos as ondas R consecutivas ou intervalos RR (CARVALHO, 2003). A modulação parassimpática é representada pelas variáveis RMSSD e SD1. O RMSSD é definido como "root mean square", ou seja, raí quadrada da médi dos quadrados das diferenças entre os intervalos RR consecutivos em milissegundos (TASK FORCE, 1996). O SD1 corresponde ao desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento (TULPPO et al., 1996).

Durante o exercício progressivo, a VFC apresenta uma redução gradual até 50% da carga pico indicada pelo parâmetro SD1 até um valor abaixo de 3ms, e logo após apresenta uma estabilidade. Tal comportamento foi denominado de primeiro limiar da variabilidade da frequência cardíaca (LIVFC₁), pois apresenta similaridade ao limiar de lactato, indicando uma possibilidade simplificada e não invasiva de determinar a regulação autonômica durante o exercício físico e a identificação da zona entre o domínio moderado e intenso de esforço. Além da primeira queda, há um segundo declive que se aproxima de zero, comportamento que sugere relação com o segundo limiar da variabilidade da frequência cardíaca (LIVFC₂), pois esse momento pode estar relacionado com a retirada do sistema parassimpático e a predominância do sistema simpático (LIMA e KISS, 1999; BRUNETTO et al, 2005; FRONCHETTI et al, 2007).

3. OBJETIVO

Verificar se os parâmetros da VFC, SD1 e RMSSD, determinados em teste incremental, são válidos para estimar a máxima fase estável de lactato (MLSS).

4. MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos foram compostos por levantamento bibliográfico sobre os seguintes temas: Variabilidade da frequência cardíaca, limiar anaeróbio, máxima fase estável de lactato. A pesquisa tem o referencial teórico metodológico pautado na abordagem quantitativa, a qual tem por objetivo testar suposições e pesquisar relações entre variáveis, são medidas por instrumentos que geram dados numéricos e posteriormente são analisados por meios estatísticos (CRESWELL, 2010).

4.1 Amostra

A amostra foi composta por 7 homens, praticantes de futebol universitário, com idade média de $23,28 \pm 5,4$ anos, estatura média de 174 ± 3 cm, peso médio de $75,5 \pm 6,72$ kg.

Todos os preceitos éticos exigidos foram seguidos e somente após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa local, com o parecer nº 2480/46/01/07, os sujeitos foram recrutados, consultados e esclarecidos acerca dos objetivos da pesquisa. Todos os participantes foram solicitados a autorizarem sua participação na pesquisa por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A) e informados de que a qualquer momento poderiam desistir de participar e retirar o consentimento sem acarretar prejuízos. A coleta de dados foi realizada no laboratório de Fisiologia Aplicada ao Treinamento Esportivo e para Saúde (FITES), localizado na Praça de Esporte da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) câmpus Bauru/SP.

4.2 Desenho experimental

Os participantes selecionados pelo pesquisador responsável foram previamente esclarecidos sobre a composição da bateria de avaliações, questionados sobre a disponibilidade para se deslocarem até o local da realização dos testes em dias e horários pré-estabelecidos, e orientados sobre as restrições em relação ao consumo de bebidas que contenham estimulantes, como café e bebidas alcoólicas, e a prática de exercício físico intenso no dia que antecedeu a avaliação.

No dia da coleta, os participantes eram questionados se seguiram corretamente as orientações pré-estabelecidas para a realização do teste. Caso algum dos critérios não fosse seguido o teste era remarcado. O ambiente era devidamente preparado, com regulação da

temperatura entre 22 e 23°C. Os indivíduos passaram por avaliação de peso e estatura e em seguida foram equipados para a realização do teste.

No início da primeira avaliação, foi colocado no tórax de cada participante um monitor de frequência cardíaca. Após conferir o funcionamento do aparelho, era repassado o procedimento do teste para o indivíduo que com um sinal de positivo liberava o início do teste incremental. Ao final do teste incremental, os dados coletados pelo monitor de frequência cardíaca foram transferidos para o notebook e posteriormente analisados.

Em um outro dia, para a determinação do limiar anaeróbio foi realizado o teste da máxima fase estável de lactato, com coleta de amostra sanguínea do lóbulo da orelha em 5 momentos distintos, sendo o primeiro no repouso. Após a primeira coleta, o participante realizou um aquecimento de 5 minutos na esteira a uma velocidade de 7 Km/h com recuperação de 5 minutos. O teste teve início logo após o período da recuperação e as próximas coletas sanguíneas foram realizadas após 10 minutos de teste e aos 30 minutos. Depois de finalizado o teste, foi coletada amostra aos 3 minutos e 5 minutos da recuperação, para identificação do pico de lactato.

Para determinação da velocidade inicial do teste, foi utilizada a análise da variabilidade da frequência cardíaca. A partir dos dados fornecidos pelo software Kubios em relação ao RMSSD e ao SD1, foi elaborado um gráfico de dispersão e por meio da linha de tendência do modelo polinomial foi identificado o menor ponto da curva, determinando a velocidade inicial do teste. Os pontos identificados tanto pelo RMSSD quanto pelo SD1 foram próximos, os testes tiveram velocidade inicial com base no RMSSD.

4.3 Teste incremental até a exaustão

O teste incremental foi realizado em esteira (Inbramed millenium ATL) com velocidade inicial de 8Km/h, incremento de 5Km/h a cada 1 minuto, mantida em inclinação de 1%. O teste era realizado até o participante entrar em exaustão definida pelo o momento que o indivíduo não fosse capaz de manter a velocidade do estágio. Durante todo teste a FC foi monitorada e registrada ao final de cada estágio por meio do programa utilizado para monitorar a FC.

4.4 Identificação do limiar da variabilidade da frequência cardíaca

A FC foi gravada batimento a batimento com equipamento Polar Team2 (Polar, Electro, Finlândia) e os dados exportados em arquivo formato txt, para tratamento no

programa Kubios HRV® (Biomedical Signal Analysis Group, Universidade de Kuopio, Finlândia) onde foi utilizado o filtro moderado. As variáveis analisadas da VFC foram RMSSD e SD1.

O limiar da VFC (Lan VFC) foi identificado no ponto de menor valor na curva entre intensidade (velocidade) vs variável (RMSSD e SD1). Para isso, os valores de cada estágio foram exportados para o programa Excel para Windows e foram ajustados por equação polinomial de 2ª ordem, uma vez que este ajuste apresentou o melhor coeficiente de explicação na equação de regressão ($R^2 = xx \pm xx$). A intensidade correspondente à menor intensidade na curva ajustada para cada parâmetro, RMSSD e SD1, foi identificada como o LAN. O ajuste foi feito com todos os pontos da curva e com apenas os três menores valores, para comparação com a MLSS.

4.5 Identificação da máxima fase estável de lactato sanguíneo

O teste da máxima fase estável de lactato foi feito conforme proposto por Beneke (2003), que analisou três métodos distintos para identificação do máximo estado estável de lactato e verificou que o teste realizado com duração de 30 minutos foi o mais aceitável em relação aos demais. Assim sendo, os testes para identificação da MLSS tiveram duração de 30 min, com coletas de sangue aos 10 e 30 min, adotando-se o critério de estabilização da [La] como a não ocorrência de variação maior do que 1,0 mmol entre o 10º e 30º min. Para tanto, foram feitos testes em dias diferentes até que se verificasse estabilização. No primeiro dia utilizou-se como referência a velocidade determinada no teste incremental pelo menor ponto do RMSSD, a velocidade do próximo teste foi aumentada 0,5 km/h. Após o teste, era novamente verificada a diferença de concentração de lactato entre o 10º e o 30º min do teste, e caso não ultrapassasse 1,0 mmol era remarcada outra coleta com acréscimo de 0,5 km/h. Tal procedimento foi realizado até que a diferença se apresentasse maior, confirmando a identificação do limiar anaeróbio no teste anterior, com [La] menor que 1,0 mmol. Caso no primeiro teste realizado a diferença fosse maior que 1,0 mmol entre o 10º e 30º min, a velocidade era diminuída em 0,5 km/h nos próximos testes até identificação do limiar anaeróbio.

4.6. Análise de Lactato Sanguíneo

Para leitura de lactato, utilizou-se o lactímetro (YSI 2300 SPORTS, Yellow Sprint Intrumensts Ohio, EUA). Foi coletado 25µl de amostra sanguínea do lóbulo da orelha em 5 momentos distintos: repouso; aos 10 minutos de teste; aos 30 minutos de teste; aos 3 minutos da recuperação e aos 5 minutos da recuperação, para identificação do pico de lactato.

4.7. Análise Estatística

Para análise dos dados, utilizou-se estatística descritiva (média e desvio padrão). Para comparação entre as médias da MLSS e dos menores pontos de RMSSD e SD1 no teste incremental foram feitos test-t para amostras dependentes. A verificação de associações entre as variáveis investigadas foi feita por meio da correlação de Pearson. As correlações foram classificadas de acordo com os valores de r , como: muito fraco (0,0 - 0,2), fraco (0,2 - 0,4), moderado (0,4 - 0,7), forte (0,7 - 0,9) e muito forte (0,9 - 1,0) (ROWNTREE, 1991). O software utilizado foi o Bioestat 5.0. Foi adotado um nível de significância de 0.05.

5. RESULTADOS

Na tabela 1 estão os valores da velocidade da MLSS e a velocidade determinada pelos parâmetros de RMSSD e SD1, calculados com ajuste polinomial de 2ª ordem com todos os pontos e com os três menores pontos da curva. Não houve diferença significativa entre os resultados ($P = 0,41$).

Tabela 1 - Comparação de velocidade da máxima fase estável de lactato (MLSS) e da velocidade correspondente aos menores valores de RMSSD e SD1.

	MLSS	RMSSD-TP	RMSSD-3P	SD1-TP	SD1-3P
VEL (km/h)	$11,0 \pm 0,8$	$11,6 \pm 0,9$	$11,4 \pm 1,2$	$11,7 \pm 0,9$	$11,4 \pm 1,2$

Dados expressos em média ($\pm$ desvio padrão). MLSS= velocidade da máxima fase estável do lactato sanguíneo; RMSSD-TP = velocidade correspondente ao menor ponto de ajuste polinomial da RMSSD com todos os pontos da curva; RMSSD-3P = velocidade correspondente ao menor ponto de ajuste polinomial da RMSSD com os 3 menores pontos da curva; SD1-TP = velocidade correspondente ao menor ponto de ajuste polinomial do SD1 com todos os pontos da curva; SD1-3P = velocidade correspondente ao menor ponto do ajuste polinomial do SD1 com os 3 menores pontos da curva.

A análise de correlação mostrou forte correlação entre a velocidade da MLSS e a velocidade do menor ponto das duas variáveis obtidas apenas com as equações geradas por 3 pontos da curva (Tabela 2).

Tabela 2 – Correlação dos valores de velocidade entre a máxima fase estável de lactato (MLSS) e as velocidades correspondente aos menores valores de RMSSD e SD1.

		RMSSD-TP	RMSSD-3P	SD1-TP	SD1-3P
MLSS	<i>R</i>	-0,13	0,76	-0,019	0,76
	<i>P</i>	0,79	0,047*	0,97	0,047*

* Diferença significativa $p < 0,05$

6. DISCUSSÃO

O presente estudo buscou relacionar o comportamento da VFC no esforço incremental e na máxima fase estável do lactato sanguíneo (MLSS), na tentativa de identificar a transição do limiar aeróbio-anaeróbio. Investiga-se na área da fisiologia do exercício recursos mais acessíveis e simplificados para identificação do limiar aeróbio-anaeróbio, com o intuito de viabilizar utilização desse referencial fisiológico no âmbito da prescrição do exercício físico e avaliação física. Uma alternativa que tem se mostrado importante e com isso investigada tanto na área da saúde quanto no desempenho esportivo é a VFC. Estudos são realizados para identificação dos limiares de VFC (LiVFC1 E LiVFC2) a partir da análise dos intervalos R-R durante o exercício físico, visando uma possível relação causal da mudança do sistema nervoso autônomo com eventos metabólicos (LIMA, KISS, 1999; BRUNETTO et al., 2005).

Nossos resultados demonstraram uma forte correlação entre a velocidade da MLSS e a velocidade do menor ponto das duas variáveis RMSSD-3P e SD1-3P obtidas nas equações geradas por 3 pontos da curva, sugerindo que o resultado pode ser utilizado como parâmetro para a identificação do limiar anaeróbio LAN.

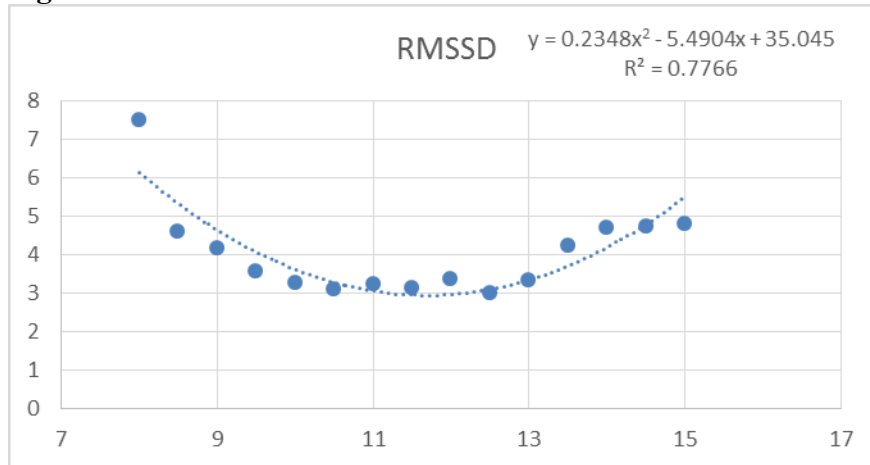
Figueiredo et al. (2016) verificaram o comportamento da VFC durante um teste físico com cargas progressivas. No protocolo utilizado, as participantes (150 mulheres universitárias) iniciaram o teste com velocidade de 5,0 km/h e a cada um minuto aumentava-se a velocidade em 1km/h. Os resultados demonstraram que a VFC sofre alterações, ou seja, há diminuição do intervalo R-R quando os esforços físico se tornam mais intensos. Os autores justificam essa resposta pelo fato do sistema parassimpático começar a ser inibido nas cargas iniciais devido a duas ações simultâneas: ativação da região bulbar e aumento do sistema simpático, resultando em aumento da frequência cardíaca e aumento da força de contratilidade do miocárdio.

Embora ocorra redução da VFC, ou dos intervalos R-R, com o aumento da intensidade do exercício, ao nosso conhecimento, nenhum estudo procurou verificar o comportamento da curva entre VFC e intensidade. Em nossa análise verificamos que a curva, embora ocorra um decréscimo nas variáveis SD1 e RMSSD com o aumento da intensidade, em determinado momento há um aumento, caracterizando a curva como uma curva que apresenta um ajuste polinomial de 2ª ordem ($R^2 = xx \pm xx$) como apresentado na figura abaixo 1 e 3, similar a curva verificada no teste de limiar anaeróbio pelo lactato mínimo. Em nossos resultados, neste ponto mínimo foi verificado que a intensidade é similar à da MLSS. Além disso, na análise do

RMSSD-3P e SD1-3P apresentados nas figuras 2 e 4, os resultados apresentaram forte correlação com os valores da MLSS.

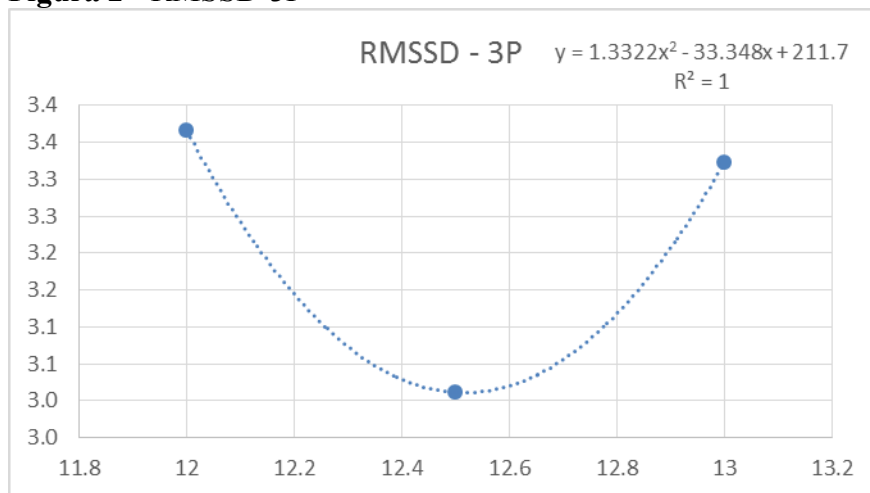
Abaixo encontram-se as figuras referente às análises de todos os pontos e dos três menores pontos das variáveis RMSSD e SD1 respectivamente, pela velocidade do teste incremental de esforço de um dos sujeitos do estudo.

Figura 1 - RMSSD-TP

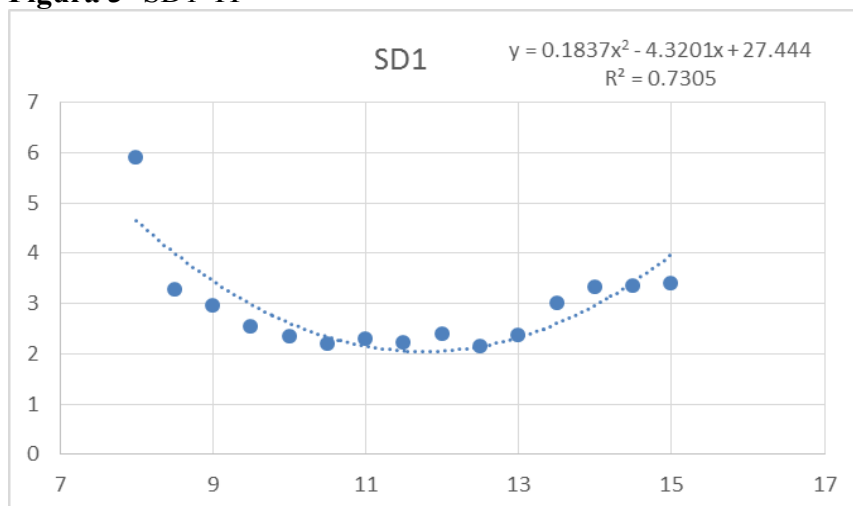


A Figura 1 apresenta a curva do ajuste polinomial de 2ª ordem durante o teste de esforço máximo, onde foi analisado o comportamento da variável RMSSD pela velocidade.

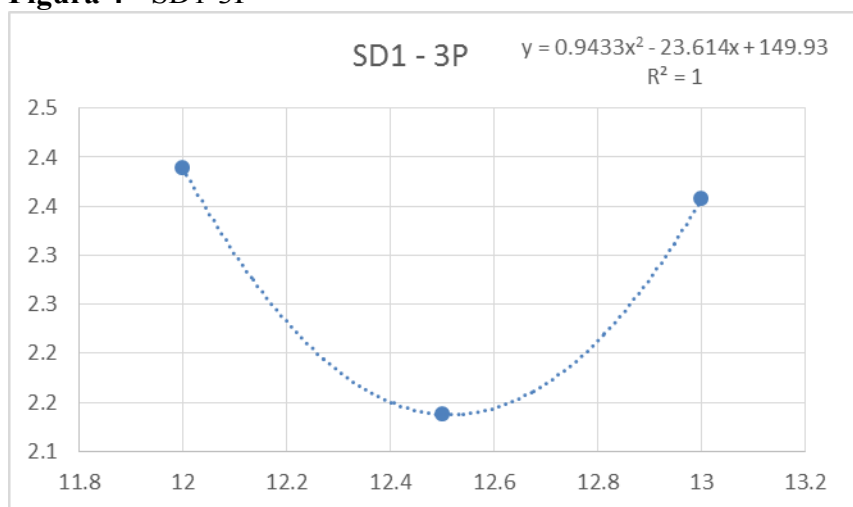
Figura 2 - RMSSD-3P



A Figura 2 apresenta a curva do ajuste polinomial de 2ª ordem analisando os três menores valores encontrados no RMSSD pela velocidade.

Figura 3- SD1-TP

A Figura 3 apresenta a curva do ajuste polinomial de 2ª ordem durante o teste de esforço máximo, onde foi analisado o comportamento da variável SD1 pela velocidade.

Figura 4 - SD1-3P

A Figura 4 apresenta a curva do ajuste polinomial de 2ª ordem analisando os três menores valores encontrados no RMSSD pela velocidade.

Nossos resultados sugerem que a VFC pode ser utilizada como parâmetro para determinação do limiar anaeróbio 2 LAN. No entanto, os resultados ainda devem ser vistos com cautela, uma vez que apenas na análise com 3 pontos foi encontrada correlação forte entre os parâmetros SD1 e RMSSD com MLSS. O pequeno número de sujeitos avaliados e o fato dos participantes possuírem baixa aptidão física e não estarem em período de treinamento pode ser vistos como limitações do estudo, uma vez que um número maior de sujeitos pode

aumentar o poder da análise e a avaliação de indivíduos que estejam em fase de treinamento avançado (aptidão física estável) e não permitiria ganhos de performance com os testes (30min da MLSS), durante o período de experimento.

De qualquer forma, nossos resultados corroboram com resultados de outros estudos. Karapetian, Engles e Gretebeck (2008) verificaram que o limiar da variabilidade da frequência cardíaca coincide com o limiar de lactato anaeróbio e com o limiar ventilatório 2 durante exercício graduado em adultos saudáveis, assim como Sales et al. (2011), que investigaram a capacidade das respostas VFC na estimativa do limiar de lactato e do limiar ventilatório em indivíduos com e sem diabetes mellitus tipo 2. A metodologia utilizada foi o teste incremental em cicloergômetro, com incremento a cada 3 minutos. Os resultados confirmaram a hipótese de que o limiar anaeróbio pode ser identificado por meio de marcadores parassimpáticos (RMSSD e SD1) em ambos os grupos estudados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensidade do menor ponto das variáveis RMSSD-3P e SD1-3P no teste incremental não diferiu da MLSS. Além disso, foi verificada forte correlação entre a MLSS e a velocidade do menor ponto das variáveis RMSSD-3P e SD1-3P. Tal resultado indica que a variabilidade da frequência cardíaca parece ser válida para determinação da MLSS.

O baixo número de participantes é considerado uma limitação do estudo. É importante mencionar que essa pesquisa envolveu mais de um dia de teste, o que dificultou um maior número da amostra. Futuras investigações são necessárias visando aumentar a população investigada, outras modalidades esportivas e protocolos de teste considerando que a VFC é de fácil mensuração, não invasiva e de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- ABAD, C. C. C. Pode os limiares da variabilidade da frequência cardíaca identificar os limiares metabólicos? 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- ALONSO, D. O.; FORJAZ, C. L. M.; REZENDE, L. O.; BRAGA, A. M. F. W.; BARRETTO, A. C. P.; NEGRÃO, C. E.; RONDON, M. U. P. B. Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. **Arq. Bras. Cardiol.**, v.71, n.6, p.787-792, 1998.
- BENEKE, R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, p. 95-99, 2003
- BRUNETTO, A.F.; SILVA, B.M.; ROSEGUINI, B.T.; HIRAI, D. M.; GUEDES, D. P. Ventilatory threshold and heart rate variability in adolescents. **Rev Bras Med Esporte**. v. 11, n. 1, p. 28-33, 2005.
- BRUNETTO A. F.; HIRAI, D.M.; RONQUE, E.V.; GUEDES, D.P. Limiar de variabilidade da frequência cardíaca em adolescentes obesos e não obesos. **Rev Bras Med Esporte**. v. 14, n.2, p. 145-149, 2008.
- BORRESEN, J.; LAMBERT, M. I. Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. **Sports Med**. 38, p. 633–664, 2008.
- CARVALHO, J. L. A. Ferramenta para análise tempo- frequencial da variabilidade da frequência da frequência cardíaca. 2003. Dissertação (Mestrado) – Departamento de engenharia elétrica– Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- FERGUSON, C. M.; MYERS, J.; FROELICHER, V. F. Considerações gerais sobre os testes de esforço. In: THOMPSON, P. D. (org.). **O exercício e a cardiologia do esporte**. Barueri, SP: Manole, 2004, p.67-103
- FIGUEIREDO, A. P.; FIGUEIREDO, B. M.; SILVA, G. R.; PERNAMBUCO, A. P. Comportamento da variabilidade da frequência cardíaca em teste com cargas progressivas. **Conexão ciência**. v. 11, n. 1, 2016.
- FRANCISCHI, R. P.; PEREIRA, L. O.; LANCH JR, A. H. Exercício, comportamento alimentar e obesidade: revisão dos efeitos sobre a composição corporal e parâmetros metabólicos. **Rev. Paul. Educ. Fís.**, v.15, n.2, p.117-140, 2001
- FRONCHETTI, L.; AGUIAR C. A.; NAKAMURA F. Y.; DE OLIVEIRA F. R. Modificações da variabilidade da frequência cardíaca frente ao exercício e treinamento físico. **R. Min. Educ. Fís.**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 101-129, 2007.
- GAESSER, G.A.; POOLE, D.C. The slow componente of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sport Sciences Review**, n.24, p. 35 -70, 1996.
- KARAPETIAN, G. K.;ENGELS, H. J.; GRETEBECK, R. J. Use of heart rate variability to estimate LT and VT. **Int. J. Sports Med.**, v.29, p.652-657, 2008.

- LIMA, J. R. P.; KISS, M. A. P. D. Limiar de variabilidade da frequência cardíaca. **Rev. Bras. Atividade Física e Saúde**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 29-38, 1999.
- MANCHADO, F. B.; GOBATTO, C. A.; CONTARTEZA, R. V. L.; PAPOTI, M.; MELLO, M. A. R. Máxima fase estável de lactato é ergômetro-dependente em modelo experimental utilizando ratos. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v. 12, n. 5, 2006
- McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- MOREL, E. A.; ZAGATTO, A. M.; Adaptação dos testes de lactato mínimo, potência crítica e limiar anaeróbio para avaliação da transição anaeróbia-anaeróbia em protocolo específico para o tênis de mesa. **Rev. Bras. Med Esporte**, v.14, n.6, p.518-217, 2008.
- NASCIMENTO, A. M.; SESTER, D. C.; NIEROTKA, C.; SANTOS, J. F. B.; AFONSO, L. S.; NASCIMENTO, E. M. F.; PIRES, F. O.; BERTUZZI, R. ABAD, C. C. Identificação do limiar de variabilidade da frequência cardíaca em protocolo de lactato mínimo. **Educação Física em Revista**, v. 5, n. 2, 2011.
- NAKAMURA, F. Y.; AGUIAR, C. A.; FRONCHETTI, L.; AGUIAR, A. F.; LIMA, J. R. P. Alteração da limiar de variabilidade da frequência cardíaca após treinamento aeróbio de curto prazo. **Motriz**, Rio Claro, v. 11, n.1, p.01-09, 2005.
- OLIVEIRA, R. S.; PEDRO, R. E.; MILANEZ, V. F.; BORTOLOTTI, H.; COSTA, M. V.; NAKAMURA, F. Y. Relação entre variabilidade da frequência cardíaca e aumento no desempenho físico em jogadores de futebol. **Revista Brasileira Cineantropometria e Desempenho Humano**. v.14 n.6, p. 713-722, 2012.
- PEREIRA, R. R.; PAPOTI, M.; ZAGATTO, A. M.; GOBATTO, C. A. Validação de dois protocolos para determinação do limiar anaeróbio em natação. **Motriz**, v. 8, n. 2, 2002.
- RIBEIRO, B. R.; REIS, R. M.; KOGURE, G. S.; TOURINHO FILHO, H. Variabilidade da Frequência Cardíaca em atletas e não atletas saudáveis – diferenças e alterações provocadas pelo treinamento físico de endurance. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v. 59, n.54, p.446-456, 2015.
- SALES, M. M.; CAMPBELL, C. S. G.; MORAIS, P. K.; ERNESTO, C.; SOARES-CALDEIRA, L. F.; RUSSO, P.; MOTTA, D. F.; MOREIRA, S. R.; NAKAMURA, F. Y.; SIMÕES, H. G. Noninvasive method to estimate anaerobic threshold in individuals with type 2 diabetes. **Diabetology & Metabolic Syndrome**, v.3, n.1, 2011.
- SANTOS, J. W. Protocolos de treinamento aeróbio intervalado e da periodização para natação com ratos. 2004. Dissertação (Doutorado) Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista – São Paulo, 2004.
- TASK FORCE. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. **Circulation**. Vol. 93. Num. 5. 1996. p. 1043-65.
- TULPPO, M. P.; MÄKIKALLIO, T. H.; TAKALA, T. E. S.; SEPPÄNEN, T.; HUIKURI, H. V. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. **Am. J. Physiol.**, 271, p.H244-H252, 1996.

VANDERLEI, L. C. M.; PASTRE, M. C.; HOSHI, R. A.; CARVALHO, T. D.; GODOY, M. F. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. **Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.**v.24 n.2, p. 205–217, 2009.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado (a) a participar da pesquisa "**Investigação da identificação do limiar anaeróbio por meio da Variabilidade da Frequência Cardíaca**". A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar seu consentimento, sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com os pesquisadores ou com a instituição.

O objetivo central desta pesquisa consiste em investigar a possibilidade de identificar o limiar anaeróbio através da variabilidade da frequência cardíaca em atletas universitários praticantes da modalidade de futebol.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em conceder autorização para registro e publicação dos dados obtidos por meio de avaliação física. Também permitirá autorização de registro fotográfico. Salientamos que todos os dados obtidos serão divulgados em meio exclusivamente acadêmico-científico e seu nome será mantido em sigilo.

Você receberá uma cópia deste termo onde constam os contatos dos pesquisadores, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou até a conclusão do mesmo.

Por estarem de acordo assinam o presente termo

_____, ____ / ____ / ____ .

Alexsandro Santos da Silva
Pesquisador Responsável
Tel.: (14) 98819-7389
e-mail: aless89.6@gmail.com

Julio Wilson dos Santos
Orientador Responsável
e-mail: santos@fc.unesp.br

Assinatura do sujeito de pesquisa

Nome: _____
(RG: _____ / CPF: _____ / Tel.: _____)

Alexsandro Santos da Silva (orientando)

Júlio Wilson dos Santos (orientador)