

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

THIAGO FERNANDO LOURENÇO

**CORRELAÇÃO ENTRE O PONTO DE
COMPENSAÇÃO RESPIRATÓRIA E
DESEMPENHO EM CORREDORES DE RUA**

Campinas
2009

THIAGO FERNANDO LOURENÇO

**CORRELAÇÃO ENTRE O PONTO DE
COMPENSAÇÃO RESPIRATÓRIA E
DESEMPENHO EM CORREDORES DE RUA**

Dissertação de Mestrado apresentada à Pós-Graduação da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

Campinas
2009

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
PELA BIBLIOTECA FEF - UNICAMP**

L934c	<p>Lourenço, Thiago Fernando. Correlação entre o ponto de compensação respiratória e desempenho em corredores de rua /Thiago Fernando Lourenço. - Campinas, SP: [s.n], 2009.</p> <p style="text-align: center;">Orientador: Luiz Eduardo Barreto Martins. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.</p> <p style="text-align: center;">1. Teste de esforço. 2. Limiar anaeróbio. 3. Ponto de Compensação Respiratória. 4. Corredores. 5. Amadorismo. I. Martins, Luiz Eduardo Barreto. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">(asm/fef)</p>
-------	--

Título em inglês: Correlation between respiratory compensation point and performance in runners.

Palavras-chaves em inglês (Keywords): Maximum effort test, ventilatory threshold, respiratory compensation point, amateur runners.

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento e Esporte.

Titulação: Mestrado em Educação Física.

Banca Examinadora: Luiz Eduardo Barreto Martins. Lourenço Gallo Júnior. Mara Patrícia Traína Chacon-Mikahil.

Data da defesa: 02/07/2009.

THIAGO FERNANDO LOURENÇO

**CORRELAÇÃO ENTRE O PONTO DE COMPENSAÇÃO
RESPIRATÓRIA E DESEMPENHO EM CORREDORES DE
RUA**

Este exemplar corresponde à redação final da
Dissertação de Mestrado defendida por Thiago
Fernando Lourenço e aprovada pela Comissão
juladora em: 02/07/2009.

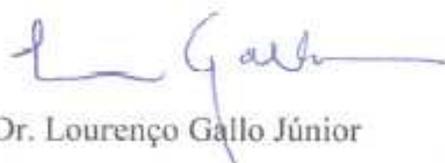


Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins
Orientador

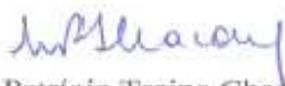
Campinas
2009

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins
Orientador



Dr. Lourenço Gallo Júnior



Dra. Mara Patrícia Traina Chacon-Mikahil

Dedicatória

Muito suor, muitas noites mal dormidas, muito tempo de dedicação, muitos quilômetros percorridos, muitos jogos assistidos, muitas competições presenciadas.... Não me refiro aqui ao MEU suor, ou ao meu esforço em realizar este trabalho, mas sim ao de duas pessoas em especial que me fizeram ser quem realmente sou... Trabalharam dobrado, sacrificando seus sonhos em favor dos meus e do meu irmão...

Choraram quando chorei e sorriram quando sorri.....

PAI, MÃE (in memoriam)... Dedico esse manuscrito a vocês que sempre estiveram e estarão ao meu lado, mesmo que seja só em pensamento, mas que sempre fizeram o máximo de cada um para me ofertar o melhor que a vida pode nos dar: o amor... Nem eu mesmo pude imaginar um dia estar nessa situação, mas se hoje estou, os principais culpados são vocês por me oferecerem uma ótima educação e me mostrarem o caminho certo de todas as coisas...

Mais do que fontes de admiração, perseverança, amor, união, sabedoria, humildade, caráter e principalmente honestidade, vocês são e serão exemplos de SERES HUMANOS e PAIS que seguirei nessa minha nova estrada...

Obrigado pela compreensão quando me distanciei da família para me apegar aos livros.

Obrigado pelo que fizeram por mim sem que ao menos soubesse.

Obrigado pelo sonho que realizo hoje, em que consigo subir mais um degrau da vida, o de ser mestre; e, sobretudo,

Obrigado pela lição de amor que me ensinaram durante toda a vida.

*Tomara Deus que possa transmiti-la no exercício de minha vida,
e ensiná-la aos meus filhos com a mesma dignidade com a qual
vocês a fizeram chegar até mim.*

Se isto conseguir, estarei realizado.

MÃE...Aceitar TUA perda, difícil.

Conviver com tua ausência, doloroso.

*Apenas a certeza de que não perdemos você, pelo
contrário, apesar de separados em mundos invisíveis aos
nossos olhos materialistas, tenho certeza que está aqui
presente no meu coração.*

*Você partiu, sem dizer adeus, e bem antes que esse
momento chegasse, porém, mais do que nunca sinto você
aqui ao meu lado.*

*O que me dá força para seguir é saber que onde quer
que você esteja, está muito orgulhosa por esta conquista.*

*Se hoje não posso lhe dar um forte abraço e chorar
no seu ombro a alegria da minha vitória, não me desespero.*

Sei que sua presença se fará sentir, pois eu, o Dú e o

Léo, somos e seremos a continuidade do seu brilho.

*Este trabalho que hoje lhes dedico é fruto de todo o NOSSO
suor e NOSSA união, união essa cresce a cada dia, junto com
um pouquinho de saudade é verdade, mas como nada na vida
de vocês foi fácil, não será na minha agora, né?!...*

*Tenham certeza que este manuscrito não se encerrará aqui,
apenas finda mais um passo nessa nossa caminhada rumo à
nossa felicidade... Juntos conseguiremos superar todas as
dificuldades, e esse trabalho é mais uma prova disso...*

*Faço aqui uma apropriação de um trecho de uma canção do
Fábio Jr. para sumarizar o que essas duas pessoas
representam para mim...*

“Pais!

Eu cresci e não houve outro jeito

Quero só recostar nos teus peitos

Prá pedir prá vocês irem lá em casa

E brincar de vovô e vovó com meu filho

No tapete da sala de estar

Ah! Ah! Ah!...

Pais!

Vocês foram meus heróis meus bandidos

Hoje são mais

Muito mais que amigos

Nem vocês nem ninguém estão sozinhos

Vocês fazem parte desse caminho

Que hoje eu sigo em paz

Pais! Paz!

Agradecimentos

Sem dúvida nenhuma, agradeço primeiramente a DEUS por me oferecer a oportunidade de viver e conviver neste mundo, além de dar-me saúde para cumprir mais um degrau importante na minha vida.

Agradeço também aos membros da banca por, sem dúvida nenhuma, contribuir positivamente nesse trabalho e na minha vida profissional com seus comentários e ensinamentos.

A FAPESP por financiar e apostar neste trabalho quando era apenas um projeto.

Agradeço também ao Prof. Luiz Eduardo Barreto Martins por me orientar e me fazer mais claro os caminhos estatísticos mais difíceis deste trabalho.

Agradeço também ao Prof. René Brenzikofer pela inclassificável dedicação com todos os alunos do LABEX nos quesitos metodológicos de nossas pesquisas. Sem dúvida nenhuma, também o considero como meu orientador, e espero que nunca nos abandone!

Agradeço especialmente nesse trabalho à Profa. Denise Vaz de Macedo pela oportunidade de fazer parte de minha vida pessoal e acadêmica desde meados de 2002, quando tive contato pela primeira vez com o conteúdo de bioquímica do exercício. Lembro-me como se fosse ontem, quando sem nenhuma pretensão em ingressar no mestrado, fui acompanhar meu colega Danilo no pedido de participar de seu laboratório. Após aquele momento, o menino que chegara a sua sala não parou mais de aprender com a sua mentora... Esse menino se tornou homem, profissional, professor e pai. Durante este caminho alguns “puxões” de orelha é verdade, mas acima de tudo a senhora me ensinou muito academicamente e também profissionalmente... Profa. Denise, muito obrigado por abrir as portas do LABEX para além de pesquisar, integrar este grupo de pesquisa ímpar no Brasil.... Muito Obrigado de verdade!! Espero também permanecer muito tempo ao seu lado, pois a cada dia que passa aprendo algo mais com a senhora!! Obrigado!

Não poderia esquecer-se de agradecer todos os atletas que participaram deste trabalho. Á todos vocês meus sinceros e emocionados agradecimentos.

Muito obrigado também aos meus colegas contemporâneos de LABEX, Renato, Danilo e Duda. Juntos começamos a desbravar no “mundo da bioquímica do exercício”. Muitas risadas dadas, muitas angústias compartilhadas nos

momentos de entrega de relatório ou de incertezas sobre o futuro profissional. Mas acabamos todos nos achando e cumprindo com nosso objetivo de vida. Muito Obrigado!

Aos integrantes da “velha guarda” do LABEX, Fernandão e Lucão! Pôxa... Sem comentários... Além de me espelhar em vocês, tenho a grande honra de ser seus AMIGOS! Tanta conversas, tantos trabalhos, tantas perguntas feitas e respondidas no curso e no laboratório... Momentos bons e ruins passamos juntos... Isso jamais esquecerei... Vocês são meus parceiros de verdade e sempre estarei perto de vocês! Trabalhando ou convivendo! Essa amizade vai ser para sempre! Vocês são feras! Este trabalho também tem um pouquinho de vocês!

Charles e Bernardo... Sem palavras também... Altas discussões acadêmicas e profissionais... Quantas coletas de lactato feitas... Também são exemplos a serem seguidos... Aprendi muito com vocês dois... Muito obrigado pelas oportunidades e fiquem certos que jamais me esquecerei de tudo isso! Muito obrigado!

Ao Renatão... Um pouco acelerado, mas muito honesto e trabalhador... Muitos conselhos também... Muitas influências no meu comportamento... Sempre tem uma boa palavra de amigo nas horas difíceis... E sempre aprendendo junto comigo... Para sempre vamos nos manter juntos! Cabeça, você merece tudo de bom garoto!

Ao Mion, parceiro de conversas, conselhos, segredos, risadas e tudo mais... Passamos muito tempo sem nos conhecer, mas quando entrosamos foi muito bacana... Você é fera também, parceiro! Obrigado por me dar força nos momentos difíceis!

A todos os membros do LABEX por fomentar em mim a chama da investigação e do estudo durante nossas reuniões... Todos têm um futuro brilhante pela frente!

Aos meus colegas de sala 02 diurno da FEF, Kizzy, Silvia, Paula, Zeca, Luís Gustavo, Gabriel, CQ, Júlia, Cíntia, Carol... Todos vocês que fizeram parte do meu amadurecimento e me ajudaram no momento mais difícil da minha vida! A todos vocês muito obrigado!

Agradeço a minha companheira e futura esposa, Carla, de momentos mágicos, nebulosos, alegres, tristes pela força e pela paciência despendida durante esses cinco anos de companheirismo nos momentos em que me afundei nos trabalhos, me esquecendo dela. Gor, você é muito especial na minha vida, não só nesse momento, mas para toda a minha vida... Você me deu o nosso maior presente que é a vida do nosso fruto... O Léozinho! É por vocês dois que tenho corrido tanto na vida após esse evento! Tenho certeza que juntos vamos alcançar nossos objetivos e nossa felicidade! Amo muito vocês! Para sempre ficaremos juntos!

Não posso me esquecer da minha família... Pai, Mãe, Dú, Fia, Degar... Todos, todos vocês têm uma papel enorme nessa

minha caminhada e nesse meu trabalho. Obrigado pela paciência e pela força dada dia a dia após momentos difíceis que passamos juntos. Se por um lado perdemos algo insubstituível, por outro, Deus nos deu outra peça que nos enche de alegria a cada dia. Queria lhes pedir desculpas se alguma vez me comportei de uma maneira inadequada, ou os magoei... Se fiz isso foi sem querer e sempre tentando acertar... Muito obrigado por me ajudar no momento da gravidez da Carla e até hoje, sou muito grato por tudo que fizeram por mim... Dú, muito obrigado pelos ensinamentos de “irmão” mais velho... Apesar das brigas, suportamos tudo e agora colhemos os frutos de nossa batalha e de nossos pais... Muito obrigado pela preocupação comigo e com meu filho... Pode ficar tranquilo que iremos jogar muita bola juntos... Você é um exemplo de vida para mim, viu! Amo você!

Fia, minha segunda, mãe.... Muito obrigado por nos acolher em teu seio após a perda da Mãe... Você é tudo de o que nós precisávamos... nunca conseguiremos te agradecer pelo que nos fez! Você merece muito ser feliz! Muito obrigado! Amo você!

Pai... Sem comentários...Um cara batalhador que hoje vê seu fruto conseguir um título inimaginável até mesmo por mim... só tenho que te agradecer... Não paro por aqui... Minha promessa será cumprida! Te amo muito! Muito mesmo!!

LOURENÇO, Thiago Fernando. **Correlação entre o ponto de compensação respiratória e desempenho em corredores de rua**. 2009. 84f. Dissertação de Mestrado em Biodinâmica do movimento Humano - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

RESUMO GERAL

O consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) é considerado medida padrão de potência aeróbica e desempenho físico, por integrar os sistemas nervoso, cardiopulmonar e metabólico e foi considerado fator determinante para o desempenho de corredores devido as boas correlações encontradas em corridas de 10 a 90 km. Além dele, parâmetros submáximos relacionados ao teste de esforço máximo como limiar ventilatório (LV) e ponto de compensação respiratória (PCR) são usados para a prescrição de intensidades de exercício. Durante a década de 80 inúmeros trabalhos sugeriram que a velocidade de corrida referente ao LV (vLV) seria um bom indicador da capacidade de realizar esforços de longa duração. No entanto, recentes achados relacionando a velocidade entre LV e PCR contradizem tais afirmações. Além disso, poucos trabalhos na literatura buscaram investigar a possível correlação entre a velocidade de corrida referente ao PCR (vPCR) e corrida de 10km. Já que a determinação das vLV, vPCR e vVO_{2max} parecem ser importantes na determinação de desempenho e prescrição de treinamento, os protocolos de esforço máximo aplicados nessa população deveriam se aproximar das condições reais de treinamento e competições desses atletas, bem como determinar claramente tais parâmetros. No entanto, protocolos clássicos ainda são utilizados, devido à tradição e familiaridade dos avaliadores, sem a preocupação do embasamento metabólico e estatístico. Essa escassez de protocolos acaba por dificultar a aplicação prática dos dados obtidos e a determinação do desempenho de corredores. Nesse sentido, buscamos neste trabalho i) propor e verificar a reprodutibilidade de um protocolo incremental em esteira ergométrica específico para corredores e ii) investigar possível relação entre vPCR e desempenho na corrida de 10km (v10km) dessa população. Primeiramente, foram avaliados onze corredores amadores, os quais foram submetidos a quatro repetições do protocolo proposto: estágios de 25 segundos, com incrementos de $0.3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na velocidade de corrida e inclinação fixa da esteira em 1%. Não encontramos diferenças significativas em nenhum parâmetro analisado no LV, PCR e VO_{2max} ($p > 0.05$). Todos os resultados mostraram alta reprodutibilidade ($CV < 9.1\%$) e valores de erro típico (TE) encontrados para vVT (TE = $0.62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), vPCR (TE = $0.35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) e vVO_{2max} (TE = $0.43 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) indicaram alta sensibilidade e reprodutibilidade do protocolo. Posteriormente, vinte corredores realizaram uma simulação de prova de 10km em pista de atletismo e, após 72h, um teste de esforço máximo em esteira ergométrica para a determinação dos parâmetros máximos e submáximos. Valores de v10km foram significativamente superiores aos de vLV e inferiores aos de vVO_{2max} ($p > 0.05$). Nenhuma diferença significativa foi observada entre v10km e vPCR ($p < 0.05$). Fortes correlações entre v10km e vLV ($r = 0.92$; $R^2 = 0.84$) e vVO_{2max} ($r = 0.93$; $R^2 = 0.86$) foram encontradas. Sendo a maior delas observada entre vPCR e v10km ($r = 0.96$; $R^2 = 0.92$). Esses resultados indicam que o protocolo de esforço máximo sugerido aqui é possivelmente capaz de avaliar pequenos efeitos do treinamento nos parâmetros máximos e submáximos, além mostrar a vPCR como um parâmetro interessante na predição de desempenho para corredores de 10km.

Palavras Chaves: Teste de Esforço Máximo; Limiar Ventilatório; Ponto de Compensação Respiratória; Corredores Amadores.

LOURENÇO, Thiago Fernando. **Correlation between respiratory compensation point and performance in runners**. 2009. 84f. Dissertação de Mestrado em Biodinâmica do movimento Humano - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

ABSTRACT

The maximum oxygen uptake (VO_{2max}) is considered a standard measure of aerobic capacity and physical performance for integrating the nervous systems, cardiopulmonary and metabolic and was considered a decisive factor for runners due good correlations found in run from 10 to 90 km. Besides him, sub maximal parameters related to the maximum effort test as ventilatory threshold (VT) and respiratory compensation point (RCP) are used for prescription of exercise intensities. During eighties, countless works suggested that the race speed regarding VT (sVT) would be good indicators of the capacity to accomplish long duration efforts. However, recent discoveries relating the speed between VT and RCP contradict such statements. Besides, few works in the literature looked for to investigate the possible correlation among the race speed regarding RCP (sRCP) and race of 10km. Since the determination of the sVT, sRCP and sVO_{2max} seem to be important in the acting determination and training prescription, the protocols of maximum effort applied in runners would approximate of the real training conditions and those athletes' competitions, as well as to determine such parameters clearly. However, classic protocols are still used, due to the tradition and the appraisers' familiarity, without the concern of the metabolic and statistical concepts. That shortage of protocols used for runners hinders the practical application of obtained data and determination of their performance. In that sense, we looked for in this work i) to propose and verify the reproducibility of an incremental protocol in treadmill specific for runners and ii) investigate possible relationship between sRCP and the average running speed in a 10km race (s10km). Firstly, were appraised eleven amateur runners, which were submitted to four repetitions of proposed protocol: stage durations of 25 seconds, with increments of $0.3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ in the race speed and treadmill inclination stayed fixed in 1%. We didn't find significant differences in any parameter analyzed in VT, RCP and VO_{2max} ($p > 0.05$). All the results showed high reproducibility ($CV < 9.1\%$) and values of typical error (TE) found for sVT ($TE = 0.62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), vPCR ($TE = 0.35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) and sVO_{2max} ($TE = 0.43 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) indicated high protocol's sensibility and reproducibility. Later, nineteen runners accomplished a 10km race simulation in an outdoor track and, after 72 hours, a maximum effort test in a treadmill for the determination of the maximum and sub maximal parameters. v10km values were superiors significantly to the sVT and inferior to the vVO_{2max} ($p > 0.05$). No significant difference was observed between v10km and sRCP ($p < 0.05$). Strong correlations between v10km and sVT ($r = 0.92$; $R^2 = 0.84$) and vVO_{2max} ($r = 0.93$; $R^2 = 0.86$) were found. Being the largest observed between sRCP and v10km ($r = 0.96$; $R^2 = 0.92$). Those results indicate that maximum effort protocol suggested here is possibly capable to evaluate small effects during the training process in the maximum and sub maximal parameters, beyond to show the sRCP as an interesting parameter in the prediction of runner's performance in 10km races.

Keywords: Maximum Effort Test, Ventilatory Threshold, Respiratory Compensation Point, Amateur Runners

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Curvas de consumo de O ₂ , produção de CO ₂ e ventilação (VE) obtidas durante um teste de esforço máximo. Amostras de VO ₂ (+), VCO ₂ (□), VE (o) e FC (l) foram coletadas a cada 25 segundos através do analisador de gases CPXD – MEDGRAPHICS. O sensor de volume foi calibrado utilizando uma seringa de calibração de 3 L e os gases analisados foram calibrados usando uma fração gasosa de concentração: 5% de CO ₂ e 12% de O ₂ balanceado com N ₂	23
Figura 1.2	Panorama metabólico do destino dos gases analisados durante um teste de esforço máximo durante o início do exercício incremental	25
Figura 1.3.	Panorama metabólico do destino dos gases analisados durante um teste de esforço máximo no LV ou Limiar 1	26
Figura 1.4.	Análise para determinação do LV (ou L1) através do método <i>V-Slope</i> (Relação VCO ₂ /VO ₂). A seta indica a intensidade de exercício onde ocorre a perda da linearidade da reta, indicando o ponto correspondente ao LV	28
Figura 1.5.	Análise para determinação do PCR (ou L2) através do método <i>V-Slope</i> (Relação VE/VCO ₂). A seta indica a intensidade de exercício onde ocorre a perda da linearidade da reta, indicando o ponto correspondente ao PCR	29
Figura 2.1.	Um exemplo de resposta ventilatória durante o protocolo (A). As duas linhas verticais indicam o começo e fim do exercício, a linha tracejada o início do incremento de velocidade na esteira. Um exemplo de LV (B) e PCR (C) determinação pelo método de V-slope é mostrada	49
Figura 3.1.	Correlação entre v_{10km} e v_{LV} (A), v_{10km} e v_{PCR} (B) e v_{10km} e $v_{VO_{2max}}$ (C). As figuras acima mostram as retas de regressão linear (verde), intervalo de confiança (vermelhas tracejadas) e a reta de correlação perfeita (preta sólida, $r = 1.0$). As legendas indicam os valores dos coeficientes de correlação (r) e determinação (R^2)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1.	Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos abaixo do LV, ou “Zona 1”.....	31
Tabela 1.2	Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos entre LV e PCR, ou “Zona 2”.....	32
Tabela 1.3	Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos acima do PCR, ou “Zona 3”.....	33
Tabela 2.1.	Dados (média±DP) dos parâmetros ventilatórios e análise estatísticas obtidos no LV durante as quatro repetições em 11 corredores amadores.....	50
Tabela 2.2.	Dados (média±DP) dos parâmetros ventilatórios e análise estatísticas obtidos no PCR durante as quatro repetições em 11 corredores amadores.....	50
Tabela 2.3.	Dados (média±SD) dos parâmetros ventilatórios e análise estatísticas obtidos no VO_{2max} durante as quatro repetições em 11 corredores amadores.....	51
Tabela 3.1.	Caracterização antropométrica e de desempenho dos atletas analisados.....	62
Tabela 3.2	Comparativo dos parâmetros de desempenho obtidos em laboratório e em campo.....	64
Tabela 3.3	Coeficiente de correlação e determinação entre v10km e as velocidades e VO_2 obtidos em LV, PCR e VO_{2max}	64
Tabela 3.4.	Coeficientes de correlação (r), determinação (R^2) e intervalo de confiança ($IC_{95\%}$) entre v10km e velocidades de corrida e VO_2 nas intensidades de LV, PCR e VO_{2max} de todo o grupo.....	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$\% \text{VO}_{2\text{max}}$	Percentual de Utilização do Consumo Máximo de Oxigênio
[Acetil- CoA]	Concentração de Acetil Coenzima A
[Glicogênio]	Concentração de Glicogênio
[lactato]	Concentração de Lactato Plasmático
AAT	Enzima Alanina Aminotransferase
ac	Anidrase Carbônica
Acetil – CoA	Acetil Coenzima A
Acil – CoA	Acil Coenzima A
ADP	Difosfato de Adenosina
AMP	Monofosfato de Adenosina
ATP	Trifosfato de Adenosina
pH	pH Sangüíneo
Ca^{2+}	Íon Cálcio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
$\text{CI}_{95\%}$	Intervalo de Confiança
CK	Ciclo de Krebs
Cl^-	Íon Cloreto
$\text{CL}_{95\%}$	Limite de Confiança
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO_2	Dióxido de Carbono
CS	Enzima Citrato Sintase
CV%	Coefficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
ET	Erro Típico
FAD	Flavina Adenina Dinucleotídeo Oxidada
FADH_2	Dinucleotídeo de Flavina e Adenina Reduzida
FC	Frequência Cardíaca
FC_{LV}	Frequência Cardíaca referente ao Limiar Ventilatório
FC_{max}	Frequência Cardíaca Máxima
FC_{PCR}	Frequência Cardíaca referente ao Ponto de Compensação Respiratória
FEF	Faculdade de Educação Física
FR	<i>Fast Runners</i>
GLUT4	Transportador de Glicose
H^+	Íon Hidrogênio
H_2CO_3	Ácido Carbônico
H_2O	Água
HADH	Enzima 3-hidroxi-acil-Co-A dehydrogenase

Hb	Hemoglobina
HbO₂	Oxi-hemoglobina
HCO₃⁻	Íon Bicarbonato
HQ	Enzima Hexoquinase
IB	Instituto de Biologia
K⁺	Íon Potássio
LABEX	Laboratório de Bioquímica do Exercício
LIB	Laboratório de Instrumentação para Biomecânica
LIF	Laboratório de Instrumentação para Fisiologia
LV	Limiar ventilatório
LV1	Limiar Ventilatório 1
LV2	Limiar Ventilatório 2
MCT	Transportador de Monocarboxilato
MDH	Enzima Malato Desidrogenase
MLSS	Máxima Fase Estável de Lactato
N₂	Nitrogênio
Na⁺	Íon Sódio
NAD⁺	Dinucleotídeo de Nicotinamida e Adenina Oxidada
NADH + H⁺	Dinucleotídeo de Nicotinamida e Adenina Reduzida
O₂	Oxigênio
OAA	Oxaloacetato
pCO₂	Pressão Parcial de Dióxido de Carbono
PCR	Ponto de compensação respiratória
PDH	Enzima Piruvato Desidrogenase
PFK	Enzima Fosfofrutoquinase
Pi	Fosfato Inorgânico
pO₂	Pressão Parcial de Oxigênio
QR	Coefficiente Respiratório
r	Coefficiente de Correlação
R²	Coefficiente de Determinação
REr	Coefficiente de Trocas Respiratórias
REr_{LV}	Coefficiente de Trocas Respiratórias referente ao Limiar Ventilatório
REr_{max}	Máximo valor de Coeficiente de Trocas Respiratórias
REr_{PCR}	Coefficiente de Trocas Respiratórias referente ao Ponto de Compensação Respiratória
SDH	Enzima Succinato Desidrogenase
SR	<i>Slow Runners</i>
T1	Primeira Repetição do Protocolo Incremental
T2	Segunda Repetição do Protocolo Incremental
T3	Terceira Repetição do Protocolo Incremental
T4	Quarta Repetição do Protocolo Incremental
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
v10km	Velocidade de Desempenho em Corrida de 10km

VCO₂	Produção de Dióxido de Carbono
VCO_{2LV}	Produção de Dióxido de Carbono referente ao Limiar Ventilatório
VCO_{2PCR}	Produção de Dióxido de Carbono referente ao Ponto de Compensação Respiratória
VE	Ventilação Pulmonar
vLV	Velocidade de corrida referente ao limiar ventilatório
VO₂	Consumo de Oxigênio
VO_{2LV}	Consumo de Oxigênio referente ao Limiar Ventilatório
VO_{2max}	Consumo máximo de oxigênio
VO_{2PCR}	Consumo de Oxigênio referente ao Ponto de Compensação Respiratória
VO_{2pico}	Consumo Máximo de Oxigênio de Pico
vPCR	Velocidade de corrida referente ao ponto de compensação respiratória
vVO_{2max}	Velocidade de corrida referente ao consumo máximo de oxigênio

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Artigo de Revisão.....	19
1.1 Introdução.....	23
<i>1.1.1 Início do teste incremental.....</i>	24
<i>1.1.2 Limiar Ventilatório ou Limiar 1.....</i>	27
<i>1.1.3 Ponto de Compensação Respiratório ou Limiar 2.....</i>	28
<i>1.1.4 Consumo máximo de O₂ (VO_{2max}).....</i>	29
1.2 Aplicabilidade dos parâmetros ventilatórios no treinamento esportivo.....	31
1.3 Conclusões.....	34
1.4 Referências Bibliográficas.....	35
Capítulo 2 - Reprodutibilidade de um protocolo de esforço de máximo específico para corredores de 10 km.....	40
2.1 Introdução.....	44
2.2 Materiais e Métodos.....	45
<i>2.2.1 Indivíduos Estudados.....</i>	45
<i>2.2.2 Design experimental.....</i>	46
<i>2.2.3 Protocolo de exercício.....</i>	46
<i>2.2.4 Parâmetros cardiorrespiratórios.....</i>	46
<i>2.2.5 Determinações de LV e PCR.....</i>	47
<i>2.2.6 Análise estatística.....</i>	47
2.3 Resultados.....	48
<i>2.3.1 Efeitos do protocolo nos parâmetros de LV.....</i>	49
<i>2.3.2 Efeitos do protocolo nos parâmetros de PCR.....</i>	50
<i>2.3.3 Efeitos de protocolo em parâmetros de VO_{2max}.....</i>	51
2.4 Discussão.....	51
2.5 Referências Bibliográficas.....	54
Capítulo 3 – A velocidade de corrida referente ao ponto de compensação respiratória se correlaciona com a velocidade de corrida em 10 km.....	57
3.1 Introdução.....	60
3.2 Materiais e Métodos.....	61
<i>3.2.1 Indivíduos Estudados.....</i>	61

3.2.2 <i>Teste 1 – Simulação de prova de 10 km</i>	62
3.2.3 <i>Teste 2 – Protocolo de esforço máximo</i>	62
3.2.4 <i>Análise Estatística</i>	63
3.3 Resultados	63
3.4 Discussão	68
3.5 Referências bibliográficas	71
Capítulo 4 – Considerações Finais	74
Apêndice A: Resultados brutos de velocidade de corrida e VO₂ referente ao LV, PCR e VO_{2max} do Capítulo 2	76
Apêndice B: Resultados brutos de VO₂ e VCO₂ referente ao LV, PCR e VO_{2max} do Capítulo 2	77
Apêndice C: Resultados brutos de RER e FC referente ao LV, PCR e VO_{2max} do Capítulo 2	78
Apêndice D: Resultados brutos do Capítulo 3	79
Apêndice E: Termo de Consentimento Formal aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Capítulo 2	80
Apêndice F: Termo de Consentimento Formal aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Capítulo 3	82

Capítulo 1 - Artigo de Revisão

Este artigo foi publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano no ano de 2007, volume 9, número 3, páginas 310-317. Foi desenvolvido em português com o objetivo de ser uma ferramenta pedagógica no auxílio a alunos de graduação e pós - graduação em compreender, sob olhar bioquímico, as informações obtidas através de um teste de esforço máximo.

Capítulo 1

Interpretação metabólica dos parâmetros ventilatórios obtidos durante um teste de esforço máximo e sua aplicabilidade no esporte.

The metabolic interpretation of ventilatory parameters during maximal effort test and their applicability in sports.

Thiago Fernando Lourenço¹; Lucas Samuel Tessutti¹; Luis Eduardo Barreto Martins², René Brenzikofer³ e Denise Vaz de Macedo¹

¹*Laboratório de Bioquímica do Exercício (Labex), Departamento de Bioquímica, Instituto de Biologia, CP 6109, UNICAMP, 13083-970, Campinas, SP, Brasil.*

²*Laboratório de Fisiologia do Exercício (Fisex), Faculdade de Educação Física, Unicamp, Campinas, Brasil.*

³*Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LIB), Faculdade de Educação Física, Unicamp, Campinas, Brasil.*

Thiago Fernando Lourenço

Laboratório de Bioquímica do Exercício (Labex), Departamento de Bioquímica, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo 13083-970, Brasil. Fone: 55-19-35216146

labex@unicamp.br

Suporte Financeiro: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – (07/53135-0)

Interpretação metabólica dos parâmetros ventilatórios obtidos durante um teste de esforço máximo e sua aplicabilidade no esporte.

RESUMO

A determinação das velocidades atingidas no limiar ventilatório (LV), ponto de compensação respiratório (PCR) e consumo máximo de O₂ (VO_{2max}) através de um teste de esforço máximo é uma ferramenta importante para a aplicação de intensidades de treinamento específicas e individualizadas. Mas para poder interpretar os dados de uma forma abrangente, também é importante o entendimento das respostas metabólicas presentes no ajuste dos sistemas de transporte e utilização de O₂ e produção de CO₂ durante a realização do teste. Esta revisão apresenta um panorama das respostas metabólicas que acontecem durante a realização de um teste de esforço máximo hipotético, e a aplicabilidade dos valores obtidos no treinamento de atletas.

Palavras-chave: VO_{2max}, limiar ventilatório, ponto de compensação respiratório, ergoespiometria, atletas.

The metabolic interpretation of ventilatory parameters during maximal effort test and their applicability in sports.

ABSTRACT

Ventilatory threshold (VT), respiratory compensation point (RCP) and the maximal oxygen uptake (VO_{2max}) velocity determinations through a maximal effort test is one important tool to prescript specific training intensities. But, to evaluate the dates completely it is very important to know the metabolic responses that explain the oxygen transport and utilization and CO_2 production adjustment systems during the test. This review discusses both, metabolic response panorama during a maximal effort test and the applicability of obtained data to training prescription.

Keywords: VO_{2max} , ventilatory threshold, respiratory compensation point, ergoespirometry, athletes

1.1 Introdução

Testes de esforço máximo na esteira ergométrica, acoplados a análise de gases, permitem a quantificação dos seguintes parâmetros: consumo de O_2 (VO_2), produção de CO_2 (VCO_2) e ventilação pulmonar (VE) durante todo o período de duração do teste (Figura 1.1). Podemos observar no gráfico que o aumento progressivo da carga de esforço induz um aumento crescente no consumo de O_2 (+) e produção de CO_2 (□) proveniente do metabolismo aeróbico muscular, acompanhados pelo aumento na ventilação pulmonar (o).

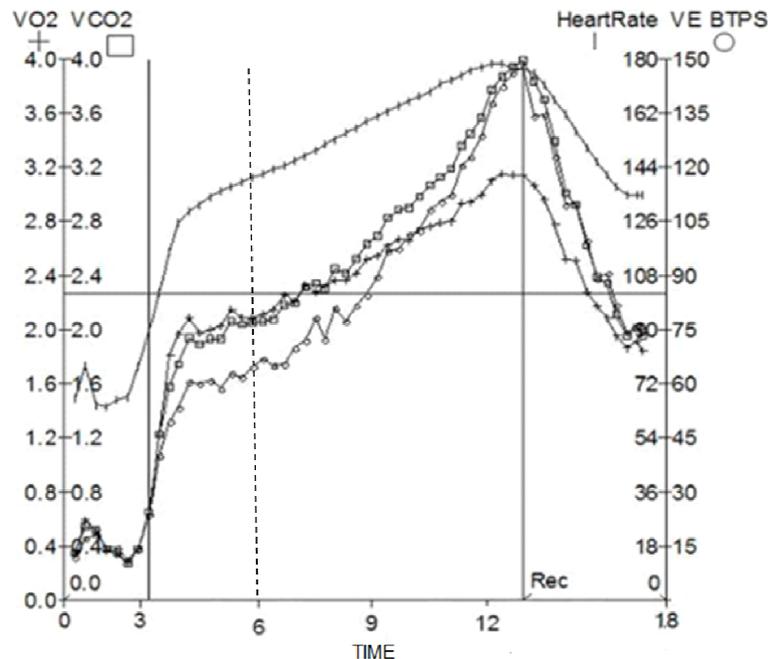


Figura 1.1. Curvas de consumo de O_2 , produção de CO_2 e ventilação (VE) obtidas durante um teste de esforço máximo. Amostras de VO_2 (+), VCO_2 (□), VE (o) e FC (l) foram coletadas a cada 25 segundos através do analisador de gases CPXD – MEDGRAPHICS. O sensor de volume foi calibrado utilizando uma seringa de calibração de 3 L e os gases analisados foram calibrados usando uma fração gasosa de concentração: 5% de CO_2 e 12% de O_2 balanceado com N_2 .

Essas variáveis são amplamente usadas como medida padrão da capacidade e potência aeróbica em pacientes com patologias diversas e em atletas, porque permitem uma análise integrada do sistema nervoso, cardiopulmonar e metabólico durante o teste (Hill e Lupton, 1923; Wasserman, 1982; Day, Rossiter *et al.*, 2003). Para isso, existem diferentes formas de tabular os

valores obtidos nas diferentes intensidades de esforço atingidas, que permitem a obtenção de variáveis sub-máximas e máximas ao longo do teste.

Assim, foi realizada uma investigação literária com o auxílio do banco de dados da CAPES e livros específicos do assunto com o objetivo de apresentar um panorama das respostas metabólicas que acontecem durante a realização de um teste de esforço máximo hipotético, e a aplicabilidade dos valores obtidos no treinamento de atletas.

Por exemplo, a razão entre VCO_2/VO_2 permite a determinação do coeficiente respiratório (QR) ou razão de trocas respiratórias (RER), que indica o predomínio de carboidratos ou lipídeos como fonte energética durante o teste (Jeukendrup e Wallis, 2005), sendo que as determinações desses parâmetros permitem também analisar a taxa de oxidação de carboidratos e gordura em diferentes intensidades de esforço (Jeukendrup e Wallis, 2005).

Como podemos perceber um teste incremental de esforço máximo, acoplado a um analisador de gases é abrangente, e requer a compreensão das respostas metabólicas envolvidas no ajuste dos sistemas de transporte e utilização de O_2 e produção de CO_2 pela musculatura durante a realização do teste (mecanismo periférico). Esse é um dos objetivos dessa revisão, e para essa discussão vamos dividir nosso teste incremental em quatro momentos:

1.1.1 Início do teste incremental

A Figura 1.2 apresenta um panorama metabólico geral da produção, utilização e transporte de gases durante o início da execução de um protocolo de esforço máximo na musculatura, hemácias e pulmões.

Do ponto de vista metabólico, até uma determinada intensidade de esforço, altamente dependente do condicionamento prévio do sujeito, os substratos energéticos utilizados pelo músculo em atividade são os ácidos graxos e o glicogênio muscular (passos 1 e 2), que se transformam em ATP nas mitocôndrias com concomitante consumo de O_2 e H^+ (passo 3).

O CO_2 produzido na musculatura em movimento se difunde na corrente sanguínea (passo 4), e desta, para dentro das hemácias. Nas hemácias o CO_2 reage com H_2O e se transforma em ácido carbônico (H_2CO_3), numa reação catalisada pela enzima anidrase carbônica (passo 5). A presença da anidrase carbônica nas hemácias acelera este mecanismo de 13000 a 25000 vezes (Geers e Gros, 2000). O H_2CO_3 se dissocia rapidamente em H^+ e íons bicarbonato (HCO_3^-).

O H^+ é tamponado pela hemoglobina (passo 6), que já se desligou do O_2 em resposta a baixa pO_2 nos tecidos (passo 7). Os íons HCO_3^- retornam para o sangue em troca com o íon cloreto (Cl^-) (passo 8), se constituindo no tampão mais importante do plasma, e também na principal forma de transporte do CO_2 proveniente dos tecidos para os pulmões.

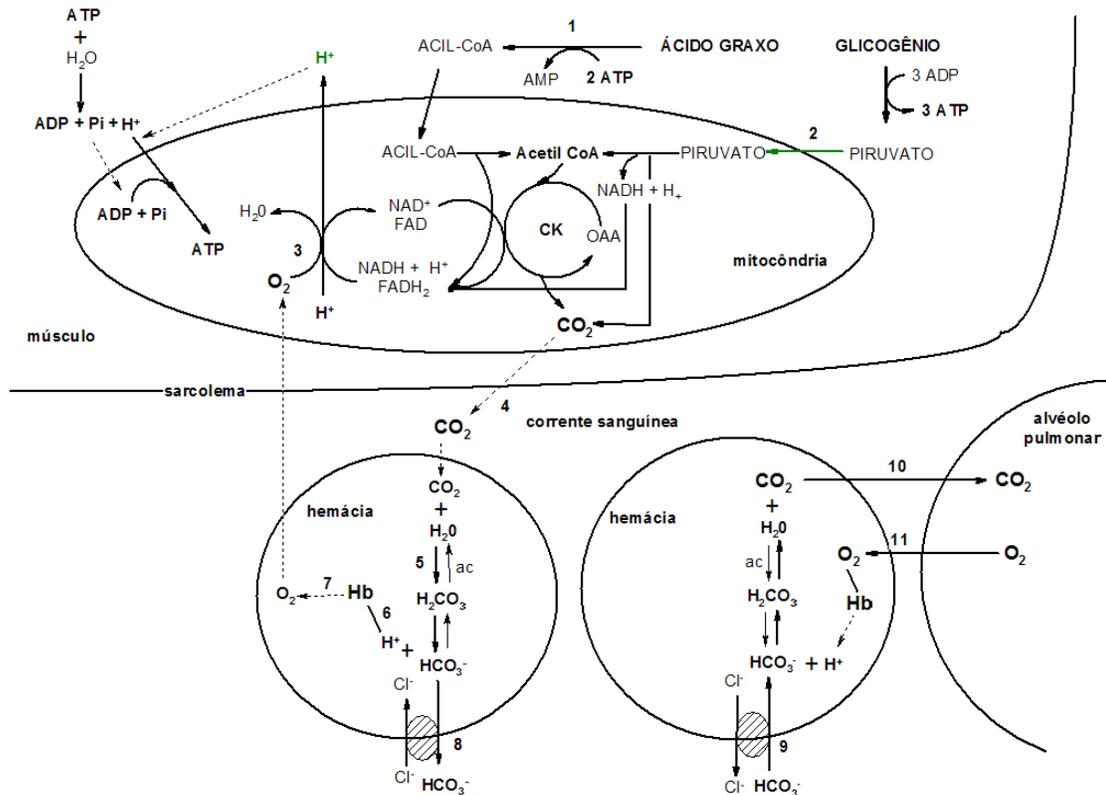


Figura 1.2. Panorama metabólico do destino dos gases analisados durante um teste de esforço máximo durante o início do exercício incremental.

Ao alcançarem os capilares pulmonares toda a seqüência de eventos é revertida, inclusive a troca de Cl^- por HCO_3^- nas hemácias (passo 9), uma vez que existe um gradiente pressórico favorável no sentido capilar-alvéolo pulmonar, pois a pCO_2 nos pulmões é menor que a pCO_2 do sangue venoso (passo 10). A hemoglobina, por sua vez, desliga-se do H^+ (passo 11) e liga-se com alta afinidade ao O_2 alveolar (passo 12).

1.1.2 Limiar Ventilatório ou Limiar 1

Podemos observar pelo esquema apresentado na Figura 1.3 que o aumento sucessivo na intensidade de esforço em condições ainda predominantemente aeróbicas aumenta a concentração de H^+ no citosol muscular, em consequência da hidrólise acentuada de ATP (passo 13), e da incapacidade de tamponamento desses prótons somente pelas mitocôndrias (passo 3), aumentando a participação da enzima lactato desidrogenase, que catalisa a redução do piruvato à lactato como via de tamponamento de H^+ (passo 14) (Meyer, Faude *et al.*, 2004; Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004; Meyer, Lucia *et al.*, 2005).

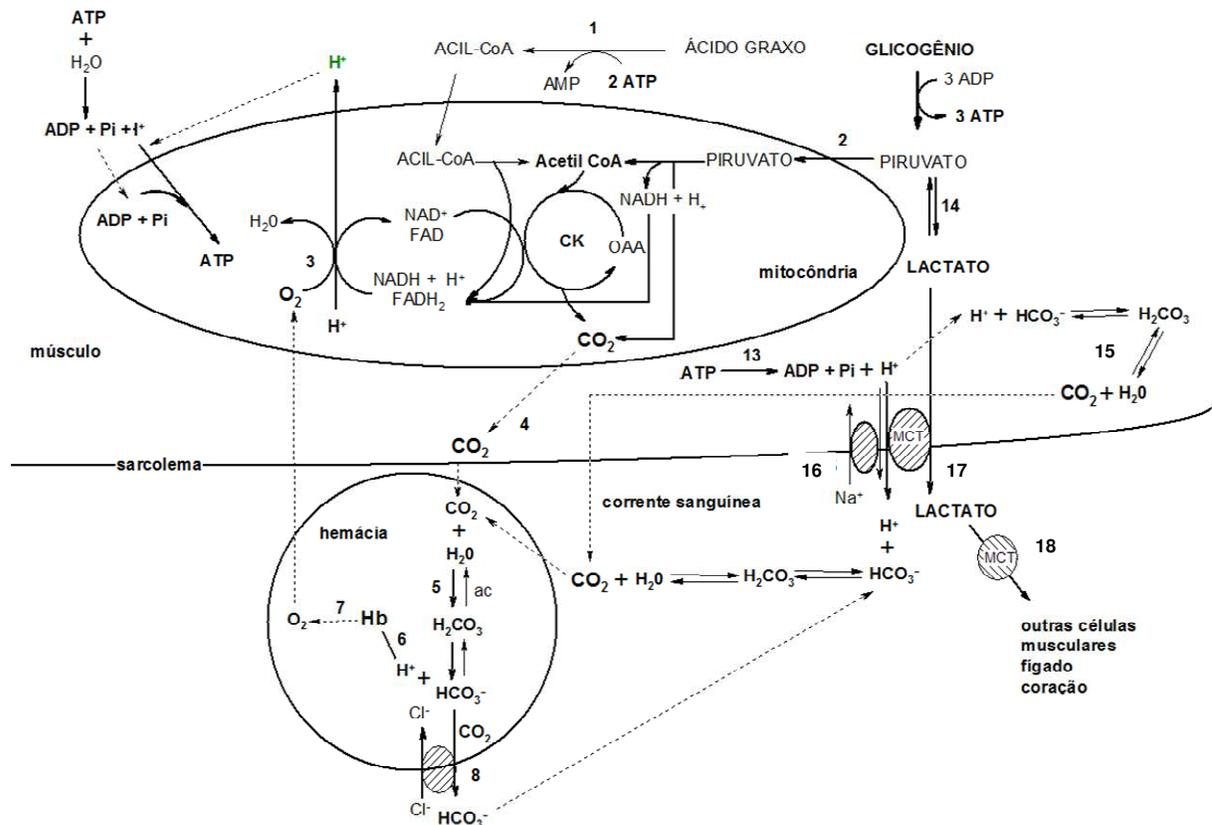


Figura 1.3. Panorama metabólico do destino dos gases analisados durante um teste de esforço máximo no LV ou Limiar 1.

Os H^+ aumentados no citosol muscular são tamponados por tampões fixos intracelulares (proteínas, carnosina e fosfato inorgânico) e pelo HCO_3^- intramuscular (passo 15). Além disso, são transportados para a corrente sanguínea pelos sistemas de transporte antiporte Na^+/H^+ (passo 16) e co-transporte de lactato/ H^+ (passo 17), este último realizado por uma classe de transportadores de monocarboxilatos (MCTs) presentes na membrana plasmática de células de vários tecidos (Cerretelli e Samaja, 2003; Péronnet e Aguilaniu, 2006).

Essa distribuição variada de MCTs permite que o lactato formado na musculatura durante o exercício seja transportado para a o sangue, e deste, para outras células, sempre em co-transporte com H^+ , onde é utilizado como fonte de energia ou de glicose (passo 18) (Brooks, 2000; Gladden, 2000).

Os H^+ que saem em co-transporte com lactato ou em troca com Na^+ são tamponados no plasma pelo sistema HCO_3^- , principalmente, e pelos tampões extracelulares (proteínas plasmáticas e fosfato).

Esta reação, em conjunto com o tamponamento de H^+ intramuscular pelo íon HCO_3^- (passo 15) produzem uma quantidade extra de CO_2 , conhecida como CO_2 não metabólico, que se soma ao CO_2 produzido no ciclo de Krebs pela via aeróbica (passo 4). Esse CO_2 também se difunde para dentro das hemácias, e se transforma em H_2CO_3 , contribuindo para a regeneração do HCO_3^- plasmático (passo 8) (Cerretelli e Samaja, 2003; Péronnet e Aguilaniu, 2006).

Este ponto, marcado pelo aumento abrupto na concentração de CO_2 em relação ao consumo de O_2 é chamado de Limiar Ventilatório (LV) ou Limiar 1 (L1). A Figura 1.4 mostra um método eficiente de detectar este fenômeno, chamado de *V-slope*, que detecta o ponto de início da produção extra de CO_2 pela quebra da linearidade da curva de VCO_2 versus VO_2 (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986a). Segundo a literatura (Meyer, Lucia *et al.*, 2005) tal fenômeno é atingido em corredores e ciclistas profissionais aproximadamente entre <70% a 75% do VO_{2max} .

A partir do LV ocorre um aumento súbito na concentração de lactato sanguíneo (passo 17), que indica o início da contribuição do metabolismo anaeróbico para a manutenção da intensidade do esforço (Bosquet, Léger *et al.*, 2002; Thompson, 2004). Postula-se, no entanto, que o LV representaria o funcionamento máximo do metabolismo oxidativo, com uma contribuição menor do metabolismo glicogenolítico (Meyer, Lucia *et al.*, 2005).

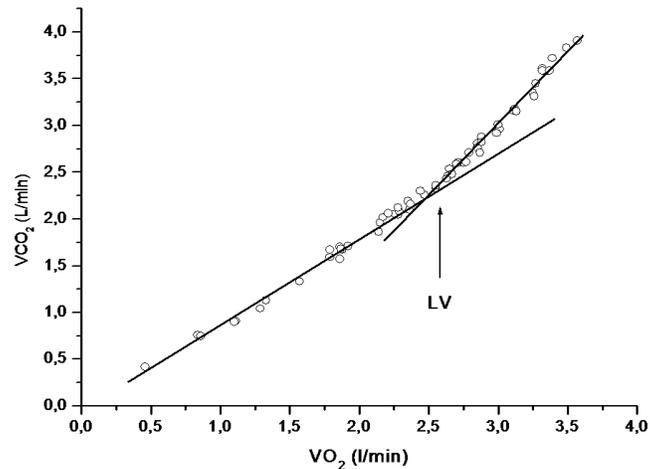


Figura 1.4. Análise para determinação do LV (ou L1) através do método *V-Slope* (Relação VCO_2/VO_2). A seta indica a intensidade de exercício onde ocorre a perda da linearidade da reta, indicando o ponto correspondente ao LV.

1.1.3 Ponto de Compensação Respiratório ou Limiar 2

Com o aumento progressivo na intensidade de exercício o metabolismo anaeróbico láctico passa a contribuir cada vez mais para a formação de ATP (Figura 1.3, passo 14), e a manutenção do pH sanguíneo via tamponamento pelo HCO_3^- e tampões fixos intravasculares começa a entrar em falência (Meyer, Lucia *et al.*, 2005; Péronnet e Aguilaniu, 2006). A queda do pH sanguíneo é prontamente detectada pelos quimiorreceptores periféricos (corpos aórticos e corpos carotídeos) e centrais, gerando como resposta um aumento na VE pelos centros respiratórios, marcando o início da hiperventilação.

É importante ressaltar que a hiperventilação é de fundamental importância para a diminuição da pCO_2 venosa e para o restabelecimento das concentrações de HCO_3^- , com conseqüente aumento do pH plasmático (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986b; Robergs, 2001; Meyer, Faude *et al.*, 2004; Meyer, Lucia *et al.*, 2005).

Esse ponto pode ser visualizado pela perda da linearidade da curva da VE versus VCO_2 (Figura 1.5), sendo conhecido como Ponto de Compensação Respiratória (PCR) ou Limiar 2 (L2) (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986b; Amann, Subudhi *et al.*, 2004; Meyer, Faude *et al.*, 2004;

Meyer, Lucia *et al.*, 2005). De acordo com a revisão de Meyer et al.(2005), este fenômeno é atingido em corredores e ciclistas entre 75% a 85% do VO_{2max} .

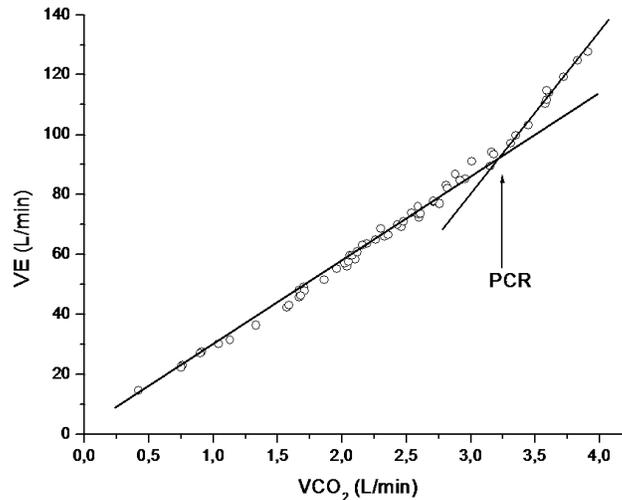


Figura 1.5. Análise para determinação do PCR (ou L2) através do método *V-Slope* (Relação VE/VCO_2). A seta indica a intensidade de exercício onde ocorre a perda da linearidade da reta, indicando o ponto correspondente ao PCR.

1.1.4 Consumo máximo de O₂ (VO_{2max})

Após atingir a velocidade do PCR, o aumento sucessivo da intensidade de exercício leva a um fenômeno chamado VO_{2max} , caracterizado pela máxima capacidade do organismo em captar, transportar e utilizar o oxigênio.

Define-se VO_{2max} quando ocorre um platô (*steady state*) no VO_2 na intensidade máxima do exercício (Hill e Lupton, 1923), conforme a Figura 1.1. Entretanto, a quantificação do VO_{2max} é fortemente dependente de ambos, do protocolo de exercício utilizado durante o teste de esforço máximo e do condicionamento físico do avaliado.

Quando não se observa o platô, os valores mensurados de VO_2 são chamados de VO_{2pico} (Day, Rossiter *et al.*, 2003). Cabe ressaltar que durante um teste essa resposta, na maioria das vezes, é heterogênea; nem sempre os sujeitos submetidos a um mesmo protocolo de esforço

máximo atingem o *steady state* de consumo de O₂ na intensidade máxima do exercício (Maksud e Coutts, 1971; Day, Rossiter *et al.*, 2003).

1.2 Aplicabilidade dos parâmetros ventilatórios no treinamento esportivo

Inúmeros grupos de pesquisa têm utilizado os parâmetros submáximos alcançados no teste de VO_{2max} para a prescrição de intensidades de treino (Meyer, Lucia *et al.*, 2005). Segundo Lucia *et al.* (2002) a determinação do LV1 e LV2 permite estabelecer três “zonas” de intensidade de treinamento distintas:

- ✓ “Zona 1”, ou zona de baixa intensidade – caracterizada por intensidades abaixo do LV1;
- ✓ “Zona 2”, ou zona de intensidade moderada – caracterizada por intensidades que variam entre LV e PCR;
- ✓ “Zona 3”, ou zona de alta intensidade – caracterizada por intensidades acima do PCR ou LV2.

O aumento da velocidade no LV (vLV) se mostra importante para o desenvolvimento da capacidade aeróbica e melhora de desempenho físico. Nesse sentido, observa-se uma tendência na literatura de mostrar que o treinamento físico em intensidades acima da vLV podem gerar maiores adaptações no LV em atletas. Não obstante, treinamentos contínuos na vLV ou muito próximos a ela também fornecem respostas positivas em atletas (Henritze, Weltman *et al.*, 1985; Keith, Jacobs *et al.*, 1992).

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam alguns trabalhos da literatura que mostraram efeitos de treinamentos realizados na zona 1 (Tabela 1.1), zona 2 (Tabela 1.2) e zona 3 (Tabela 1.3) em atletas.

Tabela 1.1**Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos abaixo do LV, ou “Zona 1**

AUTOR	ADAPTAÇÃO	INTENSIDADE
Sjödín, Jacobs et al., 1982	↑VO ₂ de LV	vLV
Henritze, Weltman et al., 1985	↑ Velocidade de LV	Acima da vLV
Poole e Gaesser, 1985	↑VO _{2max} ; ↑LV	50 e 70% do VO _{2max}
Gorostiaga, Walter et al., 1991	↑ CS; ↓ [lactato] plasmático	50% do VO _{2pico}
Keith, Jacobs et al., 1992	↑ Velocidade de LV	Acima e abaixo da vLV
Evertsen, Medbo et al., 2001	↑ Bomba de Na ⁺ /K ⁺	60 a 70% do VO _{2pico}
Bonen, Mccullagh et al., 1998	↑MCT1; ↓ [lactato]	65% do VO _{2pico}
Green, Dahly et al., 1999	↑ HQ; MDH; PFK; VO _{2pico}	68% do VO _{2pico}
Gaskill, Walker et al., 2001	↑VO ₂ de LV	vLV
Evertsen, Medbo et al., 2001	↑MCT1	60 a 70% do VO _{2pico}
	↑ Vol. plasmático; ↑MCT1 e	
Green, Halestrap et al., 2002	MCT4; ↓ [lactato]	60% do VO _{2pico}
Warburton, Haykowsky et al., 2004	↑ Vol. plasmático; ↑ LV	65% do VO _{2pico}
Edge, Bishop et al., 2006	↑VO _{2max} ; ↑LV	80 - 90% da vLV

(CS) citrato sintase; (HQ) hexoquinase; (MDH) malato desidrogenase; (PFK) fosfofrutoquinase

Tabela 1.1. Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos abaixo do LV, ou “Zona 1.

Tabela 1.2

Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos entre LV e PCR, ou “Zona 2”

AUTOR	ADAPTAÇÃO	INTENSIDADE
Macdougall e Sale, 1981	↑VO _{2max} ; ↑ Adaptação cardíaca	75% do VO _{2max}
Bhambhani e Singh, 1985	↑VO _{2max} (18%)	75% do VO _{2max}
Overend, Paterson <i>et al.</i> , 1992	↑VO _{2max} (8%)	80% do VO _{2max}
Evertsen, Medbo <i>et al.</i> , 1997	↑ Bomba de Na ⁺ /K ⁺ ; ↑ Desempenho	80% do VO _{2pico}
Friedlander, Casazza <i>et al.</i> , 1999	↑ Oxidação de ácido graxo	75% do VO _{2pico}
Dubouchaud, Butterfield <i>et al.</i> , 2000	↑VO _{2pico} ; ↑ MCT1 e MCT4; ↑ % fibra tipo I; ↑ CS; ↑ GLUT4	75% do VO _{2pico}
Billat, Lepretre <i>et al.</i> , 2003	↑ Duração e distância percorrida na MLSS	Velocidade da MLSS
Howarth, Leblanc <i>et al.</i> , 2004	↑ CS; ↑ PDH; ↑ [Glicogênio]; ↑ [Acetil-CoA]; ↑ AAT	80% do VO _{2max}
Knechtle, Muller <i>et al.</i> , 2004	↑ Taxa de oxidação de Lipídeos	75% do VO _{2max}
Leblanc, Howarth <i>et al.</i> , 2004	↑VO _{2max} ; ↑ CS; ↑ PDH; ↑ [Glicogênio]; ↓ Lactato	80% do VO _{2max}
Petibois e Déléris, 2005	↓ Estresse Oxidativo	75% do VO _{2max}
Verges, Lenherr <i>et al.</i> , 2007	↑ Resistência dos músculos inspiratórios	85% do VO _{2pico}
Edge, Bishop <i>et al.</i> , 2006	↑VO _{2pico} ; ↑ Capacidade Tamponante Muscular; ↑ LV	Acima do LV (120 - 140% do LV)

(GLUT4) Transportador de Glicose 4; (MLSS) Máxima Fase Estável de Lactato; (PDH) Piruvato Desidrogenase; (AAT) Alanina amino transferase

Tabela 1.2. Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos entre LV e PCR, ou “Zona 2”.

Tabela 1.3

Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos acima do PCR, ou “Zona 3”

AUTOR	ADAPTAÇÃO	INTENSIDADE
Astrand, Astrand <i>et al.</i> , 1960	↑VO _{2max}	90% do VO _{2pico}
Powers, Grinton <i>et al.</i> , 1992	↑ HADH; ↑ CS (nos músculos respiratórios)	90% do VO _{2max}
Burke, 1994	↑VO _{2max} ; ↑ Limiar de Lactato; ↑ LV	80 - 95% do VO _{2max}
Evertsen, Medbo <i>et al.</i> , 1997	↑ Bomba de Na ⁺ /K ⁺ ; ↑ Desempenho	80% do VO _{2max}
Evertsen, Medbo <i>et al.</i> , 1999	↑ SDH; ↓ PFK; VO _{2pico}	80 - 90% do VO _{2max}
Franch, Madsen <i>et al.</i> , 1998	↑VO _{2max} ; ↑ Tempo de exaustão; ↑ Economia de Corrida	90% do VO _{2max}
Oshima, Tanaka <i>et al.</i> , 1998	↑PCR; ↑ Capacidade tamponante; ↑ Capacidade Oxidativa	Acima do PCR
Chicharro, Hoyos <i>et al.</i> , 2000	↑PCR; ↑ Capacidade tamponante; ↑ Capacidade Oxidativa	Acima do PCR
Evertsen, Medbo <i>et al.</i> , 2001	↑ vLimiar de Lactato; ↑ LV	80 - 90% do VO _{2max}
Wisloff, Loennechen <i>et al.</i> , 2001	↑ Contratilidade dos miócitos; ↑ Sensibilidade ao Ca ²⁺	85 - 90% do VO _{2max}
Jemma, Hawley <i>et al.</i> , 2005	↓ Fadiga muscular (eletromiografia)	85% do VO _{2max}

(HADH) 3-hydroxy-acyl-Co-A dehydrogenase; (SDH) Succinato Desidrogenase; (PFK) Fosfrutoquinase

Tabela 1.3. Adaptações morfofuncionais referentes a treinamentos acima do PCR, ou “Zona 3”.

A utilização de intensidades de treinamento relativas à vVO_{2max} também tem se mostrado útil para a melhora do rendimento físico de atletas. Estudos mostraram correlação entre VO_{2max} , distância percorrida e número de *sprints* durante uma partida de futebol após treinamentos realizados a 90–95% do VO_{2max} (Bangsbo, 1994). Um aumento de 11% nos valores de VO_{2max} resultou em um aumento de 20% na distância percorrida pelo atleta e 100% de aumento no número de sprints durante a partida (Helgerud, Engen *et al.*, 2001).

A prática de exercícios intermitentes de alta intensidade, realizados a 120%-150% da vVO_{2max} também mostrou melhoras significativas tanto no desempenho anaeróbico quanto na vVO_{2max} , com aumentos também no VO_{2max} e fluxo sanguíneo (Dupont, Akakpo *et al.*, 2004; Krustup, Hellsten *et al.*, 2004). Outros estudos mostraram que treinamento realizado em intensidades supra vVO_{2max} geraram aumentos na potência aeróbica (Billat, 2001), na atividade de enzimas-chaves da glicólise anaeróbica (Roberts, Billeter *et al.*, 1982; Macdougall, Hicks *et al.*, 1998), na proporção de fibras lentas e concomitante diminuição de fibras rápidas (Iix) (Simoneau, Lortie *et al.*, 1986; 1987; Linossier, Denis *et al.*, 1993), todas adaptações importantes para modalidades acíclicas.

1.3 Conclusões

Em relação aos protocolos de testes de esforço máximo apresentados e discutidos na literatura, destacam-se a variedade de tipos de incremento de carga, tempos de estágio, velocidades de início e inclinação da esteira.

Infelizmente, ainda hoje é muito comum a utilização em atletas de protocolos clássicos que preconizam aumentos de inclinação ao longo do teste para mensuração do VO_{2max} . Embora os resultados obtidos por tais testes permitam a avaliação do sistema cardiovascular do sujeito, não fornecem informações práticas para os preparadores físicos. Por exemplo, um dado importante como a vVO_{2max} muitas vezes não pode ser quantificada, pois normalmente nesse tipo de teste a velocidade é mantida constante, e a carga é aumentada pela inclinação da esteira, inutilizando as respostas obtidas para a prescrição de intensidades de exercício em pista de atletismo, bosques ou parques. Isso reforça a tese de que ainda permanece em aberto qual modelo de avaliação seria realmente mais eficiente para avaliar parâmetros máximos e submáximos de consumo de O_2 numa população específica de atletas, e ainda, como utilizar as informações

obtidas nestas avaliações para a prescrição de intensidades de treinamento (Bosquet, Léger *et al.*, 2002).

1.4 Referências Bibliográficas

Amann, M., A. W. Subudhi, *et al.* An Evaluation of the Predictive Validity and Reliability of Ventilatory Threshold. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.36, n.10, p.1716. 2004.

Astrand, I., P. O. Astrand, *et al.* Intermittent muscular work. Acta Physiol Scand, v.48, p.448-53. 1960.

Bangsbo, J. Energy demands in competitive soccer. Journal of Sports Sciences, v.12, p.S5. 1994.

Beaver, W. L., K. Wasserman, *et al.* Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. Journal of Applied Physiology, v.60, n.2, p.472-478. 1986a.

_____. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol, v.60, n.6, Jun, p.2020-7. 1986b.

Bhambhani, Y. e M. Singh. Ventilatory thresholds during a graded exercise test. Respiration, v.47, n.2, p.120-8. 1985.

Billat, L. V. Interval Training for Performance: A Scientific and Empirical Practice: Special Recommendations for Middle-and Long-Distance Running. Part I: Aerobic Interval Training. Sports Medicine, v.31, n.1, p.13. 2001.

Billat, V., P. M. Lepretre, *et al.* Training and Bioenergetic Characteristics in Elite Male and Female Kenyan Runners. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.35, n.2, p.297. 2003.

Bonen, A., K. J. A. McCullagh, *et al.* Short-term training increases human muscle MCT1 and femoral venous lactate in relation to muscle lactate. American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism, v.274, n.1, p.102-107. 1998.

Bosquet, L., L. Léger, *et al.* Methods to determine aerobic endurance. Sports Medicine, v.32, n.11, p.675. 2002.

Brooks, G. A. Intra-and extra-cellular lactate shuttles. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.32, n.4, p.790. 2000.

Burke, J. Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds: BASM. 28: 18-21 p. 1994.

Cerretelli, P. e M. Samaja. Acid-base balance at exercise in normoxia and in chronic hypoxia. Revisiting the "lactate paradox". European journal of applied physiology, v.90, n.5, p.431-448. 2003.

- Chicharro, J. L., J. Hoyos, *et al.* Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists: *BASM*. 34: 450-455 p. 2000.
- Day, J. R., H. B. Rossiter, *et al.* The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *J Appl Physiol*, v.95, n.5, Nov, p.1901-7. 2003.
- Dubouchaud, H., G. E. Butterfield, *et al.* Endurance training, expression, and physiology of LDH, MCT1, and MCT4 in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology- Endocrinology And Metabolism*, v.278, n.4, p.571-579. 2000.
- Dupont, G., K. Akakpo, *et al.* The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, v.18, n.3, p.584-589. 2004.
- Edge, J., D. Bishop, *et al.* The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *European Journal of Applied Physiology*, v.96, n.1, p.97-105. 2006.
- Evertsen, F., J. I. Medbo, *et al.* Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross-country skiers. *Acta Physiologica Scandinavica*, v.173, n.2, p.195-205. 2001.
- _____. Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiol Scand*, v.167, n.3, p.247-57. 1999.
- _____. Hard training for 5 mo increases Na (+)-K⁺ pump concentration in skeletal muscle of cross-country skiers. *American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v.272, n.5, p.1417-1424. 1997.
- Franch, J., K. Madsen, *et al.* Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v.30, n.8, p.1250. 1998.
- Friedlander, A. L., G. A. Casazza, *et al.* Endurance training increases fatty acid turnover, but not fat oxidation, in young men: *Am Physiological Soc*. 86: 2097-2105 p. 1999.
- Gaskill, S. E., A. J. Walker, *et al.* Changes in ventilatory threshold with exercise training in a sedentary population: The Heritage Family study. *International journal of sports medicine*, v.22, n.8, p.586-592. 2001.
- Geers, C. e G. Gros. Carbon dioxide transport and carbonic anhydrase in blood and muscle. *Physiological Reviews*, v.80, n.2, p.681-715. 2000.
- Gladden, L. B. Muscle as a consumer of lactate. *Med Sci Sports Exerc*, v.32, n.4, Apr, p.764-71. 2000.

Gorostiaga, E. M., C. B. Walter, *et al.* Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. European Journal of Applied Physiology, v.63, n.2, p.101-107. 1991.

Green, H., A. Dahly, *et al.* Serial effects of high-resistance and prolonged endurance training on Na⁺K pump concentration and enzymatic activities in human vastus lateralis. Acta Physiol Scand, v.165, p.177-184. 1999.

Green, H., A. Halestrap, *et al.* Increases in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans. American Journal of Physiology- Endocrinology And Metabolism, v.282, n.1, p.154-160. 2002.

Helgerud, J., C. Engen, *et al.* Aerobic endurance training improves soccer performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.33, n.11, p.1925. 2001.

Henritze, J., A. Weltman, *et al.* Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. European Journal of Applied Physiology, v.54, n.1, p.84-88. 1985.

Hill, A. V. e H. Lupton. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. QJ Med, v.16, p.135-171. 1923.

Howarth, K. R., P. J. Leblanc, *et al.* Effect of endurance training on muscle TCA cycle metabolism during exercise in humans. J Appl Physiol, v.97, n.2, Aug, p.579-84. 2004.

Jemma, J., J. Hawley, *et al.* Endurance Training Of Trained Athletes-An Electromyogram Study. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, v.7, n.1, p.7707-7709. 2005.

Jeukendrup, A. E. e G. A. Wallis. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. International journal of sports medicine. Supplement, v.26, n.1, p.28-37. 2005.

Keith, S. P., I. Jacobs, *et al.* Adaptations to training at the individual anaerobic threshold. European Journal of Applied Physiology, v.65, n.4, p.316-323. 1992.

Knechtle, B., G. Muller, *et al.* Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. International Journal of Sports Medicine, v.25, n.1, p.38-44. 2004.

Krustrup, P., Y. Hellsten, *et al.* Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. The Journal of physiology, v.559, n.1, p.335-345. 2004.

Leblanc, P. J., K. R. Howarth, *et al.* Effects of 7 wk of endurance training on human skeletal muscle metabolism during submaximal exercise. J Appl Physiol, v.97, n.6, Dec, p.2148-53. 2004.

Linossier, M. T., C. Denis, *et al.* Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. European Journal of Applied Physiology, v.67, n.5, p.408-414. 1993.

Lucía, A., J. L. L. Rivero, *et al.* Determinants of O₂ kinetics at high power outputs during a ramp exercise protocol. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.34, n.2, p.326. 2002.

Macdougall, D. e D. Sale. Continuous vs. interval training: a review for the athlete and the coach. Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport, v.6, n.2, p.93. 1981.

Macdougall, J. D., A. L. Hicks, *et al.* Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training: Am Physiological Soc. 84: 2138-2142 p. 1998.

Maksud, M. G. e K. D. Coutts. Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.3, n.2, p.63. 1971.

Meyer, T., O. Faude, *et al.* Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point?: BASM. 38: 622-625 p. 2004.

Meyer, T., A. Lucia, *et al.* A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. Int J Sports Med, v.26, n.1, p.S38-48. 2005.

Oshima, Y., S. Tanaka, *et al.* Effects of endurance training above the anaerobic threshold on isocapnic buffering phase during incremental exercise in middle-distance runners. Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, v.47, n.1, p.43-51. 1998.

Overend, T. J., D. H. Paterson, *et al.* The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. Can J Sport Sci, v.17, n.2, p.129-34. 1992.

Péronnet, F. e B. Aguilaniu. Lactic acid buffering, nonmetabolic CO₂ and exercise hyperventilation: a critical reappraisal. Respiratory physiology & neurobiology, v.150, n.1, p.4-18. 2006.

Petibois, C. e G. Déléris. Erythrocyte Adaptation to Oxidative Stress in Endurance Training. Archives of Medical Research, v.36, n.5, p.524-531. 2005.

Poole, D. C. e G. A. Gaesser. Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. Journal of Applied Physiology, v.58, n.4, p.1115-1121. 1985.

Powers, S. K., S. Grinton, *et al.* High intensity exercise training-induced metabolic alterations in respiratory muscles. Respiration physiology, v.89, n.2, p.169-177. 1992.

Robergs, R. A. Exercise-induced metabolic acidosis: where do the protons come from. Sportscience, v.5, n.2. 2001.

Robergs, R. A., F. Ghiasvand, *et al.* Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, v.287, n.3, Sep, p.R502-16. 2004.

Roberts, A. D., R. Billeter, *et al.* Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. International journal of sports medicine, v.3, n.1, p.18. 1982.

Simoneau, J. A., G. Lortie, *et al.* Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training. International journal of sports medicine, v.7, n.3, p.167-171. 1986.

_____. Effects of two high-intensity intermittent training programs interspaced by detraining on human skeletal muscle and performance. European Journal of Applied Physiology, v.56, n.5, p.516-521. 1987.

Sjödin, B., I. Jacobs, *et al.* Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. European Journal of Applied Physiology, v.49, n.1, p.45-57. 1982.

Thompson, P. D. O exercício ea cardiologia do esporte: Manole. 2004

Verges, S., O. Lenherr, *et al.* Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, v.292, n.3, p.R1246. 2007.

Warburton, D. E. R., M. J. Haykowsky, *et al.* Blood Volume Expansion and Cardiorespiratory Function: Effects of Training Modality. Medicine & Science in Sports & Exercise, v.36, n.6, p.991. 2004.

Wasserman, K. Dyspnea on exertion. Is it the heart or the lungs? JAMA: the journal of the American Medical Association, v.248, n.16, p.2039. 1982.

Wisloff, U., J. P. Loennechen, *et al.* Increased contractility and calcium sensitivity in cardiac myocytes isolated from endurance trained rats. Cardiovascular Research, v.50, n.3, p.495. 2001.

Capítulo 2 - Reprodutibilidade de um protocolo de esforço de máximo específico para corredores de 10 km

Após conhecer bioquimicamente as respostas de um teste de esforço máximo, este artigo foi desenvolvido com o intuito de auxiliar técnicos e preparadores físicos a utilizarem um protocolo de avaliação específico para corredores sendo, ao mesmo tempo, confiável e capaz de detectar pequenas alterações biológicas induzidas pelo treinamento físico.

Capítulo 2

Reprodutibilidade de um protocolo de esforço de máximo específico para corredores de 10 km

Thiago Fernando Lourenço¹; Luiz Eduardo Barreto Martins²; René Brenzikofer³; Lucas Samuel Tessutti¹; Denise Vaz de Macedo¹

¹ *Laboratório de Bioquímica do Exercício (LABEX), Departamento de Bioquímica, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil.*

² *Laboratório de Instrumentação para Fisiologia, Faculdade de Educação Física (FEF), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil.*

³ *Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LIB), Faculdade de Educação Física (FEF), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil.*

Agradecimentos

Agradecemos os atletas que participaram neste estudo. O presente estudo foi financiado pelas agências científico FAPESP e CNPq (03/09923 - 2P e 523383-96-7). O aluno Thiago Fernando Lourenço recebeu financiamento da agência Fapesp (07/53135-0).

Reprodutibilidade de um protocolo de esforço de máximo específico para corredores de 10 km

RESUMO

Protocolos de teste aplicados a corredores deveriam se aproximar das reais condições de treinamento como também serem capazes de determinar claramente parâmetros de submáximos úteis para prescrição e avaliação de treinamento. A determinação das velocidades de corrida referentes ao Limiar Ventilatório (vLV) e no Ponto de Compensação Respiratório (vPCR) facilitam a definição dos três domínios de intensidade de exercício, também importantes para a prescrição do treinamento. Porém, protocolos clássicos ainda são usados em atletas, principalmente devido à familiaridade ou tradição. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi propor e verificar a reprodutibilidade de um protocolo de teste incremental para esteira ergométrica baseado em conceitos metabólicos e demandas específicas de corredores. Onze corredores masculinos amadores foram submetidos a quatro repetições do protocolo que consistiu de estágios de 25-segundos, com incrementos crescentes em velocidade de $0,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada, enquanto a inclinação da esteira permaneceu fixa à 1%, depois de três minutos de aquecimento a $8 - 8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Não foram encontradas diferenças significativas nos parâmetros analisados referentes ao LV, PCR e $\text{VO}_{2\text{max}}$ durante as quatro repetições ($p > 0,05$). Todos os resultados do coeficiente de variação (CV%) mostraram alta reprodutibilidade intra-sujeito (CV $< 9,1\%$). Os valores de erro típico (ET) apresentados para vLV (ET = $0,62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), vPCR (ET = $0,35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) e $\text{vVO}_{2\text{max}}$ (ET = $0,43 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) indicaram alta sensibilidade e confiança deste protocolo. Concluímos que o protocolo de esforço máximo proposto tem potencial para avaliar pequenos efeitos de treinamento em parâmetros máximos e submáximos, além de mostrar uma clara determinação dos parâmetros submáximos.

Palavras chaves: Teste de $\text{VO}_{2\text{max}}$, Limiar Ventilatório, Ponto de Compensação Respiratória, Corredores Amadores.

Reproducibility of specific maximum effort protocol for runners

ABSTRACT

Test protocols applied to runners should approximate actual training and outdoor race conditions, and should enable clear determination of sub-maximal parameters for both training prescription and evaluation. The speed of ventilatory threshold (sVT) and respiratory compensation point (sRCP) determinations facilitate the definition of three exercise intensity domains, which are also important to training prescription. However, classical protocols are still often used for athletes, mainly because of familiarity or tradition. The aim of this study was to propose and verify the reproducibility of an incremental protocol for a treadmill test based on metabolic concepts and specific demands of runners. Eleven amateur male runners underwent four repetitions of the protocol, consisting of 25-second stages, each increasing $0.3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ in running speed while the treadmill grade remained fixed at 1%, after three minutes of warm-up at $8 - 8.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. We found no significant differences in any of the analyzed parameters, including VT, RCP and $\text{VO}_{2\text{max}}$ during the four repetitions ($p > 0.05$). All the results showed high within-subject reproducibility ($\text{CV} < 9.1\%$). The typical error (TE) values presented for sVT ($\text{TE} = 0.62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), sRCP ($\text{TE} = 0.35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) and $\text{sVO}_{2\text{max}}$ ($\text{TE} = 0.43 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) indicated high sensitivity and reproducibility of this protocol. We concluded that this $\text{VO}_{2\text{max}}$ protocol has the potential to enable the evaluation of relatively small training effects on maximal and sub maximal parameters, and facilitated a clear determination of the sub maximal parameters.

Key Words: $\text{VO}_{2\text{max}}$ test, Ventilatory Threshold, Respiratory Compensation Point, Runners.

2.1 Introdução

A avaliação de desempenho durante o processo de treinamento depende da aplicação correta de testes físicos adequados. Protocolos incrementais de esforço máximo em esteira ou bicicleta ergométrica com análise de gases vêm sendo extensamente utilizados durante os programas de treinamento de corredores para avaliar seus efeitos e prescrever intensidades de exercício. Porém, tais protocolos diferem frequentemente em características metodológicas, como duração do estágio e incremento de velocidade (Bentley, Newell *et al.*, 2007).

Para ser aplicado em corredores os protocolos de VO_{2max} deveriam aproximar as reais condições de treinamento e competições (Myers e Bellin, 2000), como também deveria ser capaz de determinar precisamente os parâmetros submáximos como limiar ventilatório (LV) e ponto de compensação respiratória (PCR).

De acordo com estudos prévios o LV pode ser utilizado para determinar o desempenho de atletas em eventos de *endurance* (Robinson, Robinson *et al.*, 1991; Myers e Bellin, 2000). A determinação da velocidade de corrida no LV (vLV) e no PCR (vPCR) também facilita a definição de três domínios de intensidade de exercício, relevante para a prescrição do treinamento físico: leve (inferior ao LV), moderado (entre o LV e PCR) e intenso (superior ao PCR) (Robinson, Robinson *et al.*, 1991; Bentley, Newell *et al.*, 2007).

Estudos sobre a cinética do consumo de oxigênio (VO_2) mostraram que após os primeiros 15 a 25 s de exercício (ou fase II) o VO_2 mensurado na boca indica o real VO_2 muscular. Além disso, a duração desta fase é inversamente relacionada intensidade de exercício, bem como, maiores intensidades podem diminuir o tempo de seu alcance devido ao aumento na vasodilatação muscular e ao deslocamento para a direita da curva de dissociação da HbO_2 , auxiliando no ajuste de respiração mitocondrial (Rossiter, Ward *et al.*, 1999; Scheuermann, Bell *et al.*, 2002).

Os protocolos usados para atletas variam comumente em incremento de velocidade, duração do estágio, incremento de inclinação da esteira e velocidade inicial (Ellestad, 1978; Prud'homme, Bouchard *et al.*, 1984; Beaver, Wasserman *et al.*, 1986; Myers e Bellin, 2000) . Além disso, a maioria deles não se baseiam na cinética de VO_2 , o que dificulta a determinação do LV, PCR e do VO_{2max} (Myers, Buchanan *et al.*, 1991; Myers e Bellin, 2000).

Originalmente, os protocolos de VO_{2max} foram criados e delineados para a avaliação clínica com o intuito de minimizar o desconforto de sujeitos destreinados e cardiopatas (Day, Rossiter *et al.*, 2003; Bentley, Newell *et al.*, 2007). Devido à tecnologia disponível, até o meio do século XX, pesquisadores da ciência do esporte foram limitados às variações de inclinação da esteira para intensificar o exercício durante os testes (Bentley, Newell *et al.*, 2007). Hoje, até mesmo com a disponibilidade de esteiras com controle de velocidade computacional, protocolos clássicos são freqüentemente usados principalmente em atletas devido a tradição e/ou familiaridade dos avaliadores, impedindo a aplicação prática da informação obtida em laboratório no ajuste do treinamento (Myers e Bellin, 2000).

Conforme mostrado pela literatura, protocolos com estágios ≥ 3 minutos resultaram em VO_{2max} inferiores sem consistência na determinação do LV e PCR pela análise de gás (Caiozzo, Davis *et al.*, 1982; Xu e Rhodes, 1999; Bentley, Newell *et al.*, 2007). Protocolos com incrementos de velocidade menores parecem ser mais apropriados na determinação do LV, PCR e VO_{2max} em atletas devido ao ajuste suave da atividade das enzimas oxidativas e glicolíticas para compensar as novas demandas de ATP (Myers e Bellin, 2000; Carter, Pringle *et al.*, 2002). Protocolos com curtos incrementos de velocidade também foram considerados satisfatórios para o alcance do VO_{2max} e para as determinações de LV e PCR através de troca de gases (Bentley, Newell *et al.*, 2007).

Outra dificuldade encontrada é a falta de reprodutibilidade dos valores máximos e submáximos obtidos por estes protocolos, o que pode afetar na precisão da avaliação de desempenho do atleta (Hopkins, 2000). A reprodutibilidade do teste refere-se à consistência da repetição dos resultados obtidos em diversas repetições do protocolo. Além disso, protocolos com baixa reprodutibilidade são inapropriados para identificar mudanças no desempenho durante as avaliações (Hopkins, 2000; Currell e Jeukendrup, 2008). Uma meta-análise mostrou que em 40 estudos que analisaram a reprodutibilidade de protocolos para a determinação do limiar anaeróbio e potência pico, apenas 25% deles analisaram o LV ou VO_{2max} através do analisador de gás, ou repetiram apenas duas vezes os protocolos, o que pode superestimar ou subestimar seus resultados (Currell e Jeukendrup, 2008).

Assim, o objetivo do presente deste estudo foi propor e verificar a reprodutibilidade de um protocolo incremental de esforço máximo para corredores, utilizando esteira ergométrica

permitindo a mensuração dos parâmetros máximos e submáximos, bem como a velocidade de corrida do atleta referente a esses parâmetros.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Indivíduos Estudados

Participaram deste estudo onze corredores amadores ($38,4 \pm 4,8$ anos, $66,1 \pm 5,8$ kg e $1,67 \pm 0,55$ m) especializados em corridas de 10-km. Todos eles tinham mais que um ano (1,5 a 5 anos) de treinamento sistematizado em corrida, com frequência semanal de três a cinco sessões que variam de 40 a 100 km/semana e tempo médio de corrida nos 10 km de $40 \pm 3,8$ min. Os atletas corredores foram aconselhados manterem inalteradas suas dietas e se absterem da prática de atividade física durante o período de experimentos. Todos foram informados dos procedimentos e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido de participação no estudo, de acordo com as diretrizes do Comitê de Éticas de Pesquisa da Universidade.

2.2.2 Design experimental

Os voluntários realizaram seis visitas ao laboratório com pelo menos 48 horas de descanso entre elas. Objetivando evitar variações circadianas, os testes individuais foram executados invariavelmente nos mesmos horários do dia (Brisswalter, Bieuzen *et al.*, 2007).

Previamente ao início dos experimentos, todos os voluntários passaram por duas sessões de familiarização com a esteira ergométrica, máscara e as condições laboratoriais (temperatura e ambiente). Na primeira visita, correram 30 min com máscara facial. A velocidade da esteira foi acrescida até alcançar uma velocidade confortável, a qual se encontrou acima da transição do caminhar para a corrida, sendo considerada posteriormente como a velocidade inicial de corrida durante as execuções do protocolo proposto. Na segunda visita, foi feita uma simulação do teste com todos os equipamentos utilizados. Depois disso, realizamos quatro repetições do protocolo proposto (T1, T2, T3 e T4).

2.2.3 Protocolo de exercício

Depois de três minutos de aquecimento a $8 - 8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ os sujeitos iniciaram o protocolo a $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ com inclinação da esteira fixa em 1% (Jones e Doust, 1996). Depois de cada intervalo de 25 s, a velocidade foi elevada em $0,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ até a exaustão do voluntário. Os sujeitos foram encorajados verbalmente a atingirem a máxima intensidade de exercício possível. Após a exaustão, os sujeitos foram submetidos a um protocolo de recuperação de cinco minutos onde a cada minuto a velocidade foi diminuída a 60%, 55%, 50%, 45% e 40% da máxima velocidade alcançada para evitar desconfortos nos avaliados.

2.2.4 Parâmetros cardiorrespiratórios

O consumo de oxigênio (VO_2), a produção de gás carbônico (VCO_2) e taxa de troca respiratória (RER) foram mensurados respiração a respiração através do analisador de gases (CPX/D Med Gráficos, St. Paul, MN). Para análise dos dados e os relacionar com a fase II da cinética de VO_2 , usamos valores médios de cada variável a cada 25s, o que compreendia cada estágio do protocolo proposto. Antes de cada teste, o analisador foi calibrado com uma mistura de gases conhecida (12% O_2 e 5% CO_2) e o sensor de volume com uma seringa de 3L. A frequência cardíaca (FC) foi continuamente mensurada pelo monitor cardíaco Polar® (Electro Oy Polar, Helsinki, a Finlândia).

Consideramos o último estágio completado pelos sujeitos em cada teste para a determinação do $\text{VO}_{2\text{max}}$, máxima velocidade atingida ($v\text{VO}_{2\text{max}}$), máxima produção de gás carbônico ($\text{VCO}_{2\text{max}}$), razão de troca respiratória máxima (RER_{max}) e FC máxima (FC_{max}). Foi considerado $\text{VO}_{2\text{max}}$ a presença ou ausência de "plateau" de VO_2 durante os protocolos (Poole, Wilkerson *et al.*, 2008).

2.2.5 Determinações de LV e PCR

Para a determinação visual do LV foi utilizado o método *V-slope* de acordo com (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986) e (Meyer, Lucia *et al.*, 2005). Este método permite a caracterização de LV pela perda de linearidade de VCO_2/VO_2 . A determinação visual do PCR foi obtida através da perda da linearidade da relação VE/VCO_2 (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986).

Por este método, foi possível determinar o VO_2 (VO_{2LV} ; VO_{2PCR}), VCO_2 (VCO_{2LV} ; VCO_{2PCR}) e RER (REr_{LV} ; REr_{PCR}) referentes ao LV e PCR. Também foram determinadas a velocidade de corrida (v_{LV} ; v_{PCR}) e FC (FC_{LV} ; FC_{PCR}) para estes parâmetros.

2.2.6 Análise estatística

A ausência de efeitos de aprendizagem e diferenças estatísticas entre as médias de cada teste foram testadas utilizando ANOVA two-way com o *post hoc* de Tukey quando necessário. Foram consideradas diferenças significativas quando $p < 0,05$.

A confiabilidade do protocolo foi analisada utilizando as variações intra-sujeito para computar o erro típico (ET), de acordo com sugestão de (Hopkins, 2000). Para permitir comparações entre diferentes estudos, o coeficiente de variação (CV%) foi calculado dividindo o ET pelas médias das variáveis do grupo em todas as repetições do protocolo. A precisão e sensibilidade do protocolo foram analisadas através dos limites de confiança superiores e inferiores ($CL_{95\%}$) do ET.

Os resultados de todos os sujeitos em cada parâmetro são mostrados nas Tabelas como média \pm desvio padrão (DP) para cada teste e CV%, ET e $CL_{95\%}$ caracterizando os quatro testes.

2.3 Resultados

Um exemplo típico de uma resposta ventilatória de um sujeito é mostrado na Figura 2.1. Podemos observar uma resposta linear dos parâmetros ventilatórios durante o teste (Figura 2.1A), permitindo uma estimativa confiável do LV (Figura 2.1B) e PCR (Figura 2.1C) pelo método de *V-slope*. A qualidade destas determinações foi favorecida pelo número razoável de estágios em cada um dos domínios de intensidade: moderado ($10,7 \pm 0,5$ estágios), pesado ($9,4 \pm 0,4$ estágios) e severo ($12,9 \pm 0,4$ estágios).

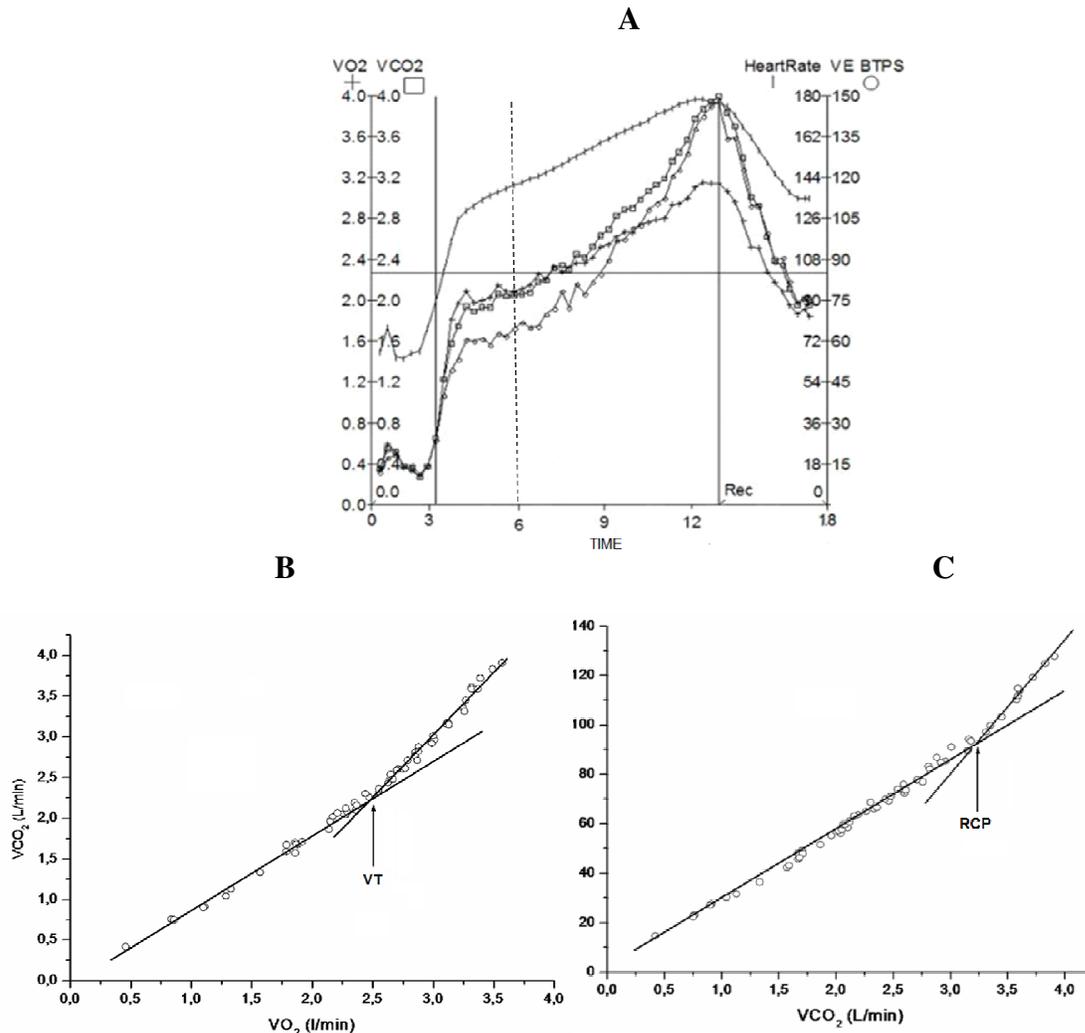


Figura 2.1. Um exemplo de resposta ventilatória durante o protocolo (A). As duas linhas verticais indicam o começo e fim do exercício, a linha tracejada o início do incremento de velocidade na esteira. Um exemplo de LV (B) e PCR (C) determinação pelo método de V-slope é mostrada.

2.3.1 Efeitos do protocolo nos parâmetros de LV

Os dados coletados referentes ao LV durante todas as repetições estão mostrados na Tabela 2.1 (média±DP, n=11). Também é mostrado o CV% médio, ET e seu CL_{95%}.

Nenhuma diferença significativa foi observada em qualquer parâmetro analisado durante T1, T2, T3 e T4 ($p>0.05$). Os valores médios de CV% indicaram erros típicos que variaram de 4% (RE_{LV}) a 7% (VCO_{2LV}). Note que para vLV, um parâmetro importante para prescrição de treinamento, o CV% médio foi de 5% indicando boa reprodutibilidade do protocolo. Além disso,

a sensibilidade do protocolo encontrado para vLV, mostrada através do limite superior do CL_{95%} do ET, equivale a aproximadamente três estágios deste protocolo (0.9 km•h⁻¹).

Tabela 2.1. Dados (média±DP) dos parâmetros ventilatórios e análise estatísticas obtidos no LV durante as quatro repetições em 11 corredores amadores.

	T1	T2	T3	T4	CV%	TE	CL _{95%}	%MAX
VO ₂ LV ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	2,07±0,3	2,14±0,2	2,06±0,3	1,97±0,3	6,2	0,13	0,10 to 0,17	66,3±1,96
VO ₂ LV ($mL \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	31,8±4,3	32,0±2,6	30,7±3,9	29,2±3,7	6,0	1,84	1,39 to 2,43	66,3±1,89
VCO ₂ LV ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	1,89±0,3	1,92±0,2	1,91±0,3	1,90±0,3	7,0	0,13	0,10 to 0,17	53,0±1,58
vLV ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	11,9±1,4	11,7±1,3	12,1±1,1	11,9±1,2	5,2	0,62	0,47 to 0,82	63,7±1,08
RErLV	0,92±0,04	0,91±0,04	0,93±0,04	0,91±0,06	4,0	0,04	0,03 to 0,05	79,7±1,24
FCLV (<i>bpm</i>)	139±14,2	138±12,0	140±15,5	142±11,8	4,3	6,18	4,68 to 8,16	80,1±1,01

Para todos os parâmetros $p > 0,05$. CV (%) = Coeficiente de variação. ET = Erro Típico. %MAX = Percentual referente ao máximo. CL_{95%} = Limite de Confiança inferior e superior do ET.

.3.2 Efeitos do protocolo nos parâmetros de PCR

Os resultados dos mesmos parâmetros encontrados no PCR durante todas as repetições são mostrados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Dados (média±DP) dos parâmetros ventilatórios e análise estatísticas obtidos no PCR durante as quatro repetições em 11 corredores amadores.

	T1	T2	T3	T4	CV%	ET	CL _{95%}	%MAX
VO ₂ PCR ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	2,49±0,3	2,53±0,2	2,51±0,3	2,53±0,2	7,5	0,19	0,14 to 0,25	80,3±1,43
VO ₂ PCR ($mL \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	38,5±5,2	38,5±3,4	37,4±4,6	36,2±3,2	8,2	3,08	2,33 to 4,07	80,4±1,38
VCO ₂ PCR ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	2,47±0,3	2,54±0,2	2,51±0,3	2,50±0,2	7,7	0,19	0,14 to 0,25	69,2±1,20
vPCR ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	14,9±1,2	14,6±1,3	14,8±0,9	14,8±1,1	2,4	0,35	0,27 to 0,44	78,6±1,45
RErPCR	0,99±0,02	0,99±0,02	1,00±0,03	1,03±0,03	2,4	0,02	0,02 to 0,03	85,8±0,35
FCRCP (<i>bpm</i>)	161±8,2	158±10,7	159±14,2	158±13,0	4,2	6,68	5,06 to 8,82	89,2±1,83

Para todos os parâmetros $p > 0,05$. CV (%) = Coeficiente de variação. ET = Erro Típico. %MAX = Percentual referente ao máximo. CL_{95%} = Limite de Confiança inferior e superior do ET.

Não foram encontradas diferenças significantes nos parâmetros relacionados ao PCR durante T1, T2, T3 e T4 ($p > 0,05$). Os valores médios de CV% para VO₂PCR e vPCR que também

são relevantes para prescrever intensidades de exercício foram inferiores a 2,5%. O valor encontrado de ET para vPCR ($0,35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) foi menor que ao observado para vLV ($0,62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), o que representa apenas um estágio deste protocolo.

2.3.3 Efeitos de protocolo em parâmetros de $VO_{2\text{max}}$

A Tabela 2.3 mostra os dados dos mesmos parâmetros analisados no $VO_{2\text{max}}$ (média±SD, n=11).

Tabela 2.3. Dados (média±SD) dos parâmetros ventilatórios e análise estatísticas obtidos no $VO_{2\text{max}}$ durante as quatro repetições em 11 corredores amadores..

	T1	T2	T3	T4	CV%	ET	CL _{95%}
$VO_{2\text{max}} (L\cdot\text{min}^{-1})$	3,11±0,3	3,26±0,3	3,15±0,3	3,07±0,2	8,5	0,26	0,20 to 0,34
$VO_{2\text{max}} (mL\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	46,7±4,2	48,8±5,2	48,0±4,5	45,9±4,6	9,1	4,27	3,23 to 5,64
$VCO_{2\text{max}} (L\cdot\text{min}^{-1})$	3,49±0,3	3,76±0,4	3,54±0,5	3,69±0,2	8,5	0,26	0,20 to 0,34
$vVO_{2\text{max}} (km\cdot\text{h}^{-1})$	18,6±0,9	18,6±1,0	18,7±0,9	18,6±1,2	2,3	0,43	0,33 to 0,57
RErmax	1,16±0,04	1,16±0,05	1,16±0,05	1,20±0,05	3,8	0,04	0,03 to 0,05
FCmax (bpm)	175±12,5	179,5±10,2	179,5±12,1	179,2±8,9	3,2	5,62	4,26 to 7,42

Para todos os parâmetros $p > 0,05$. CV (%) = Coeficiente de variação. ET = Erro Típico. %MAX = Percentual referente ao máximo. CL_{95%} = Limite de Confiança inferior e superior do ET.

Novamente não foram encontradas diferenças significativas entre T1, T2, T3 e T4 para $VO_{2\text{max}}$ ($p > 0,05$). Todos os parâmetros mostraram $CV\% \leq 9,1\%$, indicando alta reprodutibilidade do protocolo. O ET para $vVO_{2\text{max}}$ ($0,43 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) se encontrou entre valores de ET para vLV e vPCR.

2.4 Discussão

Neste estudo apresentamos um protocolo específico de esforço de máximo para corredores, baseado em premissas metabólicas (cinética de VO_2 e inclinação) que simulam reais condições de treinamento. Nosso objetivo foi testar sua aplicabilidade como ferramenta de avaliação de atletas em função da semelhança entre as respostas metabólicas obtidas no teste e a

corrida. Para isso, procuramos desenvolver um teste capaz de permitir a determinação de parâmetros de desempenho e intensidades de treinamento, como vLV , $vPCR$ e vVO_{2max} .

A reprodutibilidade do protocolo foi demonstrada pelo erro típico (ET) e em termos percentuais (CV%), para facilitar a comparação entre estudos diferentes, e o limite superior de $CL_{95\%}$ foi usado para quantificar a sensibilidade do teste (Hopkins, 2000; Currell e Jeukendrup, 2008).

Os valores de CV% relativo à VO_{2max} foram ligeiramente superiores aos corredores analisados por Rivera-Brown et al. (1995) (CV% = 2%; n=19), e Weltman, Snead *et al.* (1990) (CV% = 4,8%, n = 15). A variabilidade biológica associada às variáveis respiratórias (Hopkins, 2000) e diferentes níveis de condicionamento físico dos avaliados em cada estudo podem explicar tais diferenças. Embora a vVO_{2max} , mostrado aqui seja menor do que encontrado por Billat, Hill *et al.* (1996) ($18,7 \pm 0,9$ vs $20,7 \pm 1$ $km \cdot h^{-1}$), o valor médio de CV% se mostrou inferior (2,3% vs 5%, respectivamente). Possivelmente, os menores incrementos utilizados em nosso protocolo e duração de cada estágio permitiram uma melhor precisão na determinação da vVO_{2max} .

O CV% para VO_{2LV} (CV% = 6%) se mostrou próximo ao encontrado por Meyer, Hajric *et al.*, (1996) e Caiozzo, Davis *et al.* (1982) (CV% = 5,6% e 6,3%, respectivamente). Porém, nestes estudos os autores utilizaram bicicleta ergométrica, menor número de voluntários (n=7) e menor número de aplicação de testes que o presente estudo. Davis, Vodak *et al.* (1976), analisando 30 estudantes através de duas repetições em esteira ergométrica, também encontrou valores médios de CV% (6,3%) próximo dos encontrados por nosso grupo. Nosso CV% para vLV (CV% = 5,2%) também foi semelhante ao encontrado por Dickhuth, Yin *et al.* (1999), (CV% = 5,8%), onde analisou onze sujeitos saudáveis. No entanto, vale ressaltar que a comparação dos resultados referentes ao PCR com dados de literatura foi difícil devido à escassez de estudos que analisam estas variáveis em referentes ao PCR.

Os resultados apresentados aqui mostraram que duração de estágio de 25s conseguiu gerar boa visualização de LV e PCR pelo método de *V-slope* (Figura 2.1). A importância em se atingir o tempo necessário para alcançar a fase II e o ajuste mitocondrial na geração de energia a cada troca de estágio pode explicar este comportamento (Rossiter, Ward *et al.*, 1999; Scheuermann, Bell *et al.*, 2002; Jones, Berger *et al.*, 2006). Também, a fase de aquecimento utilizada (3 min a $8-8,5$ $km \cdot h^{-1}$) próximo à velocidade inicial do teste (9 $km \cdot h^{-1}$) parece ter permitido o alcance da

fase II e a estabilização dos parâmetros de ventilatórios antes da fase incremental do protocolo, reduzindo os efeitos da transição de intensidades de exercício na cinética do VO_2 .

Outro ponto importante o uso do incremento de velocidade de $0.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ que poderia contribuir para uma menor perturbação do metabolismo muscular, facilitando assim o ajuste mitocondrial e a quantificação de um VO_2 fidedigno em cada estágio (Hochachka e Matheson, 1992; Myers e Bellin, 2000; Scheuermann, Bell *et al.*, 2002).

Esta composição entre duração do estágio e o incremento de velocidade pôde ter contribuído na determinação do LV e PCR (Figura 2.1B/2.1C) por gerar um número semelhante de estágio em cada domínio de intensidade: leve ($10,7 \pm 0,5$ estágios), moderado ($9,4 \pm 0,4$ estágios) e intenso ($12,9 \pm 0,4$ estágios). Além disso, o número médio de estágios encontrado neste protocolo ($33,1 \pm 0,1$) produziu um tempo total de teste ($13,8 \pm 1,3$ min) próximo aos achados em outros estudos (Myers e Bellin, 2000).

Os resultados de ET apresentados aqui para parâmetros de intensidade de treinamento como vLV (TE = $0,62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), vPCR (ET = $0,35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) e v $\text{VO}_{2\text{max}}$ (ET = $0,43 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) indicou sensibilidade e confiança deste protocolo. O limite de confiança superior (CL_{95%}) do ET pode ser útil para treinadores e pesquisadores por permitir a eles determinações se reais mudanças ocorreram após um determinado programa de treinamento.

Por exemplo, se a diferença entre o teste e o re-teste para um atleta exceder o intervalo de $\pm 0,82 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para vLV, a mudança pode ser considerada significativa ($p < 0,05$). Por outro lado, uma diferença dentro deste intervalo pode ser considerada ao erro embutido no protocolo ou a variações biológicas. Este conceito também pode ser aplicado para pequenas variações de desempenho em outros parâmetros obtidos em LV, PCR e $\text{VO}_{2\text{max}}$.

Por fim, o presente protocolo foi capaz de possivelmente detectar pequenos efeitos de treinamento em parâmetros máximos e submáximos, mostrando uma clara determinação para velocidades relacionadas ao LV, PCR e $\text{VO}_{2\text{max}}$. A determinação da velocidade nestes parâmetros pode contribuir para a melhoria de prescrição de intensidades de treinamento que sejam específicas para corredores.

2.5 Referências Bibliográficas

Beaver, W. L., K. Wasserman, *et al.* A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol, v.60, n.6, Jun, p.2020-7. 1986.

Bentley, D. J., J. Newell, *et al.* Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. Sports Med, v.37, n.7, p.575-86. 2007.

Billat, V. L., D. W. Hill, *et al.* Effect of protocol on determination of velocity at VO₂ max and on its time to exhaustion. Arch Physiol Biochem, v.104, n.3, p.313-21. 1996.

Brisswalter, J., F. Bieuzen, *et al.* Morning-to-evening differences in oxygen uptake kinetics in short-duration cycling exercise. Chronobiol Int, v.24, n.3, p.495-506. 2007.

Caiozzo, V. J., J. A. Davis, *et al.* A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. J Appl Physiol, v.53, n.5, Nov, p.1184-9. 1982.

Carter, H., J. S. Pringle, *et al.* Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. Eur J Appl Physiol, v.86, n.4, Feb, p.347-54. 2002.

Currell, K. e A. E. Jeukendrup. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. Sports Med, v.38, n.4, p.297-316. 2008.

Davis, J. A., P. Vodak, *et al.* Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. J Appl Physiol, v.41, n.4, Oct, p.544-50. 1976.

Day, J. R., H. B. Rossiter, *et al.* The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. J Appl Physiol, v.95, n.5, Nov, p.1901-7. 2003.

Dickhuth, H. H., L. Yin, *et al.* Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. Int J Sports Med, v.20, n.2, Feb, p.122-7. 1999.

Ellestad, M. H. Stress testing in the evaluation of patients suspected of having coronary heart disease. Cleve Clin Q, v.45, n.1, Spring, p.11-2. 1978.

Hochachka, P. W. e G. O. Matheson. Regulating ATP turnover rates over broad dynamic work ranges in skeletal muscles. J Appl Physiol, v.73, n.5, Nov, p.1697-703. 1992.

Hopkins, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. Sports Med, v.30, n.1, Jul, p.1-15. 2000.

Jones, A. M., N. J. Berger, *et al.* Effects of "priming" exercise on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics during heavy-intensity cycle exercise in the supine and upright positions. J Appl Physiol, v.101, n.5, Nov, p.1432-41. 2006.

Jones, A. M. e J. H. Doust. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. J Sports Sci, v.14, n.4, Aug, p.321-7. 1996.

Meyer, K., R. Hajric, *et al.* Ventilatory and lactate threshold determinations in healthy normals and cardiac patients: methodological problems. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, v.72, n.5-6, p.387-93. 1996.

Meyer, T., A. Lucia, *et al.* A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. Int J Sports Med, v.26, n.1, p.S38-48. 2005.

Myers, J. e D. Bellin. Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing. Sports Med, v.30, n.1, Jul, p.23-9. 2000.

Myers, J., N. Buchanan, *et al.* Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. J Am Coll Cardiol, v.17, n.6, May, p.1334-42. 1991.

Poole, D. C., D. P. Wilkerson, *et al.* Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. Eur J Appl Physiol, v.102, n.4, Mar, p.403-10. 2008.

Prud'homme, D., C. Bouchard, *et al.* Sensitivity of maximal aerobic power to training is genotype-dependent. Med Sci Sports Exerc, v.16, n.5, Oct, p.489-93. 1984.

Rivera-Brown AM, Rivera MA, Frontera WR. Reliability of VO_{2max} in adolescent runners: a comparison between plateau achievers and nonachievers. Pediatr Exerc Sci. v. 7, p. 203-10. 1995

Robinson, D. M., S. M. Robinson, *et al.* Training intensity of elite male distance runners. Med Sci Sports Exerc, v.23, n.9, Sep, p.1078-82. 1991.

Rossiter, H. B., S. A. Ward, *et al.* Inferences from pulmonary O₂ uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. J Physiol, v.518 (Pt 3), Aug 1, p.921-32. 1999.

Scheuermann, B. W., C. Bell, *et al.* Oxygen uptake kinetics for moderate exercise are speeded in older humans by prior heavy exercise. J Appl Physiol, v.92, n.2, Feb, p.609-16. 2002.

Weltman, A., D. Snead, *et al.* Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO_{2max}. Int J Sports Med, v.11, n.1, Feb, p.26-32. 1990.

Xu, F. e E. C. Rhodes. Oxygen uptake kinetics during exercise. Sports Med, v.27, n.5, May, p.313-27. 1999.

Capítulo 3 – A velocidade de corrida referente ao ponto de compensação respiratória se correlaciona com a velocidade de corrida em 10 km.

De acordo com resultados obtidos na confecção do protocolo de esforço máximo específico para corredores, este trabalho buscou investigar a possível correlação entre a velocidade de corrida referente ao Ponto de Compensação Respiratória e o desempenho de corredores em corrida de 10 km.

Capítulo 3

A velocidade de corrida referente ao ponto de compensação respiratória se correlaciona com a velocidade de corrida em 10 km.

Thiago Fernando Lourenço¹; Luiz Eduardo Barreto Martins²; René Brenzikofer³; Lucas Samuel Tessutti¹; Denise Vaz de Macedo¹

¹ *Laboratório de Bioquímica do Exercício (LABEX), Departamento de Bioquímica, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil.*

² *Laboratório de Instrumentação para Fisiologia, Faculdade de Educação Física (FEF), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil.*

³ *Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LIB), Faculdade de Educação Física (FEF), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil.*

Agradecimentos

Agradecemos os atletas que participaram neste estudo. O presente estudo foi financiado pelas agências científico FAPESP e CNPq (03/09923 - 2P e 523383-96-7). O aluno Thiago Fernando Lourenço recebeu financiamento da agência Fapesp (07/53135-0).

A velocidade de corrida referente ao ponto de compensação respiratória se correlaciona com a velocidade de corrida em 10 km.

RESUMO

Por muito tempo o desempenho de corredores fundistas foi relacionado aos valores de consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}). Décadas atrás, pesquisas mostraram que a velocidade decorrida referente ao limiar ventilatório (vLV) também era bom indicador de desempenho em corridas de 10km (v10km). No entanto, não há relatos na literatura correlacionando outro parâmetro submáximo importante, o ponto de compensação respiratória (PCR) com o desempenho. O objetivo do presente trabalho foi investigar a possível relação entre a velocidade de corrida referente ao PCR (vPCR) e v10km em corredores de rua. Dezenove corredores de rua foram divididos em dois grupos; slow runners (SR) e fast runners (FR) de acordo com o tempo gasto por cada atleta nos 10km (SR > 40min e FR < 36min). Todos os atletas corredores realizaram uma simulação de prova de 10km e, após 72h executaram um teste de esforço máximo em esteira ergométrica para a determinação dos parâmetros máximos e submáximos. Valores de v10km foram significativamente superiores aos de vLV e inferiores aos de vVO_{2max} ($p > 0.05$). Nenhuma diferença significativa foi observada entre a v10km e a vPCR ($p < 0.05$). Os dados obtidos mostraram fortes correlações entre v10km e vLV ($r = 0.92$; $R^2 = 0.84$) e vVO_{2max} ($r = 0.93$; $R^2 = 0.86$)., Porém, a mais forte correlação observada foi entre vPCR e v10km ($r = 0.96$; $R^2 = 0.92$). Os dados apresentados mostraram que a vPCR foi mais fidedigna na predição de desempenho nesse tipo de prova que os demais parâmetros analisados, indicando que atletas com valores superiores de vPCR podem ter maiores chances de se destacar nesta modalidade. Esses dados sugerem também que investir em meios e métodos de treinamento específicos para melhoria da vPCR podem ser uma boa alternativa para melhoria da v10km

Palavras Chaves: Ponto de Compensação Respiratória, Limiar Ventilatório, VO_{2max} , Corredores, 10km.

The velocity of respiratory compensation point correlates with 10-km running velocity

ABSTRACT

For a long time the long runners performance was related to the values of maximum oxygen uptake (VO_{2max}). In the eighties researches showed that the running speed regarding the ventilatory threshold (sVT) was also good acting indicator in 10km races (s10km). However, there are no reports in the literature correlating another important sub maximum parameter, the respiratory compensation point (RCP) and runner's performance. The objective of the present work was to investigate the possible relationship among the speed regarding RCP (sRCP) and v10km in amateur and professional runners. Nineteen long distance runners accomplished a 10km race simulation and, after 72 hours accomplished a maximum effort test in treadmill to determine the maximal and sub maximal parameters. . v10km values were superiors significantly to the sVT and inferior to the v VO_{2max} ($p > 0.05$). No significant difference was observed between v10km and sRCP ($p < 0.05$). Strong correlations between v10km and sVT ($r = 0.92$; $R^2 = 0.84$) and v VO_{2max} ($r = 0.93$; $R^2 = 0.86$) were found. Being the largest observed between sRCP and v10km ($r = 0.96$; $R^2 = 0.92$).The presented data showed that the sRCP was more trustworthy in the prediction of runners race performance than the other analyzed parameters, indicating that athletes with superior values of sRCP can have larger chances of highlighting in this modality. Those data also suggest investing in specific training methods for improvement of sRCP can be a good alternative for improvement in the s10km.

Key Words: Respiratory Compensation Point, Ventilatory Threshold, VO_{2max} , Runners, 10km.

3.1 Introdução

Por muito tempo o desempenho de corredores fundistas foi relacionado aos valores de consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) devido as altas correlações encontradas entre esse parâmetro e o desempenho em provas de fundo que variam de 10km a 90km (Saltin e Astrand, 1967; Fay, Londeree *et al.*, 1989; Noakes, Myburgh *et al.*, 1990).

Observações de que essa relação não ocorria em grupos homogêneos e que o desempenho continuava a ser aumentado mesmo sem acréscimos no VO_{2max} sugeriam que outros fatores complementares seriam importantes para determinar o desempenho em atletas de *endurance* (Sjodin e Svedenhag, 1985; Myburgh, 2003; Midgley, Mcnaughton *et al.*, 2006). Isso motivou diversos pesquisadores a investigar a relação entre o desempenho em *endurance* e parâmetros submáximos como a capacidade de sustentar altos percentuais do VO_{2max} ($\%VO_{2max}$), economia de corrida e limiar ventilatório (LV).

Peronnet, Thibault *et al.* (1987) e Maffulli, Capasso *et al.* (1991) observaram correlações positivas entre a velocidade de corrida referente ao LV (vLV) e o $\%VO_{2max}$ na corrida, e entre vLV e a velocidade média de corrida em provas acima de 5km ($r>0,82$). Outros estudos também mostraram correlação entre a vLV e v10km (Kumagai, Tanaka *et al.*, 1982; Lehmann, Berg *et al.*, 1983; Tanaka e Matsuura, 1984; Evans, Davy *et al.*, 1995; Nicholson e Sleivert, 2001).

Bioquimicamente, o LV representa o aumento abrupto na produção de CO_2 (VCO_2) em relação ao VO_2 decorrente do tamponamento dos íons H^+ pelos íons bicarbonato (HCO_3^-) no sangue (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986a; Svedahl e Macintosh, 2003). Representa também o início da participação mais ativa do metabolismo anaeróbico glicolítico na geração de ATP (Cerretelli e Samaja, 2003; Peronnet e Aguilaniu, 2006).

Uma relação causa e efeito entre ácido láctico/acidose/fadiga muscular bem estabelecida na literatura fez com que muitos treinadores e cientistas do esporte passassem a utilizar a vLV tanto para prescrever intensidades dos treinamentos quanto para prever o desempenho de atletas, evitando ao máximo intensidades superiores a esta (Hermansen, 1981). Esse fato explica porque estudos correlacionando o ponto de compensação respiratório (PCR) com o desempenho em corredores sejam ainda escassos na literatura.

O PCR caracteriza o limite da capacidade de tamponamento sanguíneo pelo HCO_3^- , observado pela resposta hiperventilatória durante o exercício incremental no momento em que o aparecimento de H^+ no plasma supera a concentração de HCO_3^- disponível (Meyer, Lucia *et al.*, 2005; Peronnet, Meyer *et al.*, 2007). Nesse momento a concentração plasmática de lactato é também superior quando comparada à do LV.

Em trabalhos publicados em 2001 e 2004, Robergs (2001) e Robergs, Ghiasvand *et al.* (2004) demonstraram que o funcionamento da glicólise anaeróbica não produz nem consome H^+ do meio, sendo formado somente lactato ao final da via. Segundo essa proposta, a hidrólise do ATP seria a principal fonte de produção de H^+ e, portanto, a principal responsável pela acidose intramuscular induzida por exercícios de alta intensidade (Robergs, 2001; Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004).

Já a produção de lactato auxiliaria na manutenção do estado redox citosólico (NAD^+/NADH) e do equilíbrio ácido-base celular, através do consumo (redução do piruvato) e remoção (via MCTs) de H^+ da célula muscular durante o exercício (Robergs, Ghiasvand *et al.*, 2004; Hashimoto e Brooks, 2008). Reforçando essa interpretação, Meyer, Faude *et al.* (2004) mostraram que após infusão de HCO_3^- durante um exercício incremental o PCR foi alcançado em intensidades superiores ao alcançado anteriormente ($\Delta\text{VO}_2 = +0.15 \text{ L/min}$).

Com base nestas observações, e devido a escassez de trabalhos relacionados ao PCR e desempenho físico, o objetivo do presente trabalho foi investigar a possível relação entre a velocidade de corrida referente ao PCR (vPCR) e o desempenho na corrida de 10 km (v10km) em corredores amadores e profissionais.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Indivíduos Estudados

Participaram do estudo 19 corredores de rua divididos em dois grupos: slow runners (SR) e fast runners (FR). Os grupos SR e FR foram assim definidos de acordo com o tempo gasto por cada atleta nos 10km (SR > 40min e FR < 36min). Todos tinham mais que um ano (1,5 a 5 anos) de treinamento sistematizado, com volume semanal médio de 30 km (SR) e 150 km (FR). Durante o experimento, foram aconselhados a manterem inalteradas suas dietas e se absterem de qualquer exercício extenuante. A caracterização dos atletas está apresentada na Tabela 3.1 (média±dp).

Tabela 3.1. Caracterização antropométrica e de desempenho dos atletas analisados.

	Slow Runners (SR)	Fast Runners (FR)
	(n = 10)	(n = 9)
<i>Idade (anos)</i>	42,3 ± 7,9	27,7 ± 9,9*
<i>Peso (kg)</i>	64,0 ± 10,8	54,7 ± 6,2
<i>Altura (m)</i>	1,68 ± 0,99	1,67 ± 0,55
<i>VO_{2max} (ml•kg•min⁻¹)</i>	38,4 ± 5,9	53,6 ± 5,5*
<i>Tempo de Prova (min)</i>	47,1 ± 5,9	33,5 ± 2,6*

p < 0,05 referente ao SR

3.2.2 Teste 1 – Simulação de prova de 10 km

A simulação de prova foi conduzida em pista de atletismo oficial de 400m. A simulação teve início às 9 horas da manhã, sendo precedida de 10 a 15 minutos de aquecimento escolhido pelos próprios sujeitos. Durante o teste foi permitido que todos os corredores ajustassem suas respectivas velocidades quando necessário, sendo aconselhados a completarem a distância no menor tempo possível. O desempenho nos 10km foi mensurado pela velocidade média nos 10km (v10km).

3.2.3 Teste 2 – Protocolo de esforço máximo

Após 72 horas da realização do Teste 1 os indivíduos foram submetidos a um protocolo de esforço máximo para a determinação dos parâmetros relacionados ao LV, PCR e VO_{2max}.

O protocolo foi realizado em esteira ergométrica (Inbrasport Super-ATL), e conduzido a uma temperatura de 21±1°C e altitude de 696m constantes. Durante o teste os corredores respiraram através de uma máscara de neoprene, a qual cobria o nariz e a boca. Valores de VO₂, VCO₂ e ventilação pulmonar (VE) foram mensurados continuamente respiração a respiração através do analisador de gases (CPX/D – MedGraphics, St Paul, MN, U.S.A). No entanto, para a análise dos dados foram utilizados valores médios a cada 25s.

O analisador de gases foi calibrado imediatamente antes de cada teste usando misturas conhecidas de gases (12% de O₂, 5% de CO₂), e o sensor de volume foi calibrado através de seringa de 3 L (MedGraphics, St Paul, MN, U.S.A).

Após 3 minutos de aquecimento a 9 km • h⁻¹ a velocidade da esteira foi incrementada em 0,3 km • h⁻¹ a cada 25s sob inclinação fixa da esteira em 1% até a exaustão voluntária. Depois de atingida a exaustão os sujeitos realizaram uma fase de recuperação, caracterizada por decréscimos relativos à velocidade máxima atingida (60%, 55%, 50%, 45% e 40%) a cada minuto para evitar desconfortos nos avaliados. Em todos os testes os corredores foram encorajados a atingirem a exaustão.

Para a determinação visual do LV foi utilizado o método *V-slope* de acordo com Beaver, Wasserman *et al.* (1986b) e Meyer, Lucia *et al.* (2005). Este método permite a caracterização de LV pela perda de linearidade de VCO₂/VO₂. A determinação visual do PCR foi obtida através da perda da linearidade da relação VE/VCO₂ (Beaver, Wasserman *et al.*, 1986b).

3.2.4 Análise Estatística

Os níveis de correlação entre v10km e os parâmetros ventilatórios (vLV, vPCR e vVO_{2max}) inter e intra-grupo foram avaliados através do coeficiente de correlação de Pearson (r). A influência da variabilidade dos parâmetros ventilatórios na determinação da v10km foi testada através do coeficiente de determinação (R²). Para assegurar a aplicabilidade dos resultados em outras populações foi calculado o intervalo de confiança de 95% (CI_{95%}) do r, sendo considerado aceitável o intervalo de 0,20 entre o limite superior e inferior do CI_{95%} (Hopkins, Marshall *et al.*, 2009). Possíveis diferenças entre os grupos (SR e FR) e entre as variáveis analisadas foram investigadas através do teste - *T* com a análise *post hoc* de Wilcoxon quando necessário. Diferenças significativas foram consideradas quando p <0.05.

3.3 Resultados

Os resultados de vLV, vPCR, vVO_{2max} e v10km estão mostrados na Tabela 3.2 (média±dp). Valores de vLV e vPCR relativos ao VO_{2max} foram de 72,3±5,7% e 82,0±5,7%, respectivamente.

Tabela 3.2. Comparativo dos parâmetros de desempenho obtidos em laboratório e em campo.

Grupos	<i>v10km</i> <i>km·h⁻¹</i>	<i>vLV</i> <i>km·h⁻¹</i>	<i>vPCR</i> <i>km·h⁻¹</i>	<i>vVO_{2max}</i> <i>km·h⁻¹</i>
<i>SR</i>	12,9±1,4	11,5±1,1 [†]	13,2±1,3	16,7±1,2 [†]
<i>FR</i>	18,0±1,5*	15,9±1,0* [†]	17,9±1,4*	21,0±1,7* [†]

* p < 0,05 referente ao SR

[†] p < 0,05 referente à v10km

O grupo FR apresentou valores superiores em todos os parâmetros de velocidade quando comparado ao grupo SR (p < 0,05). No entanto, ambos os grupos apresentaram v10km significativamente superiores a vLV e inferiores a vVO_{2max} (p < 0,05). A vPCR e a v10km não foram significativamente diferente em nenhum dos grupos (p < 0,05).

A Tabela 3.3 mostra os valores de r e R² da velocidade de corrida e do VO₂ referentes ao LV, PCR e VO_{2max} dos grupos analisados separadamente.

Tabela 3.3. Coeficiente de correlação e determinação entre v10km e as velocidades e VO₂ obtidos em LV, PCR e VO_{2max}.

Variável	SR (n = 10)		FR (n = 9)	
	<i>r</i>	<i>R²</i>	<i>r</i>	<i>R²</i>
<i>vLV (km·h⁻¹)</i>	0,82 *	0,67	0,34	0,11
<i>VO_{2LV} (mL·kg⁻¹·min⁻¹)</i>	0,29	0,08	0,22	0,04
<i>vPCR (km·h⁻¹)</i>	0,87 *	0,75	0,89 *	0,79
<i>VO_{2PCR} (mL·kg⁻¹·min⁻¹)</i>	0,30	0,09	0,33	0,10
<i>vVO_{2max} (km·h⁻¹)</i>	0,67 *	0,44	0,88 *	0,77
<i>VO_{2max} (mL·kg⁻¹·min⁻¹)</i>	0,27	0,07	0,40	0,16

* p < 0,05

O grupo FR apresentou forte correlação entre o desempenho nos 10km e as variáveis vPCR e vVO_{2max}. Porém, não foi observada correlação com a vLV nesse grupo. Já o grupo SR exibiu correlação mais forte entre desempenho nos 10km e vLV e vPCR. Embora significativa, a correlação entre v10km e vVO_{2max} foi bem mais fraca nesse grupo quando comparada aos parâmetros submáximos.

Apesar dessa diferença entre os grupos, a maior correlação encontrada para ambos foi entre v10km e vPCR. Outro dado interessante observado é que não houve nenhuma correlação entre a v10km e o VO_2 de nenhum parâmetro ventilatório analisado. Esses dados reforçam os achados de que valores de VO_{2max} , por si só, não foram capazes de determinar o desempenho em corridas de 10 km em corredores de rua (Myburgh, 2003).

O método de análise pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) é muito sensível a heterogeneidade da amostra, sendo mais evidente em amostras onde há fortes correlações, como o relatado no presente estudo (Hopkins, 2000). A Figura 3.1 apresenta a regressão linear entre v10km e vLV (Figura 3.1A), vPCR (Figura 3.1B) e v VO_{2max} (Figura 3.1C) com os intervalos de confiança da reta de regressão linear e a reta de correlação perfeita ($r = 1,0$).

Note que para vLV e v VO_{2max} a reta de correlação perfeita está fora do intervalo de confiança calculado da reta da regressão linear. Isso mostra que para o grupo estudado a vLV subestima, e a v VO_{2max} superestima a v10km. Porém, quando analisamos a vPCR a reta da correlação perfeita se encontra dentro do intervalo de confiança calculado, ressaltando a forte correlação entre esta variável e a v10km e a predição de desempenho nesta modalidade.

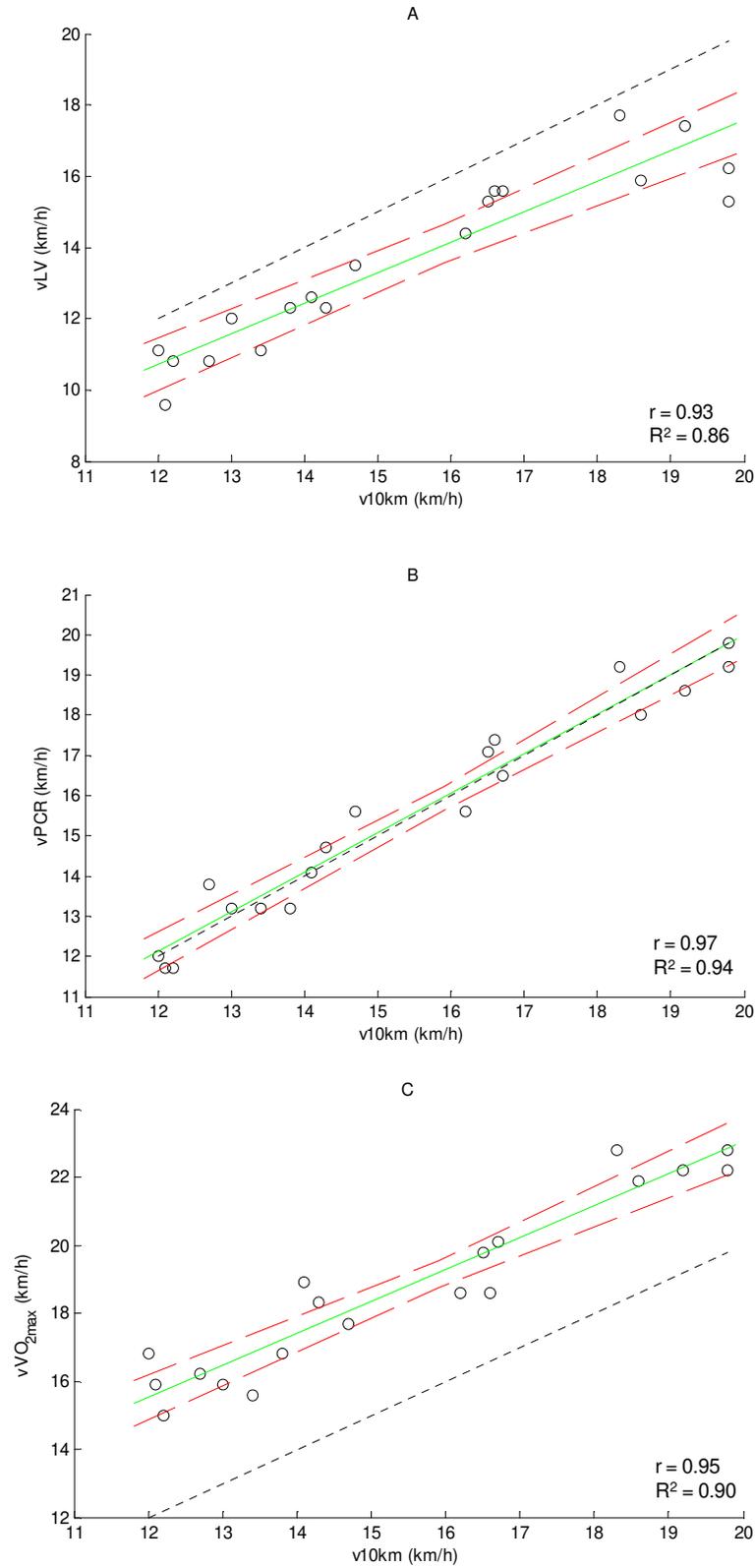


Figura 3.1. Correlação entre v_{10km} e v_{LV} (A), v_{10km} e v_{PCR} (B) e v_{10km} e $v_{VO_{2max}}$ (C). As figuras acima mostram as retas de regressão linear (verde), intervalo de confiança (vermelhas tracejadas) e a reta de correlação perfeita (preta sólida, $r = 1,0$). As legendas indicam os valores dos coeficientes de correlação (r) e determinação (R^2).

Tabela 3.4 apresentam os dados de coeficiente de correlação (r) determinação (R^2), além do intervalo de confiança de 95% ($CI_{95\%}$) do r entre v_{10km} e velocidades de corrida referentes ao LV (Figura 3.1A), PCR (Figura 3.1B) e VO_{2max} (Figura 3.1C) do conjunto dos corredores ($n=19$).

Tabela 3.4. Coeficientes de correlação (r), determinação (R^2) e intervalo de confiança ($IC_{95\%}$) entre v_{10km} e velocidades de corrida e VO_2 nas intensidades de LV, PCR e VO_{2max} de todo o grupo.

Variável	r	R^2	$IC_{95\%}$	
			Superior	Inferior
vLV ($km \cdot h^{-1}$)	0,92 *	0,84	0,96	0,81
VO_{2LV} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	0,75 *	0,56	0,89	0,46
$vPCR$ ($km \cdot h^{-1}$)	0,96 *	0,92	0,98	0,92
VO_{2PCR} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	0,80 *	0,64	0,92	0,56
vVO_{2max} ($km \cdot h^{-1}$)	0,93 *	0,86	0,97	0,83
VO_{2max} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	0,74 *	0,54	0,89	0,45

* $p < 0.05$

Podemos observar que ao considerarmos todos os dados, correlações que antes não eram observadas emergem, ou correlações mais fortes são observadas. Este efeito pôde ser observado após analisarmos os valores de VO_2 do grupo todo, onde agora, com todos os resultados podemos observar fortes correlações. Contrariamente ao observado em cada grupo isoladamente (Tabela 3.3), forte correlações foram observadas para valores de VO_2 em cada um dos parâmetros analisados (LV, PCR e VO_{2max}). Note que também nesse caso a mais forte relação encontrada também foi referente ao PCR (VO_{2PCR} e v_{10km} ; $r = 0,80$).

Para as velocidades de corrida a análise do r e R^2 também revelou relações muito fortes entre v_{10km} e vLV , $vPCR$ e vVO_{2max} . A mais forte relação encontrada também foi entre $vPCR$ e v_{10km} ($r = 0,96$). É importante ressaltar que os intervalos entre o limite superior e inferior do $CI_{95\%}$ para vLV , $vPCR$ e vVO_{2max} foram similares para todas as análises ($<0,20$), indicando boa aplicabilidade à população de corredores.

Através da análise da influência dos parâmetros ventilatórios na determinação da v_{10km} (R^2), encontramos que o desempenho nos 10 km dos corredores foi fortemente influenciado pela vLV ($R^2 = 0,84$) e pela vVO_{2max} ($R^2 = 0,86$). Porém, a $vPCR$ ($R^2 = 0,92$) foi o parâmetro que mais influenciou a v_{10km} . O mesmo comportamento não foi visto quando analisados o VO_{2LV} ($R^2 = 0,56$), VO_{2PCR} ($R^2 = 0,64$) e o VO_{2max} ($R^2 = 0,54$).

3.4 Discussão

A originalidade desse estudo foi mostrar que a vPCR pode ser considerada uma ótima ferramenta de predição de desempenho, intensidade de treinamento e elaboração de estratégias de prova para corredores de 10km e talvez para outras modalidades de endurance. Não temos conhecimento de outro trabalho na literatura que tenha demonstrado anteriormente esse potencial, embora alguns estudos venham indicando o PCR como um fenômeno importante para a regulação do pH sanguíneo (b_pH) que caracteriza o ponto limítrofe da capacidade tamponante sanguínea (Meyer, Faude *et al.*, 2004; Peinado, Di Salvo *et al.*, 2006).

Os dados apresentados nesse estudo reforçam achados prévios em corridas de diversas distâncias (5 a 90km), onde foram encontradas fortes correlações entre a v10km e vVO_{2max} ($r > 0,93$, $R^2 > 0,86$). Esses dados indicam que, altos valores de vVO_{2max} podem contribuir positivamente para a predição de desempenho em corridas de longa distância em grupos heterogêneos (Fay, Londeree *et al.*, 1989; Noakes, Myburgh *et al.*, 1990), mas o mesmo não pode ser afirmado para altos valores de VO_{2max}. Isso ficou mais evidente quando analisamos os grupos (FR e SR) separadamente (Tabela 3.3).

Nossos dados também apontaram fortes correlações entre vLV e v10km ($r = 0,92$; $R^2 = 0,84$) como observado anteriormente para diferentes distâncias (Kumagai, Tanaka *et al.*, 1982; Tanaka e Matsuura, 1984; Peronnet, Thibault *et al.*, 1987; Maffulli, Capasso *et al.*, 1991; Evans, Davy *et al.*, 1995). Porém, a vLV parece ser mais importante como fator de predição de desempenho nos 10km em corredores mais lentos (Tabela 3.3). Esses dados reforçam a idéia de que para corredores com maior idade ou menor desempenho (SR), a capacidade mitocondrial parece ser mais determinante que em corredores mais velozes e experientes.

Em atletas cujo tempo de prova foi menor (FR), a hidrólise e geração de ATP pela via oxidativa são maiores, necessitando de uma alta capacidade de tamponamento dos íons H⁺ para a manutenção da atividade contrátil. A eficiência na regulação do pH em atividades de alta intensidade depende de diferentes mecanismos como tampões intracelulares (fosfato inorgânico, carnosina e outros resíduos de histidina), a enzima anidrase carbônica do sarcolema (Geers e Gros, 2000) e do co-transporte com o lactato pelos MCTs e pelos trocadores Na⁺/H⁺ (Juel, 2008).

Vários autores já demonstraram os efeitos benéficos do treinamento de endurance nessa capacidade. Segundo Juel, Klarskov *et al.* (2004) e Thomas, Bishop *et al.* (2007) aumentos na concentração de MCT (15%) e trocadores Na^+/H^+ (16%) após sete semanas de treinamento intermitente de alta intensidade levaram ao aumento do tempo de exaustão. Segundo estudo de Gore, Hahn *et al.* (2001), corredores meio fundistas (800m) e fundistas (10km) apresentam maiores capacidade de tamponamento que ciclistas treinados e que sujeitos destreinados. Essas adaptações podem explicar a maior capacidade em sustentar o alto fluxo glicolítico e altas concentrações de lactato e H^+ durante longos períodos por estes atletas (Myburgh, Viljoen *et al.*, 2001; Juel, 2008).

Além disso, a capacidade de sustentar altas intensidades de exercício sem haver quedas no pH pode estar intimamente relacionada a alta capacidade de tamponamento, principalmente dos íons HCO_3^- (Edge, Hill-Haas *et al.*, 2006). Isso pôde ser visto durante 30 minutos de corrida em carga constante em velocidade situada entre vLV e vPCR, onde a manutenção das concentrações de HCO_3^- foram concomitantes a conservação do pH (Peinado, Di Salvo *et al.*, 2006). Outro estudo mostrou que a queda do pH durante um exercício incremental foi postergada após infusão venosa de HCO_3^- em sujeitos saudáveis (Meyer, Faude *et al.*, 2004). Aumentos na concentração basal de HCO_3^- também foram relacionados à auxiliar no aumento do tempo de exaustão em indivíduos saudáveis (Edge, Hill-Haas *et al.*, 2006).

A falência do sistema de tamponamento sanguíneo durante um exercício incremental gera uma resposta hiperventilatória, o que caracteriza o PCR (Meyer, Faude *et al.*, 2004). Ou seja, teoricamente a vPCR parece a ser uma intensidade limite entre a manutenção e a queda do pH durante um exercício de longa duração. Nossos dados reforçam esta tese, uma vez que encontramos fortes correlações entre a vPCR e a v10km em ambos os grupos de corredores, independente do nível de treinamento e desempenho (Tabela 3.2). A vPCR se mostrou mais fidedigna na predição de desempenho na prova de 10km que os demais parâmetros analisados ($R^2 = 0,92$), sugerindo que atletas com valores superiores de capacidade de tamponamento sanguíneo podem ter maiores chances de se destacar nessas competições que outros.

O conjunto de resultados apresentados nesse estudo não contradizem dados apresentados anteriormente em relação à correlação entre v10km e vLV ou $\text{vVO}_{2\text{max}}$. No entanto, indicam uma forma diferente de interpretar e aplicar a vPCR. Ou seja, o emprego de meios e métodos de treinamento capazes de induzir aumentos na vPCR parecem ser mais interessantes para melhoria

da $\sqrt{10}$ km do que aqueles que utilizam como parâmetros de prescrição a vLV e vVO_{2max} . Além disso, outros fatores como a idade e o nível de treinabilidade dos atletas devem ser considerados durante a aplicação desta metodologia de treinamento.

Nesse sentido, estudos recentes mostraram que treinamentos em intensidades superiores ao PCR ($>80\%VO_{2max}$) geraram aumentos significativos na $vPCR$, principalmente em decorrência de adaptações na atividade de enzimas oxidativas e na capacidade de tamponamento sanguíneo (Powers, Grinton *et al.*, 1992; Evertsen, Medbo *et al.*, 1997; Chicharro, Hoyos *et al.*, 2000).

Sugerimos ainda que mais estudos venham a ser realizados a fim de elucidar mais claramente a participação da $vPCR$ na predição de desempenho de corredores em provas de meio – fundo e fundo e em outras modalidades de endurance.

3.5 Referências bibliográficas

Beaver, W. L., K. Wasserman, *et al.* Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. Journal of Applied Physiology, v.60, n.2, p.472-478. 1986a.

_____. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol, v.60, n.6, Jun, p.2020-7. 1986b.

Cerretelli, P. e M. Samaja. Acid–base balance at exercise in normoxia and in chronic hypoxia. Revisiting the " lactate paradox". European journal of applied physiology, v.90, n.5, p.431-448. 2003.

Chicharro, J. L., J. Hoyos, *et al.* Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. Br J Sports Med, v.34, n.6, Dec, p.450-5. 2000.

Edge, J., S. Hill-Haas, *et al.* Effects of resistance training on H⁺ regulation, buffer capacity, and repeated sprints. Med Sci Sports Exerc, v.38, n.11, Nov, p.2004-11. 2006.

Evans, S. L., K. P. Davy, *et al.* Physiological determinants of 10-km performance in highly trained female runners of different ages. J Appl Physiol, v.78, n.5, May, p.1931-41. 1995.

Evertsen, F., J. I. Medbo, *et al.* Hard training for 5 mo increases Na(+)-K⁺ pump concentration in skeletal muscle of cross-country skiers. Am J Physiol, v.272, n.5 Pt 2, May, p.R1417-24. 1997.

Fay, L., B. R. Londeree, *et al.* Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. Med Sci Sports Exerc, v.21, n.3, Jun, p.319-24. 1989.

Geers, C. e G. Gros. Carbon dioxide transport and carbonic anhydrase in blood and muscle. Physiological Reviews, v.80, n.2, p.681-715. 2000.

Gore, C. J., A. G. Hahn, *et al.* Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. Acta Physiol Scand, v.173, n.3, Nov, p.275-86. 2001.

Hashimoto, T. e G. A. Brooks. Mitochondrial lactate oxidation complex and an adaptive role for lactate production. Med Sci Sports Exerc, v.40, n.3, Mar, p.486-94. 2008.

Hermansen, L. Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise. Ciba Found Symp, v.82, p.75-88. 1981.

Hopkins, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. Sports Med, v.30, n.1, Jul, p.1-15. 2000.

Hopkins, W. G., S. W. Marshall, *et al.* Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. Med Sci Sports Exerc, v.41, n.1, Jan, p.3-13. 2009.

Juel, C. Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. Acta Physiol (Oxf), v.193, n.1, May, p.17-24. 2008.

Juel, C., C. Klarskov, *et al.* Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. Am J Physiol Endocrinol Metab, v.286, n.2, Feb, p.E245-51. 2004.

Kumagai, S., K. Tanaka, *et al.* Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, v.49, n.1, p.13-23. 1982.

Lehmann, M., A. Berg, *et al.* Correlations between laboratory testing and distance running performance in marathoners of similar performance ability. Int J Sports Med, v.4, n.4, Nov, p.226-30. 1983.

Maffulli, N., G. Capasso, *et al.* Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. J Sports Med Phys Fitness, v.31, n.3, Sep, p.332-8. 1991.

Meyer, T., O. Faude, *et al.* Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? Br J Sports Med, v.38, n.5, Oct, p.622-5. 2004.

Meyer, T., A. Lucia, *et al.* A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. Int J Sports Med, v.26, n.1, p.S38-48. 2005.

Midgley, A. W., L. R. Mcnaughton, *et al.* Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners?: Empirical Research Findings, Current Opinions, Physiological Rationale and Practical Recommendations. Sports Medicine, v.36, n.2, p.117. 2006.

Myburgh, K. H. What makes an endurance athlete world-class? Not simply a physiological conundrum. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, v.136, n.1, Sep, p.171-90. 2003.

Myburgh, K. H., A. Viljoen, *et al.* Plasma lactate concentrations for self-selected maximal effort lasting 1 h. Med Sci Sports Exerc, v.33, n.1, Jan, p.152-6. 2001.

Nicholson, R. M. e G. G. Sleivert. Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. Med Sci Sports Exerc, v.33, n.2, Feb, p.339-42. 2001.

Noakes, T. D., K. H. Myburgh, *et al.* Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. J Sports Sci, v.8, n.1, Spring, p.35-45. 1990.

Peinado, P. J., V. Di Salvo, *et al.* Steady-state acid-base response at exercise levels close to maximum lactate steady state. Clin J Sport Med, v.16, n.3, May, p.244-6. 2006.

Peronnet, F. e B. Aguilaniu. Lactic acid buffering, nonmetabolic CO₂ and exercise hyperventilation: a critical reappraisal. Respir Physiol Neurobiol, v.150, n.1, Jan 25, p.4-18. 2006.

Peronnet, F., T. Meyer, *et al.* Bicarbonate infusion and pH clamp moderately reduce hyperventilation during ramp exercise in humans. J Appl Physiol, v.102, n.1, Jan, p.426-8. 2007.

Peronnet, F., G. Thibault, *et al.* Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. Med Sci Sports Exerc, v.19, n.6, Dec, p.610-5. 1987.

Powers, S. K., S. Grinton, *et al.* High intensity exercise training-induced metabolic alterations in respiratory muscles. Respir Physiol, v.89, n.2, Aug, p.169-77. 1992.

Robergs, R. A. Exercise-induced metabolic acidosis: where do the protons come from. Sportscience, v.5, n.2. 2001.

Robergs, R. A., F. Ghiasvand, *et al.* Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, v.287, n.3, Sep, p.R502-16. 2004.

Saltin, B. e P. O. Astrand. Maximal oxygen uptake in athletes. J Appl Physiol, v.23, n.3, Sep, p.353-8. 1967.

Sjodin, B. e J. Svedenhag. Applied physiology of marathon running. Sports Med, v.2, n.2, Mar-Apr, p.83-99. 1985.

Svedahl, K. e B. R. Macintosh. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. Can J Appl Physiol, v.28, n.2, Apr, p.299-323. 2003.

Tanaka, K. e Y. Matsuura. Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. J Appl Physiol, v.57, n.3, Sep, p.640-3. 1984.

Thomas, C., D. Bishop, *et al.* Effects of high-intensity training on MCT1, MCT4, and NBC expressions in rat skeletal muscles: influence of chronic metabolic alkalosis. Am J Physiol Endocrinol Metab, v.293, n.4, Oct, p.E916-22. 2007.

Capítulo 4 – Considerações Finais

- ✓ *O protocolo de esforço máximo desenvolvido nesse estudo, baseado em premissas metabólicas (cinética de VO_2 e inclinação), é reprodutível e capaz de detectar pequenos efeitos de treinamento sobre os parâmetros máximos e submáximos;*
- ✓ *Permite ainda a clara determinação das velocidades de corrida relacionadas ao LV, PCR e VO_{2max} contribuindo para a detecção de intensidades de treinamento e predição de desempenho de corredores;*
- ✓ *Os dados apresentados no capítulo 3 mostraram fortes correlações entre a $vPCR$ e a $v10km$, a qual se mostrou mais fidedigna na predição de desempenho na prova de 10km que os demais parâmetros analisados e previamente apresentados na literatura (vLV e vVO_{2max})*
- ✓ *Nossos resultados podem contribuir para a busca de meios e métodos de treinamento mais eficazes para melhorar o desempenho de corredores..*

APÊNDICE

APÊNDICE A: Resultados brutos de velocidade de corrida e $\text{VO}_{2\text{max}}$ referente ao LV, PCR e $\text{VO}_{2\text{max}}$ do Capítulo 2.

Avaliados	vLV T1	vLV T2	vLV T3	vLV T4	$\text{VO}_{2\text{LV}}$ T1	$\text{VO}_{2\text{LV}}$ T2	$\text{VO}_{2\text{LV}}$ T3	$\text{VO}_{2\text{LV}}$ T4
	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
1	12,60	12,30	12,90	12,30	31,70	32,40	34,40	31,40
2	10,20	10,20	11,40	10,80	30,50	32,60	28,40	29,80
3	11,70	12,30	12,30	12,60	35,40	33,80	33,00	28,90
4	14,10	11,10	11,70	11,70	35,10	32,30	27,30	26,60
5	12,30	12,60	12,60	12,90	26,50	32,80	31,00	28,40
6	10,80	11,10	11,10	12,30	31,00	31,30	29,00	23,60
7	13,80	13,80	14,40	13,80	40,60	35,70	38,70	38,10
8	12,60	12,90	12,60	12,90	34,80	33,80	32,00	31,20
9	9,90	9,90	10,20	9,90	26,80	27,80	25,50	26,80
10	10,80	11,10	11,70	10,80	27,80	28,20	26,70	29,20
11	12,00	10,20	12,00	10,80	30,00	29,30	30,10	26,50

Avaliados	vPCR T1	vPCR T2	vPCR T3	vPCR T4	$\text{VO}_{2\text{PCR}}$ T1	$\text{VO}_{2\text{PCR}}$ T2	$\text{VO}_{2\text{PCR}}$ T3	$\text{VO}_{2\text{PCR}}$ T4
	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
1	15,00	14,70	15,60	15,60	37,50	38,90	42,40	36,70
2	12,90	12,90	13,20	12,90	40,20	39,80	33,90	35,50
3	15,90	14,70	14,70	14,40	48,40	39,20	38,00	31,70
4	14,70	14,70	14,10	14,70	36,10	40,40	32,80	33,70
5	15,60	15,30	15,30	15,90	33,80	42,30	36,00	42,20
6	14,40	14,70	14,70	14,70	35,70	39,70	38,20	35,40
7	17,10	16,50	16,50	16,50	48,60	43,80	44,20	43,00
8	15,60	15,30	15,60	15,60	37,10	36,20	38,70	36,70
9	12,90	12,30	12,00	12,30	33,90	32,70	26,20	33,90
10	15,00	13,80	14,10	15,00	37,00	33,90	33,50	35,70
11	14,40	13,80	14,40	14,40	35,70	36,70	38,10	36,20

Avaliados	$v\text{VO}_{2\text{max}}$ T1	$v\text{VO}_{2\text{max}}$ T2	$v\text{VO}_{2\text{max}}$ T3	$v\text{VO}_{2\text{max}}$ T4	$\text{VO}_{2\text{max}}$ T1	$\text{VO}_{2\text{max}}$ T2	$\text{VO}_{2\text{max}}$ T3	$\text{VO}_{2\text{max}}$ T4
	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
1	18,60	18,30	19,20	18,90	47,00	48,10	50,80	45,00
2	16,80	17,40	17,40	16,80	45,90	50,10	44,70	45,00
3	18,90	19,20	19,20	18,30	53,60	44,90	47,60	41,30
4	19,20	18,30	19,20	19,50	45,10	50,40	45,80	46,50
5	19,20	18,60	18,60	20,10	46,50	58,60	41,00	52,20
6	17,70	18,60	18,60	18,30	43,10	51,50	48,40	49,70
7	19,20	20,70	20,10	19,80	55,40	52,80	53,40	53,20
8	19,50	20,10	19,50	19,80	46,80	48,40	46,00	45,90
9	17,40	17,40	17,40	17,40	41,30	41,40	33,40	41,30
10	18,30	18,30	18,90	18,30	44,40	40,20	43,00	39,20
11	18,00	18,00	18,00	17,70	44,90	50,70	45,50	44,80

APÊNDICE B: Resultados brutos de VO₂ e VCO₂ referente ao LV, PCR e VO_{2max} do Capítulo 2.

Avaliados	VO _{2LV} T1	VO _{2LV} T2	VO _{2LV} T3	VO _{2LV} T4	VCO _{2LV} T1	VCO _{2LV} T2	VCO _{2LV} T3	VCO _{2LV} T4
	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹				
1	2,41	2,46	2,58	2,39	2,34	2,34	2,44	2,26
2	1,83	1,95	2,01	1,81	1,68	1,87	1,87	1,90
3	1,95	2,37	2,31	2,04	1,78	2,18	2,14	1,92
4	2,21	2,03	1,72	1,68	2,21	1,67	1,63	1,65
5	1,54	1,90	1,80	1,65	1,44	1,76	1,86	1,75
6	2,05	2,06	1,92	1,56	1,77	1,79	1,73	1,44
7	2,60	2,54	2,48	2,45	2,38	2,33	2,39	2,44
8	2,37	2,30	2,21	2,15	2,16	2,23	2,12	2,08
9	1,93	2,00	1,85	1,93	1,62	1,68	1,56	1,62
10	1,80	1,83	1,74	2,11	1,59	1,65	1,62	2,08
11	2,03	1,97	2,01	1,79	1,87	1,69	1,83	1,70

Avaliados	VO _{2PCR} T1	VO _{2PCR} T2	VO _{2PCR} T3	VO _{2PCR} T4	VCO _{2PCR} T1	VCO _{2PCR} T2	VCO _{2PCR} T3	VCO _{2PCR} T4
	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹				
1	2,85	2,96	3,18	2,79	2,82	2,94	3,13	2,81
2	2,41	2,39	2,39	2,16	2,43	2,43	2,35	2,32
3	2,66	2,74	2,66	2,23	2,69	2,74	2,54	2,20
4	2,27	2,54	2,07	2,13	2,32	2,51	2,11	2,28
5	1,96	2,45	2,09	2,45	1,98	2,37	2,17	2,62
6	2,36	2,62	2,52	2,33	2,34	2,57	2,52	2,36
7	3,11	3,11	2,83	2,77	3,11	3,03	2,82	2,87
8	2,52	2,46	2,66	2,53	2,45	2,42	2,71	2,63
9	2,44	2,35	1,90	2,44	2,33	2,31	1,85	2,33
10	2,41	2,20	2,18	2,58	2,36	2,11	2,13	2,96
11	2,39	2,46	2,55	2,44	2,34	2,47	2,49	2,51

Avaliados	VO _{2max} T1	VO _{2max} T2	VO _{2max} T3	VO _{2max} T4	VCO _{2max} T1	VCO _{2max} T2	VCO _{2max} T3	VCO _{2max} T4
	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹	L•min ⁻¹				
1	3,57	3,66	3,81	3,42	4,25	4,19	4,51	4,13
2	2,75	3,01	3,15	2,74	3,15	3,48	3,63	3,48
3	2,95	3,15	3,33	2,91	3,47	3,36	3,92	3,34
4	2,84	3,18	2,89	2,94	3,45	3,49	3,39	3,59
5	2,70	3,40	2,38	3,09	3,22	3,62	2,65	3,64
6	2,85	3,40	3,20	3,28	3,18	3,73	3,61	3,79
7	3,54	3,75	3,42	3,42	3,85	4,48	3,86	4,10
8	3,19	3,29	3,17	3,16	3,74	4,13	3,89	3,87
9	2,97	2,98	2,41	2,97	3,37	3,67	2,98	3,37
10	2,88	2,61	2,81	2,83	3,19	3,01	3,20	3,64
11	3,00	3,39	3,05	3,02	3,46	3,95	3,42	3,44

APÊNDICE C: Resultados brutos de RER e FC referente ao LV, PCR e VO_{2max} do Capítulo 2.

Avaliados	RER _{LV} T1	RER _{LV} T2	RER _{LV} T3	RER _{LV} T4	FC _{LV} T1	FC _{LV} T2	FC _{LV} T3	FC _{LV} T4
					bpm	bpm	bpm	bpm
1	0,97	0,95	0,95	0,95	160	154	162	160
2	0,92	0,96	0,93	1,05	125	131	144	133
3	0,91	0,92	0,93	0,95	133	136	132	140
4	1,00	0,82	0,94	0,98	163	153	142	142
5	0,93	0,92	1,03	1,06	145	155	163	164
6	0,87	0,87	0,90	0,92	146	141	141	141
7	0,92	0,92	0,96	1,00	139	141	145	144
8	0,91	0,97	0,96	0,97	142	148	141	143
9	0,84	0,84	0,84	0,84	139	135	136	139
10	0,88	0,90	0,93	0,98	128	133	122	141
11	0,92	0,86	0,91	0,95	148	128	147	136

Avaliados	RER _{PCR} T1	RER _{PCR} T2	RER _{PCR} T3	RER _{PCR} T4	FC _{PCR} T1	FC _{PCR} T2	FC _{PCR} T3	FC _{PCR} T4
					bpm	bpm	bpm	bpm
1	0,99	0,99	0,98	1,01	173	177	180	182
2	1,01	1,02	0,98	1,07	151	150	160	147
3	1,01	1,00	0,96	0,99	154	153	145	142
4	1,02	0,99	1,02	1,07	167	157	158	158
5	1,01	0,97	1,04	1,07	177	173	179	178
6	0,99	0,98	1,00	1,01	159	141	140	141
7	1,00	0,97	1,00	1,04	161	159	157	157
8	0,97	0,98	1,02	1,04	154	162	160	159
9	0,96	0,98	0,97	0,96	160	160	148	160
10	0,98	0,96	0,98	1,05	156	146	139	171
11	0,98	1,00	0,98	1,03	164	162	173	154

Avaliados	RER _{max} T1	RER _{max} T2	RER _{max} T3	RER _{max} T4	FC _{max} T1	FC _{max} T2	FC _{max} T3	FC _{max} T4
					bpm	bpm	bpm	bpm
1	1,19	1,15	1,18	1,21	192	199	200	198
2	1,15	1,16	1,15	1,27	174	181	188	183
3	1,18	1,16	1,18	1,17	169	165	162	163
4	1,21	1,10	1,17	1,22	185	175	184	180
5	1,19	1,07	1,11	1,18	200	183	191	188
6	1,12	1,10	1,13	1,15	157	164	163	164
7	1,09	1,19	1,13	1,20	174	183	176	175
8	1,17	1,25	1,23	1,22	174	183	181	178
9	1,13	1,23	1,23	1,13	181	183	177	181
10	1,11	1,15	1,14	1,29	168	171	166	178
11	1,15	1,16	1,12	1,14	163	188	187	175

APÊNDICE D: Resultados brutos do Capítulo 3.

Avaliados	VO ₂ Repouso ml/kg/min	VO _{2LV} ml/kg/min	VO _{2PCR} ml/kg/min	VO _{2max} ml/kg/min	VO ₂ Repouso L/min	VO _{2LV} L/min	VO _{2PCR} L/min	VO _{2max} L/min	v10k km/h
C	5,72	43,5	49,6	50,9	0,28	2,09	2,38	2,44	16,6
NS	4,80	33,8	37,0	46,1	0,22	1,52	1,67	2,08	16,7
M	6,18	43,3	47,8	52,6	0,31	2,16	2,39	2,63	16,5
B	7,18	44,8	54,1	62,5	0,43	2,69	3,24	3,75	19,8
D	8,39	45,7	49,0	53,1	0,51	2,79	2,99	3,24	19,2
S.a	7,48	43,4	48,3	56,3	0,43	2,47	2,75	3,21	18,6
A	4,83	47,4	53,3	61,2	0,29	2,84	3,20	3,67	18,3
EL	4,93	31,7	43,4	47,8	0,30	1,90	2,60	2,87	19,8
SV	5,03	38,4	42,1	52,2	0,28	1,92	2,11	2,61	16,2
NC	4,27	25,3	30,9	37,2	0,22	1,32	1,61	1,94	13,4
Mi	7,62	33,3	36,7	46,0	0,44	2,00	2,20	2,76	12,0
Ba	4,97	34,4	39,8	50,7	0,34	2,38	2,74	3,50	14,3
NG	3,16	29,0	32,7	36,4	0,16	1,42	1,60	1,78	13,0
J.A	5,86	22,9	24,7	30,4	0,38	1,49	1,61	1,97	14,7
Ar	2,51	29,7	31,5	39,0	0,15	1,81	1,92	2,38	13,8
H	7,42	27,3	28,8	31,9	0,57	2,04	2,16	2,39	12,2
Z	4,85	25,6	29,3	34,3	0,44	1,95	2,23	2,61	14,1
Cl	5,43	26,1	30,4	40,4	0,35	1,67	1,95	2,58	12,1
Ce	5,33	27,7	32,6	37,7	0,33	1,72	2,02	2,43	12,7

APÊNDICE E: Termo de Consentimento Formal aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Capítulo 2.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Projeto: “**Reprodutibilidade de um protocolo de esforço de máximo específico para corredores de 10 km**”.

Dados do sujeito doador voluntário:

Nome: _____

RG: _____ **Idade:** _____

Telefone: (____) _____ - _____

Endereço: _____

Objetivos/Justificativa:

O desenvolvimento de um teste incremental para avaliação de parâmetros máximos (VO_{2max}) e submáximos (LV e PCR) em corredores fundistas ainda não foi bem elucidada pela literatura científica. A grande maioria dos protocolos utilizados para esta finalidade não se preocupa com as necessidades específicas dos corredores, bem como com as premissas metabólicas envolvidas nesse tipo de exercício. O presente projeto busca desenvolver um teste incremental de esforço máximo para avaliação de parâmetros máximos (VO_{2max}) e submáximos (LV e PCR) em corredores fundistas.

Para isso realizaremos quatro repetições do protocolo proposto, as quais serão separadas por no mínimo 48 horas de descanso absoluto ou de cargas de treinamento muito baixas. O protocolo consiste em um período de aquecimento de 3 minutos em velocidades de corrida que se situarão entre 7 a 9 km/h. Após esse período, a velocidade da esteira será incrementada em 0,3 km/h a cada 25 segundos até a exaustão voluntária. A inclinação da esteira permanecerá fixa em 1% durante todo o teste.

Acreditamos que esse estudo possa contribuir para a elucidação das respostas fisiológicas e bioquímicas presentes nesta população, promovendo melhores parâmetros de prescrição de intensidades de treinamento e predição de desempenho para corredores. Ao final dos testes os voluntários e treinadores receberão um relatório geral com informações práticas dos testes realizados para auxiliar na prática do treinamento de cada um dos sujeitos.

Esclarecimento

É de meu conhecimento que este projeto será desenvolvido em caráter de pesquisa científica e objetiva desenvolver um teste incremental de esforço máximo para avaliação de parâmetros máximos (VO_{2max}) e submáximos (LV e PCR) em corredores fundistas. Serão observados parâmetros ventilatórios através da análise de gases. Também haverá a necessidade de me resguardar de treinamentos mais intensos durante os experimentos e por isso comprometo-me a ser assíduo durante todo este período de pesquisa para obter os resultados mais exatos possíveis. Serão realizados três testes com um intervalo mínimo de 48 horas entre cada um deles.

Com referência aos protocolos de teste, sei que serão realizados no Instituto de Biologia, sendo devidamente orientado, tanto em relação aos benefícios como em relação aos sinais, sintomas e manifestações de intolerância ao esforço que poderei ou não apresentar.

Estou ciente ainda, de que, as informações obtidas durante as avaliações serão mantidas em sigilo e não poderão ser consultadas por pessoas leigas, sem a minha devida autorização. As informações assim obtidas, no entanto, poderão ser usadas para fins de pesquisa científica, desde que a minha privacidade seja sempre resguardada.

Comprometo-me, na medida das minhas possibilidades, prosseguir com a pesquisa até a sua finalização, visando além dos benefícios físicos a serem obtidos com as avaliações, colaborar para um bom desempenho do trabalho científico dos responsáveis por este projeto.

Procedimentos:

Exames Laboratoriais

a) *Teste de Esforço Máximo.*

Vantagens para os sujeitos voluntários da pesquisa: Poder ter uma avaliação da sua real capacidade aeróbia, bem como um planejamento mais individualizado das cargas de esforço físico usadas na periodização dos treinos, quando necessário, trazendo benefícios imediatos aos sujeitos voluntários da pesquisa. Alguns desconfortos podem estar presentes pela utilização da máscara de neoprene, a qual cobre a boca e o nariz.

Garante-se ao doador voluntário:

- ✓ Resposta a qualquer pergunta, esclarecimento de qualquer dúvida em relação à metodologia e acesso aos resultados antes e durante a pesquisa. Isso poderá ser feito pessoalmente (Laboratório de Bioquímica do Exercício / IB / Unicamp), por telefone: (19) 8155-4344 3521-6148 ou 3521-6146, ou por e-mail: thiago_fl@yahoo.com.br. O acompanhamento e assistência aos sujeitos voluntários são responsabilidades do Profa. Dra. Denise Vaz de Macedo e Prof. Dr. Luis Eduardo Barreto Martins, orientadores deste projeto.
- ✓ O caráter confidencial das informações obtidas, assegurando-lhe sigilo, manutenção de sua privacidade e compromisso de que sua identidade não será revelada nas publicações do trabalho.
- ✓ Liberdade para deixar de participar da pesquisa ou cancelar este termo de consentimento em qualquer momento, sem penalização alguma e sem prejuízo de suas funções.

ATENÇÃO:

- ✓ **A sua participação em qualquer tipo de pesquisa é voluntária.** Em caso de dúvida quanto aos seus direitos, escreva para o Comitê de Ética em Pesquisa da FCM-UNICAMP. CP: 6111 – Rua Tessália Oliveira de Camargo, 126- Cidade Universitária Zeferino Vaz – CEP: 13.083-970 - Campinas – SP. Fone: (19) 3788-8936.
- ✓ Não está previsto ressarcimento das despesas decorrentes da participação na pesquisa, nem indenização diante de eventuais danos, pois os riscos envolvidos nesta pesquisa são praticamente inexistentes.
- ✓ O doador voluntário ficará com uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Li e entendi as informações precedentes, sendo que os riscos e benefícios já foram discutidos e que as dúvidas futuras que poderão ocorrer serão prontamente esclarecidas, bem como o acompanhamento dos resultados obtidos durante a coleta de dados.

Campinas, ____ de _____ de 20__

- Assinatura do Sujeito Voluntário da Pesquisa:

- Responsável pelo Projeto: **Thiago Fernando Lourenço** – (19) 8155 - 4344

- **Orientadora do Projeto:** Profa. Dra. Denise Vaz de Macedo – (19) 3521 - 6146

- **Orientador do Projeto:** Prof. Dr. Luis Eduardo Barreto Martins – (19) 3521 - 6616

APÊNDICE F: Termo de Consentimento Formal aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Capítulo 3.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Projeto: “CORRELAÇÃO ENTRE PONTO DE COMPENSAÇÃO RESPIRATÓRIO E DESEMPENHO EM CORREDORES DE RUA”.

Dados do sujeito doador voluntário:

Nome: _____

RG: _____ **Idade:** _____

Telefone: (____) _____ - _____

Endereço: _____

Objetivos/Justificativa:

Após o desenvolvimento de uma nova proposta de teste incremental para avaliação de parâmetros máximos (VO_{2max}) e submáximos (LV e PCR) em corredores fundistas amadores em nosso laboratório, o presente projeto busca investigar a existência na relação entre o PCR e o desempenho na corrida de 10000 metros.

Para isso realizaremos o teste máximo em esteira ergométrica para a determinação do PCR e uma simulação de prova de 10000 metros em pista de atletismo. Todos os testes serão separados por no mínimo 72 horas de descanso absoluto ou de cargas de treinamento muito baixas.

A relação entre PCR e desempenho em corredores ainda não foi totalmente investigada, embora se constitua num parâmetro importante para a prescrição de intensidades de treinamento e previsão de desempenho atletas de *endurance*. Acreditamos que esse estudo possa contribuir para a elucidação das respostas fisiológicas e bioquímicas presentes nesta intensidade de exercício, promovendo melhores parâmetros de prescrição de intensidades de treinamento e predição de desempenho para corredores. Ao final dos testes os voluntários e treinadores receberão um relatório geral com informações práticas dos testes realizados para auxiliar na prática do treinamento de cada um dos sujeitos.

Esclarecimento

É de meu conhecimento que este projeto será desenvolvido em caráter de pesquisa científica e objetiva investigar a existência na relação entre o PCR e o desempenho na corrida de 10000 metros. Serão observados parâmetros de desempenho em pista de atletismo e parâmetros ventilatórios através da análise de gases. Também haverá a necessidade de me resguardar de treinamentos mais intensos durante os experimentos e por isso comprometo-me a ser assíduo durante todo este período de pesquisa para obter os resultados mais exatos possíveis. Serão realizados três testes com um intervalo mínimo de 72 horas entre cada um deles.

Com referência aos protocolos de teste, sei que serão realizados na Faculdade de Educação Física e no Instituto de Biologia, sendo devidamente orientado, tanto em relação aos benefícios como em relação aos sinais, sintomas e manifestações de intolerância ao esforço que poderei ou não apresentar.

Estou ciente ainda, de que, as informações obtidas durante as avaliações serão mantidas em sigilo e não poderão ser consultadas por pessoas leigas, sem a minha devida autorização. As informações assim obtidas, no entanto, poderão ser usadas para fins de pesquisa científica, desde que a minha privacidade seja sempre resguardada.

Comprometo-me, na medida das minhas possibilidades, prosseguir com a pesquisa até a sua finalização, visando além dos benefícios físicos a serem obtidos com as avaliações, colaborar para um bom desempenho do trabalho científico dos responsáveis por este projeto.

Procedimentos:

Teste de Desempenho – 10000 metros: A mensuração do desempenho em 10000 metros será realizada na pista de atletismo da Faculdade de Educação Física da UNICAMP onde o sujeito completará 25 voltas na pista com perímetro de 400 metros.

Esse procedimento dificilmente acarreta eventuais desconfortos para os doadores voluntários, exceto o desconforto do esforço físico.

✓ Não há métodos alternativos para a realização dessas análises.

Exames Laboratoriais

b) *Teste de Esforço Máximo*

Vantagens para os sujeitos voluntários da pesquisa: Poder ter uma avaliação da sua real capacidade aeróbia, bem como um planejamento mais individualizado das cargas de esforço físico usadas na periodização dos treinos, quando necessário, trazendo benefícios imediatos aos

sujeitos voluntários da pesquisa. Alguns desconfortos podem estar presentes pela utilização da máscara de neoprene, a qual cobre a boca e o nariz.

Garante-se ao doador voluntário:

- ✓ Resposta a qualquer pergunta, esclarecimento de qualquer dúvida em relação à metodologia e acesso aos resultados antes e durante a pesquisa. Isso poderá ser feito pessoalmente (Laboratório de Bioquímica do Exercício / IB / Unicamp), por telefone: (19) 8155-4344 3521-6148 ou 3521-6146, ou por e-mail: thiago_fl@yahoo.com.br. O acompanhamento e assistência aos sujeitos voluntários são responsabilidades do Profa. Dra. Denise Vaz de Macedo e Prof. Dr. Luis Eduardo Barreto Martins, orientadores deste projeto.
- ✓ O caráter confidencial das informações obtidas, assegurando-lhe sigilo, manutenção de sua privacidade e compromisso de que sua identidade não será revelada nas publicações do trabalho.
- ✓ Liberdade para deixar de participar da pesquisa ou cancelar este termo de consentimento em qualquer momento, sem penalização alguma e sem prejuízo de suas funções.

ATENÇÃO:

- ✓ **A sua participação em qualquer tipo de pesquisa é voluntária.** Em caso de dúvida quanto aos seus direitos, escreva para o Comitê de Ética em Pesquisa da FCM-UNICAMP. CP: 6111 – Rua Tessália Oliveira de Camargo, 126- Cidade Universitária Zeferino Vaz – CEP: 13.083-970 - Campinas – SP. Fone: (19) 3788-8936.
- ✓ Não está previsto ressarcimento das despesas decorrentes da participação na pesquisa, nem indenização diante de eventuais danos, pois os riscos envolvidos nesta pesquisa são praticamente inexistentes.
- ✓ O doador voluntário ficará com uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Li e entendi as informações precedentes, sendo que os riscos e benefícios já foram discutidos e que as dúvidas futuras que poderão ocorrer serão prontamente esclarecidas, bem como o acompanhamento dos resultados obtidos durante a coleta de dados.

Campinas, _____ de _____ de 20__

- Assinatura do Sujeito Voluntário da Pesquisa:

- Responsável pelo Projeto: **Thiago Fernando Lourenço** – (19) 8155 - 4344

- **Orientadora do Projeto:** Profa. Dra. Denise Vaz de Macedo – (19) 3521 - 6146

- **Orientador do Projeto:** Prof. Dr. Luis Eduardo Barreto Martins – (19) 3521 - 6616