UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

ESTIMATIVA DAS CONTRIBUIÇÕES DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS E DO GASTO ENERGÉTICO TOTAL NA ESCALADA ESPORTIVA *INDOOR*

Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

SÃO PAULO
2005

ESTIMATIVA DAS CONTRIBUIÇÕES DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS E DO GASTO ENERGÉTICO TOTAL NA ESCALADA ESPORTIVA *INDOOR*

RÔMULO CÁSSIO DE MORAES BERTUZZI

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação Física.

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARIA AUGUSTA PEDUTI DAL´MOLIN KISS

Bertuzzi, Rômulo Cássio de Moraes
Estimativa das contribuições dos sistemas energéticos
e do gasto energético total na escalada esportiva indoor /
Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi. – São Paulo : [s.n.], 2004.
xvii, 166p.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte
da Universidade de São Paulo.
Orientadora: Profa. Dra. Maria Augusta P.D.M.Kiss.

1. Antropometria. II. Fisiologia do exercício I. Título.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas me ajudaram durante a confecção desse trabalho, portanto peço desculpas antecipadamente caso venha a cometer alguma injustiça ao demonstrar a minha gratidão. De qualquer maneira, não poderia deixar de aproveitar esta oportunidade para tornar público os meus sinceros agradecimentos:

À professora Doutora Maria Augusta Peduti Dal´Molin Kiss pela credibilidade, orientação e a sua valorosa contribuição para minha formação acadêmica.

Ao amigo Emerson Franchini pelas suas imensuráveis contribuições intelectuais que influenciaram profundamente na formalização dessa investigação.

A todo o pessoal do Ginásio 90 graus de Escalada Esportiva *Indoor*, em especial ao Paulo Gil, Edu, Jean e Leandro.

Ao Dr. Eduardo Felipe Librantz do IPEN pela sua paciência no esclarecimento das minhas dúvidas elementares sobre os procedimentos matemáticos.

Aos professores doutores Jorge Perrout, Benedito Pereira, Valmor Tricoli, Marcos Duarte, Carlos Ugrinowitsch e Eduardo Kokubun pela atenção nos momentos que eu os procurei.

Aos colegas do LADESP: Marcus Vinícius Giampietro, Edson Degaki e a Karina de Souza Routman pelo auxilio técnico na coleta dos dados.

Aos amigos João Fernando L. Gagliardi, Fernando R. de Oliveira, Flávio de O. Pires, Adriano E. L. Silva e Karin Matsushigue pelas suas sugestões que foram de grande valia na elaboração desse estudo.

À colega Cássia R. P. Moreira do GEPHAM pela sua valiosa revisão.

À Lucimara Collodoro Rocha da FMUSP pelo auxilio na tradução do resumo.

À Lourdes, à Ilza e ao Márcio da Secretaria de Pós-Graduação da EEFE-USP, que sempre me atenderam atenciosamente.

À bibliotecária Lúcia que, além de ter revisado esse trabalho, sempre me atendeu prontamente.

A todos os “atletas” que com grande paciência se esforçaram para participar

em todas as etapas do experimento, em especial ao André Berezoski, César A. Grosso, Alexandre Paranhos, Carlos Bortoleto (em memória), Eduardo Levy, Cristiano Vianna, Diogo Ratacheski, Léo Medeiros, Marcos Ferrareto, Fernando Riego, Pablo Scorza, Regis Dias, Fabio Sodeyama e Vinicius Ribeiro.

Por fim, dedico essa Dissertação às três pessoas mais importantes da minha vida: a minha mãe, a minha avó Yone e a minha namorada Monique.

Sou sobrevivente de um campo de concentração.
Meus olhos viram o que ninguém deveria ter visto.
Câmaras de gás construídas por engenheiros formados.
Crianças envenenadas por médicos diplomados.
Recém-nascidos mortos por enfermeiras treinadas.
Mulheres e bebês fuzilados e queimados por graduados de colégios e universidades.
Assim... são muitas as minhas suspeitas sobre a educação !

(Texto anônimo encontrado ao fim da segunda Guerra Mundial num campo de concentração nazista).

SUMÁRIO

		Página
	LISTA DE TABELAS	vi
	LISTA DE FIGURAS	ix
	LISTA DE SIGLAS, ABREVIAÇÕES E SÍMBOLOS	xii
	LISTA DE ANEXOS	xiv
	RESUMO	xv
	ABSTRACT	xvii
1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	3
2.1	Objetivo geral	3
2.1	Objetivos específicos	3
3	REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1	Classificação da dificuldade das rotas de escalada esportiva	4
3.2	Características morfológicas e da força de preensão manual dos escaladores esportivos	5
3.3	Comportamento de variáveis fisiológicas na prática da escalada esportiva	8
3.4	Avaliação da potência do sistema oxidativo	21
3.4.1	Resposta do consumo de oxigênio com membros superiores	26
3.5	Avaliação dos sistemas anaeróbios	27
3.5.1	Produção e remoção do lactato pelo músculo esquelético	29
3.5.2	Estimativa do sistema glicolítico mediante as concentrações sangüíneas de lactato	35
3.5.3	Estimativa dos sistemas anaeróbios pelo teste de Wingate	37
3.5.4	Estimativa do sistema ATP-CP por meio do débito alático de oxigênio	41
3.6	Análise cinética do consumo de oxigênio – resposta *on*	50
3.7	Análise cinética do consumo de oxigênio – resposta *off*	56

4	MATERIAIS E MÉTODOS	67
4.1	Amostra	68
4.2	Medidas antropométricas, estimativa da composição corporal e da força de preensão manual	68
4.3	Procedimentos para a medida do consumo de oxigênio e da freqüência cardíaca	70
4.4	Procedimentos para análise da concentração sangüínea de lactato	71
4.5	Protocolo para determinação da potência aeróbia dos membros superiores	71
4.6	Protocolo para determinação da potência e capacidade anaeróbia dos membros superiores	72
4.7	Ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*	73
4.8	Estimativa da participação dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total durante a escalada esportiva *indoor*	74
4.9	Análise estatística	76
5	RESULTADOS	78
5.1	Antropometria, composição corporal e força de preensão manual	78
5.2	Potência aeróbia máxima, potência e capacidade anaeróbia de membros superiores	79
5.3	Respostas das variáveis fisiológicas nas rotas de escalada esportiva *indoor*	80
5.4	Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio após as ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*	81
5.5	Estimativa das contribuições dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total nas ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*	84
6	DISCUSSÃO	88
6.1	Antropometria, composição corporal e força de preensão manual	88

6.2 Potência aeróbia máxima, potência e capacidade anaeróbia de membros superiores 91
6.3 Respostas das variáveis fisiológicas nas rotas de escalada esportiva *indoor*..... 93
6.4 Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio após as ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor* 96
6.5 Estimativa das contribuições dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total nas ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*..... 98
7 CONCLUSÕES..... 103
REFERÊNCIAS..... 105
ANEXOS 122

LISTAS DE TABELAS

Página

TABELA 1 - Resposta de variáveis fisiológicas de escaladores em testes laboratoriais e durante as ascensões de rotas de escalada esportiva 10

TABELA 2 - Resposta de variáveis funcionais em detrimento dos diferentes ângulos de inclinação no ergômetro específico para a escalada. Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de WATTS & DROBISH, 1998)..... 15

TABELA 3 - Resposta da preensão manual e das [La] em virtude dos diferentes tipos de recuperação. Os valores são médias ± desvios padrão (adaptado de WATTS et al., 2000) 17

TABELA 4 - Nível de associação das variáveis obtidas mediante o teste anaeróbio de Wingate com as obtidas por biópsia muscular (adaptado de KACZKOWSKI et al., 1982) 40

TABELA 5 - Ressínteses de ATP e CP em gastrocnêmios de cães após estimulação elétrica. Os dados de repouso foram obtidos no músculo contralateral. A unidade de medida da ATP e da CP é $mM \cdot kg^{-1}$ do peso do músculo seco. O $\Delta\dot{V}O_2$ são valores percentuais (%) da redução do consumo de oxigênio durante a recuperação (adaptado de PIIPER & SPILLER, 1970)..... 43

TABELA 6 - Efeitos do treinamento na magnitude do débito total de oxigênio em testes realizados nos percentuais do $\dot{V}O_{2max}$ nas situações pré e pós treinamento (adaptado de HAGBERG et al., 1980) 48

TABELA 7 - Valores do $t_{1/2}$ na fase rápida e lenta da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ no ciclismo e no teste em banco. Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de di PRAMPERO et al., 1989)..... 59

TABELA 8 - Valores das constantes de tempo do primeiro processo exponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após exercícios realizados com diferentes ergômetros e intensidades (adaptado de CARTER et al, 2000) 59

TABELA 9 - Valores das amplitudes do primeiro processo exponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após exercícios realizados com diferentes ergômetros e intensidades (adaptado de CARTER et al., 2000) . 59

TABELA 10 - Comportamento cinético da resposta *on* e *off* do $\dot{V}O_{2max}$ em diferentes intensidades. Os valores são médias ± desvios padrão (adaptado de PATERSON & WHIPP, 1991)..... 60

TABELA 11 - Constantes de tempo da resposta *on* e *off* do $\dot{V}O_2$ em diferentes intensidades. Os valores são médias ± desvios padrão. A τ_1 e τ_2 são referentes as constantes de tempo do primeiro e da segunda exponencial. Θ não foi obtida a constante de tempo pois a modelagem utilizada era monoexponencial (adaptado de ÖZYENER et al., 2001)..... 61

TABELA 12 - Comportamento cinético da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ e da CP mensurados continuamente. A_1 da CP foi expressa em porcentagem do valor de controle obtido ao início do teste (adaptado de ROSSITER et al., 2002)..... 66

TABELA 13 - Dados morfológicos e etário do grupo de escaladores de elite e recreacional 78

TABELA 14 - Força máxima de preensão manual dos grupos de escaladores de elite e recreacional..... 79

TABELA 15 - Variáveis funcionais mensuradas por meio do teste de potência aeróbia máxima 79

TABELA 16 - Variáveis funcionais mensuradas por meio do teste anaeróbio de Wingate..... 80

TABELA 17 - Respostas fisiológicas dos grupos de escaladores recreacionais e de elite na ascensão da rota fácil 80
TABELA 18 - Respostas fisiológicas do grupo de escaladores elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil (n = 6) 81
TABELA 19 - Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio do grupo de escaladores de elite e recreacional após a ascensão da rota fácil 84
TABELA 20 - Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio do grupo de escaladores de elite após a ascensão das rotas fácil, moderada e difícil (n = 6) 84
TABELA 21 - Estimativa das contribuições absolutas dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total dos grupos durante a ascensão da rota fácil 86
TABELA 22 - Estimativa das contribuições absolutas dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total do grupo de escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil (n = 6) 87

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1 - Representação gráfica dos valores do consumo de oxigênio de pico na esteira rolante, no teste de flexão e extensão de braço, na rota 1 e na rota 2 (ml · kg^{-1} · min^{-1}). Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de BILLAT et al., 1995) 11

FIGURA 2 - Representação gráfica dos valores do consumo de oxigênio de pico no ergômetro específico para a escalada e durante a rota de escalada esportiva em rocha (ml · kg^{-1} · min^{-1}). Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de BOOTH et al., 1999) 13

FIGURA 3 - Representação gráfica dos valores do consumo de oxigênio de pico nas rotas difíceis e fáceis (ml · kg^{-1} · min^{-1}). Os valores são médias e ± desvios padrão. * Estatisticamente superior às rotas fáceis ($p < 0,05$) (adaptado de SHEEL et al., 2003) 18

FIGURA 4 - Representação gráfica dos valores da potência gerada pelo sujeito 4 durante o período de treinamento com a carga externa de 50% de uma repetição máxima. Não foi aplicado tratamento estatístico (adaptado de OLASO et al., 2003) 20

FIGURA 5 - Apresentação gráfica das fases de análise do comportamento cinético da resposta *on* do $\dot{V}O_2$ 52

FIGURA 6 - Representação gráfica das variáveis cinéticas comumente analisadas na resposta *on* do $\dot{V}O_2$ nos domínios Pesado e Muito Pesado. As variáveis da fase 1, 2 e 3 estão representadas pelos seus respectivos números subscritos ($_1$, $_2$ e $_3$), onde A = amplitude; τ = constante de tempo e δ = tempo de atraso (adaptado de SCHEUERMANN et al., 1998) 54

FIGURA 7 - Exemplo do ajuste monoexponencial típico da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil do grupo de escaladores de elite (painel à esquerda) e do grupo de escaladores recreacionais (painel à direita). A linha pontilhada horizontal representa a linha de base 82

FIGURA 8 - Exemplo dos resíduos gerados pela modelagem monoexponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil do grupo de escaladores de elite (painel à esquerda) e do grupo de escaladores recreacionais (painel à direita). A linha pontilhada representa os desvios padrão dos resíduos 82

FIGURA 9 - Exemplo do ajuste monoexponencial típico da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil (painel à esquerda), rota moderada (painel ao centro) e rota difícil (painel à direita) do grupo de escaladores de elite. A linha pontilhada horizontal representa a linha de base 83

FIGURA 10 - Exemplo dos resíduos gerados pela modelagem monoexponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil (painel à esquerda), da rota moderada (painel ao centro) e da rota difícil (painel à esquerda) do grupo de escaladores de elite. A linha pontilhada representa os desvios padrão dos resíduos..... 83

FIGURA 11 - Estimativa das contribuições percentuais dos sistemas bioenergéticos na ascensão da rota fácil. O painel a esquerda refere-se ao grupo de escaladores recreacionais, enquanto o painel da direita ao grupo de escaladores de elite. ‡ Estatisticamente superior ao sistema glicolítico ($p \leq 0,05$) 85

FIGURA 12 - Estimativa das contribuições percentuais dos sistemas bioenergéticos do GEE. Os painéis da esquerda, do centro e da direita referem-se às rotas fácil, moderada e difícil, respectivamente. † Estatisticamente superior ao sistema glicolítico; ‡ estatisticamente superior ao sistema ATP-CP 86

LISTA DE SIGLAS, ABREVIAÇÕES E SÍMBOLOS

A = amplitude do processo exponencial.

ADP = adenosina difosfato.

AMP = adenosina monofostato.

ATP = adenosina trifosfato.

bpm = batimentos por minuto.

Ca^{+} = cálcio.

CP = creatina fosfato.

DAO_2 = débito alático de oxigênio.

DLO_2 = débito lático de oxigênio.

EPOC = excesso do consumo de oxigênio após o exercício físico.

FC = freqüência cardíaca.

$FC_{pico\text{-}escalada}$ = maior valor da FC em testes progressivos até a exaustão realizados em ergômetros que simularam a escalada esportiva.

FMP = força máxima de preensão manual.

FMP_{rel} = força máxima de preensão manual relativa à massa corporal total.

H^{+} = íon de hidrogênio.

I_{fadiga} = índice de fadiga.

[La] = concentrações sangüíneas de lactato.

$[La_{pico\text{-}escalada}]$ = maior valor das [La] observado ao final de testes progressivos até a exaustão realizados em ergômetros que simulam a escalada.

MCT = massa corporal total.

O_2 = oxigênio.

p = nível de significância.

PAM = potência aeróbia máxima.

PFK = enzima fosfofrutoquinase.

pH = logaritmo decimal da concentração de Hidrogênio.

PHOS = enzima glicogênio fosforilase.

Pi = fosfato inorgânico.

PM = potência metabólica.

$P_{média}$ = potência média.

P_{pico} = potencia de pico.

τ = constante de tempo do processo exponencial.

t = tempo em segundos.

$t1/2$ = reflete a metade do tempo necessário para alcançar o pico de resposta da variável das análises cinéticas.

$\dot{V}O_2$ = consumo de oxigênio.

$\dot{V}O_{2max}$ = maior valor do consumo de oxigênio com tendência a estabilização ao final de testes progressivos até a exaustão.

$\dot{V}O_{2pico}$ = maior valor do consumo de oxigênio observado em uma determinada tarefa.

$\dot{V}O_{2pico\text{-}escalada}$ = maior valor do consumo de oxigênio observado em testes progressivos realizados em ergômetros que simulam a escalada.

^{31}P-NMR = Imagem de Ressonância Magnética Nuclear de Fósforo.

δ = tempo de atraso (*time delay*).

ΔLa = acúmulo de lactato no sangue acima dos valores de repouso.

$\Delta\dot{V}O_{2(ss)}$ = o incremento do consumo de oxigênio sobre os valores inicias de repouso.

$\Delta\dot{V}O_{2(t)}$ = aumento do consumo de oxigênio em dado no momento sobre os valores de repouso.

θ_L = 1º limiar metabólico (definido como o aumento desproporcional da ventilação em relação ao consumo de oxigênio).

$\cong$ = aproximadamente.

β = constante que representa a energia equivalente ao acúmulo de lactato.

Σ = somatória.

%GC = percentual de gordura corporal.

LISTA DE ANEXOS

Página

ANEXO I - Tabela de equivalência entre os diferentes sistemas de graduação das rotas de escalada esportiva 123

ANEXO II - Termo de consentimento informado 124

ANEXO III - Cópia digitalizada da aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo 126

ANEXO IV - Resumo das análises estatísticas 127

RESUMO

ESTIMATIVA DAS CONTRIBUIÇÕES DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS E DO GASTO ENERGÉTICO TOTAL NA ESCALADA ESPORTIVA *INDOOR*

Autor: RÔMULO CÁSSIO DE MORAES BERTUZZI

Orientadora: PROFA. DRA. MARIA AUGUSTA PEDUTI DAL´MOLIN KISS

O propósito do presente estudo foi investigar as contribuições dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total durante a escalada esportiva *indoor*. As variáveis antropométricas, a composição corporal, a potência aeróbia máxima de membros superiores e o teste de Wingate para membros superiores foram avaliados em 13 escaladores (Grupo de Elite = 6; Grupo Recreacional = 7). Além disso, o grupo de elite escalou três rotas com diferentes níveis de intensidades (fácil, moderada e difícil) com a mensuração contínua do consumo de oxigênio e com a medida das concentrações sangüíneas de lactato de pico durante a recuperação, ao passo que o grupo dos escaladores recreacionais escalou apenas a rota fácil sobe as mesmas condições. As estimativas dos sistemas aeróbio, glicolítico e ATP-CP foram feitas por meio da mensuração do consumo de oxigênio, das concentrações sanguíneas de lactato de pico e do débito alático de oxigênio, respectivamente. A estimativa do gasto energético total foi realizada pela somatória desses três sistemas. Os principais resultados foram: a) as variáveis antropométricas influenciam apenas em situações específicas da escalada; b) o consumo de oxigênio de pico e a freqüência cardíaca de pico têm uma relação não-linear durante as ascensões das rotas de escalada; c) os sistemas oxidativo e o ATP-CP são os prioritários na transferência da energia na escalada esportiva *indoor*,

independentemente da intensidade das rotas estudadas ou do nível de aptidão dos indivíduos; d) o perfil metabólico e o gasto energético total não apresentam relação linear com o incremento da dificuldade das rotas; e) o menor gasto energético total durante as ascensões está mais relacionado ao desempenho nesse esporte que o aprimoramento dos sistemas bioenergéticos.

Palavras-chave: gasto energético, consumo de oxigênio, lactato, cinética do consumo de oxigênio, débito alático de oxigênio.

ABSTRACT

ESTIMATIVE OF ENERGETICS SYSTEMS CONTRIBUTIONS AND COST ENERGETIC IN INDOOR ROCK CLIMBING

Author: RÔMULO CÁSSIO DE MORAES BERTUZZI

Adviser: PROFA. DRA. MARIA AUGUSTA PEDUTI DAL´MOLIN KISS

The purpose of the present study was to investigate the contributions of the energetic systems and the total energetic cost, during the indoor rock climbing. The anthropometric variables, body composition, upper limbs maximal aerobic power and the Wingate test for the upper limbs were evaluated in 14 climbers (Elite group = 7; Recreation group = 7). Besides, the Elite group have climbed three routes with different levels of intensity (easy, moderate and hard) with the continue measurement of the oxygen uptake during these tasks and with the measurement of the peak blood lactate concentrations during the recovery, while as the recreational climbers group have climbed only the easy route under the same conditions. The calculation of the aerobic, glycolytic and ATP-CP systems were made by the measurement of the oxygen consumption, peak blood lactate concentrations and alactacid oxygen debt, respectively. The calculation of the total energetic cost was made by the sum of these three systems. The main results were: a) the anthropometric variables have secondary contribution on the rock climbers performance, b) the oxygen consumption and the heart rate have a non-linear relation during the ascension of the climbing routes, c) the aerobic and the ATP-CP systems have priority on the energy transference in the indoor rock climbing, independently on the routes intensity or the ability level of the individual, d) the metabolic profile and cost energetic don’t have a

linear relationship with the route's difficult increment; e) the minor energetic cost is more important for the performance in this sport than the improvement of the bioenergetic systems.

Key words: energetic cost, oxygen uptake, lactate, oxygen uptake kinetics, alactacid oxygen debt.

1 INTRODUÇÃO

O aumento do número de adeptos das atividades de aventura praticadas em ambiente natural parece ser decorrente da vontade do homem de manter o contato com a natureza, assim como de fugir de uma sociedade demasiadamente controlada e rotineira (MIRANDA, LACASA & MURO, 1995). Entre várias dessas atividades, a escalada esportiva teve um aumento expressivo no número de praticantes no final do século passado (KLAUSER, BODNER, FRAUSCHER, GABL & NEDDEN, 1999). DAVIS (2004) sugeriu que esse aumento deve-se pela simplicidade e a eficácia do sistema de segurança utilizado nesse esporte e que somente nos Estados Unidos da América existiam cerca de 8,8 milhões de escaladores.

No início da década de 1980, provavelmente na Itália, foram idealizadas as primeiras rotas de escalada esportiva em estrutura artificial, que a princípio, tiveram por objetivo manter a prática dessa modalidade independentemente das condições climáticas. Por ter-se estabelecido nos Estados Unidos da América, e por ser realizada em ginásios cobertos, a escalada esportiva praticada em rotas artificiais teve a sua terminologia amplamente divulgada no Brasil como escalada esportiva *indoor*.

Em virtude da proeminência desses desdobramentos, iniciou-se ainda no final da década de 1980 uma série de eventos competitivos internacionais (BILLAT, PALLEJA, CHARLAIX, RIZZARD & JANEL, 1995). Concomitantemente à institucionalização das competições, houve o aumento do número de trabalhos científicos desenvolvidos com o intuito de obter informações que pudessem auxiliar na maximização do desempenho dos escaladores. Entre os principais temas pertinentes ao rendimento esportivo, os estudos objetivaram verificar o comportamento de respostas fisiológicas (BRAHLER & BLANK, 1995; MERMIER, ROBERGS, McMINN & HEYWARD, 1997; WATTS & DROBISH, 1998) e as características morfológicas desses atletas (BERTUZZI, GAGLIARDI, FRANCHINI & KISS, 2001; GRANT, HYNES, WHITTAKER & AITCHISON, 1996; WATTS, MARTIN & DURTSCHI, 1993).

No entanto, os estudos supracitados não são concordantes a respeito da relevância das contribuições dos diferentes sistemas bioenergéticos. Em virtude da dificuldade de se reproduzir o gesto esportivo da escalada em tarefas laboratoriais, a

maioria dos trabalhos científicos utilizaram em seus respectivos experimentos, a estratégia de confrontar os resultados obtidos com testes laboratoriais com as respostas de variáveis fisiológicas durante as ascensões na escalada. Por exemplo, BILLAT et al. (1995) sugeriram que o metabolismo anaeróbio é o principal sistema energético para o sucesso nesse esporte, pois em seu trabalho notou-se que durante a ascensão de rotas difíceis, era requerida uma pequena porcentagem do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) mensurado na esteira (entre 37% e 46%). Ao contrário de BILLAT et al. (1995), BOOTH, MARINO, HILL e GWINN (1999) indicaram que o sistema oxidativo é prioritário no processo de transferência de energia durante as ascensões das rotas de escalada esportiva. Para chegar a essa conclusão, esses pesquisadores mensuraram o $\dot{V}O_{2max}$ por meio de um ergômetro específico à escalada (Crestville Holdings®, Sydney, Austrália) e posteriormente, verificaram que durante a ascensão de uma rota fácil o consumo de oxigênio era em torno de 75% do $\dot{V}O_{2max}$.

Apesar desses estudos apresentarem relevantes contribuições para a caracterização da modalidade e para a compreensão do comportamento fisiológico na escalada esportiva, a especificidade dos movimentos não é plenamente atendida com essa abordagem metodológica. As participações distintas do sistema oxidativo nos respectivos trabalhos podem ter sido em conseqüência dos ergômetros adotados proporcionarem valores diferentes do $\dot{V}O_{2max}$, decorrente das desigualdades dos graus de dificuldade das rotas adotadas e pela variedade dos níveis de aptidão na escalada apresentada entre as populações participantes dos experimentos.

Em seu recente artigo de revisão, WATTS (2004) reforçou parte dessa idéia ao destacar que os estudos que verificaram a participação do sistema aeróbio na escalada esportiva mensuraram o $\dot{V}O_{2max}$ com ergômetros que não são específicos a esse esporte, particularmente por não solicitarem os membros superiores. Além disso, as inferências sobre a contribuição do metabolismo anaeróbio foram feitas somente com base nas descrições dos valores das concentrações sangüíneas de lactato [La], que podem ser um indicativo da glicólise ou glicogenólise (JACOBS, 1986), porém não proporcionam informações sobre o sistema anaeróbio alático (GASTIN, 1994).

Devido à problemática apresentada ser inerente a certas modalidades esportivas, alguns pesquisadores têm empregado a análise de variáveis fisiológicas obtidas durante a própria tarefa para se estimar a participação dos sistemas bioenergéticos. Por exemplo, nos estudos de FRANCESCATO, TALON e di PRAMPERO (1995) e de BENEKE, BEYER, JACHNER, ERASMUS e HÜTLER (2004) foram utilizadas as medidas do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), das [La] e do débito alático de oxigênio nas situações de combate no karatê para representarem o sistema oxidativo, anaeróbio lático e alático, respectivamente. Além da possibilidade da realização em situações reais do esporte em questão, esse conjunto de medidas tem o atrativo de ser aplicável em tarefas onde não se estabelece um verdadeiro estado estável (BENEKE, POLLMANN, BLEIF, LEITHÄUSER & HÜTLER, 2002), ou em esportes que não possuem períodos de esforço e pausa sistematizados (FRANCESCATO et al., 1995).

Em relação à escalada esportiva *indoor*, nenhum estudo até o presente momento utilizou a análise das respostas fisiológicas obtidas durante a própria prática para se conhecer as contribuições dos sistemas de transferência de energia nessas tarefas. Dessa forma, o presente estudo visou estimar as participações dos sistemas bioenergéticos e o gasto energético total na situação real da escalada *indoor*. Além disso, foi verificado se a dificuldade das rotas, o nível de aptidão física específica à escalada e o nível de aptidão física geral (aeróbia e anaeróbia) poderiam influenciar nas respostas dessas variáveis.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Estimar as contribuições dos sistemas bioenergéticos (ATP-CP, glicolítico e oxidativo) e o gasto energético total de escaladores esportivos em diferentes rotas *indoor*.

2.2 Objetivos específicos

Foram objetivos específicos desse estudo:

a) estimar e comparar as contribuições dos sistemas bioenergéticos e o gasto

energético total dos escaladores de elite e recreacionais na ascensão de uma rota fácil;

b) estimar e comparar as contribuições dos sistemas bioenergéticos e o gasto energético total dos escaladores de elite na ascensão de uma rota fácil, uma rota moderada e uma rota difícil;
c) verificar o nível de associação da potência aeróbia máxima, da capacidade e da potência anaeróbia de membros superiores com as contribuições dos sistemas oxidativo, glicolítico e ATP-CP durante as ascensões da rota fácil (escaladores de elite e recreacionais) e da rota difícil e moderada (escaladores de elite).
d) verificar o nível de associação de variáveis antropométricas com o gasto energético total durante as ascensões da rota fácil (escaladores de elite e recreacionais) e da rota difícil e moderada (escaladores de elite).
e) medir e comparar a força máxima de preensão manual absoluta e relativa à massa corporal total dos escaladores de elite e recreacionais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura do presente estudo analisou os principais trabalhos mais que abordaram os fatores relacionados ao desempenho na escalada esportiva, bem como as respostas das variáveis fisiológicas que serão utilizadas para estimar os sistemas bioenergéticos em laboratório e campo.

3.1 Classificação da dificuldade das rotas de escalada esportiva

Antecedendo a exposição dos trabalhos referentes à escalada esportiva, faz-se necessária uma breve explanação sobre a forma de classificação da dificuldade das rotas devido à possibilidade dessa variável intervir no comportamento das variáveis fisiológicas que serão analisadas.

O estabelecimento da dificuldade de uma determinada rota em rocha é inicialmente sugerido pelo primeiro indivíduo que a escalou. Em seguida, a graduação pré-estabelecida é confirmada ou reformulada após outras repetições de escaladores experientes que já tenham ascendido rotas de graduação equivalente ou superior à analisada. No caso dos ginásios de escalada esportiva *indoor* o procedimento utilizado é semelhante a esse, porém as rotas são montadas por

escaladores especializados nessa tarefa (*route setter*) e o veredicto final normalmente é estabelecido pelos escaladores que trabalham nessas instituições. Além disso, alguns fatores podem contribuir de forma isolada ou combinada para a imposição das dificuldades das rotas de escalada esportiva *indoor*, entre eles: a distribuição, o tamanho e o posicionamento das agarras, bem como o comprimento e o ângulo de inclinação dos muros artificiais.

Atualmente, essa classificação é realizada pelo sistema de graduação de cada continente ou país, entretanto, os modelos mais utilizados nas publicações científicas foram o norte-americano (SHEEL, SEDDON, KNIGHT, MCKENZIE & WARBURTON, 2003) e o francês (BILLAT et al., 1995; MERMIER, et al., 1997; MERMIER, JANOT, PARKER & SWAN, 2000). É comum esses sistemas utilizarem números e letras em suas estruturas, que permitem a sistematização das dificuldades das rotas. No caso da graduação brasileira, aplica-se uma escala numérica crescente que varia do 4º ao 11º grau, sendo a dificuldade intermediária entre os graus classificada por letras “a”, “b” e “c”, onde “b” indica uma dificuldade superior a “a” e inferior a “c”. Por exemplo, uma rota graduada em 8c é mais difícil que uma de 8b, porém mais fácil que uma de 9a. Contudo, não existe o limite superior da graduação das rotas, pois com o aprimoramento dos escaladores sugem propostas de rotas mais difíceis que as já existentes. De qualquer maneira, esses sistemas de graduação supracitados utilizam um processo semelhante ao nacional, permitindo a equivalência dessa variável com os estudos de diferentes países (ANEXO I).

3.2 Características morfológicas e da força de preensão manual de escaladores esportivos

Entre as demais variáveis que intervêm no desempenho dos praticantes do esporte em questão, as adaptações morfológicas e a força de preensão manual têm despertado o interesse de alguns pesquisadores (GRANT, HASLER, DAVIES, AITCHISON, WILSON & WHITTAKER, 2001; GRANT et al., 1996; WATTS, MARTIN & DURTSCHI, 1993). No estudo de WATTS, MARTIN e DURTSCHI (1993) foi observado que entre os atletas semifinalistas (n = 21) e finalistas (n = 7) do gênero masculino de uma Etapa da Copa do Mundo de Escalada Esportiva *Indoor*, somente a massa livre de gordura apresentou diferença estatisticamente significativa entre os

grupos ($p < 0,05$), com os finalistas possuindo os valores menores (59,3 ± 3,8 kg) em relação aos demais (63,5 ± 4,8 kg).

GRANT et al. (1996) também não observaram diferenças estatisticamente significativas da estatura (178,9 ± 8,5 cm, 179,4 ± 7,9 cm e 179,4 ± 4,4 cm), massa corporal total (MCT) (74,5 ± 9,6 kg, 72,9 ± 10,3 kg e 70,9 ± 5,9 kg), percentual de gordura corporal (%GC) (14,0 ± 3,7 %, 15,3 ± 3,0 % e 12,7 ± 2,4 %), comprimento de braço (73,8 ± 3,9 cm, 76,1 ± 4,2 cm e 75,4 ± 3,0 cm) e de perna (114,6 ± 4,6 cm, 119,2 ± 7,0 cm e 117,5 ± 4,8 cm) ($p < 0,05$) entre os grupos de escaladores de elite ($n = 10$), recreacionais ($n = 10$) e controle ($n = 10$), respectivamente. Porém, um fato relevante a ser citado sobre esse estudo é a forma que o grupo de elite foi estruturado, pois os autores adotaram uma grande amplitude como critério de inclusão. Em outras palavras, participaram do grupo de elite sujeitos que já haviam realizado ascensões de rotas fáceis e difíceis.

Ao contrário dos trabalhos supracitados, o estudo de BERTUZZI et al. (2001) indicou a presença de diferenças na composição corporal entre os escaladores do gênero masculino, com o grupo de elite apresentando menores valores de %GC (elite = 4,8 ± 2,3%; intermediário = 6,7 ± 1,5%; $p < 0,05$). Nesse trabalho, tanto o grupo de elite quanto o intermediário eram homogêneos em virtude dos seus respectivos níveis de aptidão na escalada esportiva *indoor*.

Em relação à força máxima de preensão manual (FMP), ainda não são conclusivas as respostas apresentadas na literatura sobre a sua contribuição para o desempenho dos escaladores. Por exemplo, no estudo anteriormente citado de WATTS, MARTIN e DURTSCHI (1993), os autores não verificaram diferenças significativas da FMP entre os semifinalistas (51,6 ± 6,4 kgf) e finalistas (48,7 ± 9,1 kgf) do gênero masculino de uma Etapa da Copa do Mundo de Escalada Esportiva *Indoor*. Em um estudo subseqüente, FERGUSON e BROWN (1997) observaram que a FMP de um grupo de escaladores de elite ($n = 5$) também não diferia dos valores de um grupo de sedentários ($n = 10$) (715 ± 34 N e 635 ± 55 N, respectivamente) ($p < 0,05$). Contudo, nesse trabalho, a MCT dos sujeitos não foi mensurada, fato que inviabilizou a análise da FMP de forma relativa a essa variável, pois em virtude da necessidade de sustentação da MCT durante as ascensões, a FMP relativa a MCT parece ser a forma mais adequada de expressá-la (GRANT et al., 2001; WATTS,

MARTIN & DURTSCHI, 1993).

No trabalho de GRANT et al. (2001) constatou-se que as escaladoras de elite (n = 10; 338 ± 12 N) possuíam valores mais elevados da FMP que as escaladoras recreacionais (n = 10; 289 ± 10 N) e do grupo controle (n = 10; 307 ± 11 N), reafirmando que essa variável é importante para prática da escalada esportiva. O estudo de GRANT et al. (1996) corrobora a hipótese da relação da FMP com o desempenho dos escaladores esportivos, pois se demonstrou que os escaladores de elite possuíam valores significativamente superiores da FMP da mão esquerda (526 ± 21 N) quando comparados ao grupo de escaladores recreacionais (445 ± 21 N) e do grupo controle (440 ± 21 N) ($p < 0,05$).

Em um trabalho mais recente, GRANT, SHIELDS, FITZPATRICK, MING LOH, WHITAKER, WATT e KAY (2003) observaram o comportamento de outras variáveis relacionadas à capacidade dos músculos flexores dos dedos de gerar tensão em sujeitos envolvidos com diferentes tipos de treinamento. Para atender a tal propósito foram recrutados 27 sujeitos, que formaram o grupo de escaladores recreacionais, remadores e atletas que utilizavam aerobiamente os membros inferiores em suas respectivas modalidades esportivas. Entre as demais variáveis analisadas nesse trabalho, foram medidos a FMP, os tempos de permanência a 40% da FMP e o tempo de permanência em dois testes intermitentes (teste A = seis segundos de contração a 40 % FMP com seis segundos de recuperação passiva; teste B = 18 segundos de contração a 40 % FMP com 12 segundos de recuperação passiva). Foi observado que somente a FMP do grupo de escaladores recreacionais era estatisticamente superior à FMP dos remadores e dos atletas treinados aerobiamente (383 ± 35,6 N, 321 ± 49,5 N e 288 ± 60,6 N, respectivamente) ($p = 0,001$). Apesar de não ter sido especulado pelos pesquisadores, uma possível explicação para não haver diferenças nas demais tarefas é que os escaladores recreacionais possuíam valores mais elevados da FMP, refletindo uma demanda fisiológica superior ao se estipular o valor de 40% da FMP.

Contrapondo os resultados do trabalho supracitado, QUAINE, VIGOUROUX e MARTIN (2003) verificaram que além da FMP, os escaladores de elite eram capazes de realizar as contrações intermitentes (5 segundos de contração por 5 de descanso a 80% FMP) por mais tempo quando comparados com escaladores iniciantes (185 e

115 segundos, respectivamente) ($p < 0,05$). Além disso, por meio da análise eletromiográfica, foi constatado que para essa tarefa os grupos envolviam similarmente a participação dos músculos flexores e extensores dos dedos, sendo atribuído a esse comportamento a falta de especificidade da pegada no dinamômetro. Contudo, é difícil comparar esses dois estudos, pois os níveis de habilidade das populações e as tarefas adotadas foram distintos.

Em resumo, quando comparados subgrupos homogêneos mas com diferentes níveis de desempenho, os escaladores de elite tendem a possuir valores menores do %GC em relação aos escaladores intermediários e grupo controle, porém comumente não diferem em relação à MCT e à estatura. Apesar das divergências apresentadas, a FMP tende a ser uma variável importante para o desempenho dos atletas de escalada, sendo mais bem expressa de forma relativa à MCT.

3.3 Comportamento de variáveis fisiológicas na prática da escalada esportiva

Os primeiros estudos que utilizaram a escalada esportiva em seus modelos experimentais tiveram por objetivo analisar as respostas de algumas variáveis funcionais, sem necessariamente associá-las ao desempenho dessa modalidade (BUNTING, LITTLE, TOLSON & JESSUP, 1986). Entre eles, encontra-se o trabalho de JANNOT, STEFFEN, PORCARI e MAHER (2000), no qual foi observado que os escaladores recreacionais ($n = 17$; 10 homens e sete mulheres) possuíam valores menores de FC antes ($\cong$ 15,5%) e durante ($\cong$ 12,4%) ($p < 0,05$) a ascensão de duas rotas de escalada esportiva *indoor* com diferentes níveis de dificuldades quando comparados com sujeitos que ainda não possuíam nenhuma experiência nesse esporte ($n = 17$; 10 homens e sete mulheres). Além desses achados os autores notaram que a percepção subjetiva do esforço diferiu entre os grupos após as tarefas supracitadas ($p < 0,05$), com os escaladores recreacionais possuindo valores menores (11,5 e 14,4 para a rota 1 e 2, respectivamente) em relação ao outro grupo (12,4 e 15,1 para rota 1 e 2, respectivamente). Baseado nesses resultados sugeriu-se que o maior valor da FC do grupo que não tinha experiência deve-se aos níveis de ansiedade elevados, descritos informalmente pelos sujeitos. Adicionalmente, os menores valores da FC durante as rotas de escalada, assim como os da escala de

percepção de esforço apresentados pelo grupo recreacional foram relacionados indiretamente com a sua maior habilidade técnica. De fato, parece que escaladores mais habilidosos têm a capacidade de antecipar a estratégia a ser utilizada durante uma rota de competição e eventualmente influenciar na demanda metabólica (BERTUZZI, FRANCHINI & KISS, 2002). Apesar desses indicativos de eficiência técnica entre os níveis distintos de aptidão na escalada, até o presente momento nenhum trabalho verificou a existência desse fenômeno mediante variáveis que melhor o representassem.

Outros trabalhos utilizaram ergômetros específicos à escalada esportiva no intuito de observar o comportamento do $\dot{V}O_{2max}$ em atividades que solicitam diferentes proporções da massa muscular. BALLOR, BECQUE e KATCH (1988) compararam os valores do $\dot{V}O_{2max}$ de sujeitos fisicamente ativos por meio de um teste realizado em esteira rolante, bicicleta ergométrica e num ergômetro simulador de escalada (VersaClimb® 2000, Heart Rate Inc., Califórnia, Estados Unidos da América), obtendo valores de 65,5 (± 2,8) ml · kg^{-1} · min^{-1}, 61,4 (± 2,6) ml · kg^{-1} · min^{-1} e 61,0 (± 2,6) ml · kg^{-1} · min^{-1}, respectivamente. Com esses resultados chegou-se à conclusão de que o ergômetro utilizado para simular a escalada solicitava valores semelhantes de $\dot{V}O_{2max}$ quando comparado aos da bicicleta ergométrica, mas com uma inferioridade de aproximadamente 6 a 7% ao observado em esteira. Além disso, sugeriu-se a existência de linearidade entre o $\dot{V}O_2$ e a FC em relação ao aumento do trabalho durante a escalada esportiva.

Com o propósito de observar o mesmo fenômeno, BRAHLER e BLANK (1995) avaliaram atletas do sexo feminino (n = 11) que utilizavam predominantemente membros superiores na prática das suas respectivas modalidades esportivas. Os indivíduos foram submetidos a protocolos similares aplicados em esteira, remo ergômetro e com o mesmo ergômetro para escalada esportiva do estudo anteriormente descrito. Entre os principais achados, o $\dot{V}O_{2max}$ expresso de forma relativa à massa corporal total foi estatisticamente semelhante entre o ergômetro para escalada e a esteira rolante ($p = 0,1421$), mas apresentou valores superiores aos obtidos no remo ergômetro ($p = 0,0077$). Adicionalmente, foi observado novamente a linearidade entre a velocidade de escalada e o $\dot{V}O_2$. A explicação apresentada pelos autores para as diferenças entre os ergômetros é que

a esteira e o ergômetro para a escalada exigiram menor habilidade dos avaliados quando comparado ao remo ergômetro.

As divergências entre os trabalhos de BRAHLER e BLANK (1995) e BALLOR, BECQUE e KATCH (1988), foram atribuídas à duração dos protocolos, pois para o estudo de BALLOR, BECQUE e KATCH (1988) estimou-se que o tempo total de aplicação dos testes foi elevado (≅ 17 minutos), ao passo que nos testes do estudo de BRAHLER e BLANK (1995) o tempo foi considerado próximo do ideal para a medida do $\dot{V}O_{2max}$ (entre sete e oito minutos). Além disso, as características do treinamento em que as atletas estavam envolvidas, a habilidade de se adaptarem aos ergômetros e a massa muscular envolvida em cada teste são outras variáveis que poderiam potencialmente intervir nos resultados apresentados.

Os primeiros estudos que realmente observaram as relações entre variáveis fisiológicas e o desempenho na escalada esportiva surgiram a partir da metade da década de 1990 (TABELA 1).

TABELA 1 – Respostas de variáveis fisiológicas de escaladores em testes laboratoriais e durante as ascensões de rotas de escalada esportiva.

Estudo	$\dot{V}O_{2pico}$ na escalada ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	Ergômetro	% do $\dot{V}O_{2max}$ (%)	[La] após a escalada (mM)
Billat et al. (1995)	R_1 = 24,9 ± 1,2 R_2 = 20,6 ± 0,9	esteira	R1 = 46 ± 4,9 R2 = 37 ± 5,4	R1 = 5,7 ± 0,9 R2 = 4,3 ± 0,8
Booth et al. (1999)	F = 32,5 ± 2,0	específico à escalada	75	4,5 ± 0,5
Sheel et al. (2003)	F = 20,1 ± 0,3 D = 22,7 ± 3,7*	bicicleta	F = 45,3 D = 51,2	N.M.
Mermier et al. (1997)	F = 20,7 ± 8,1 M = 21,9 ± 5,3 D = 24,9 ± 4,9	N.U.	N.U.	F = 1,6 ± 0,6 M = 2,4 ± 0,6* D = 3,2 ± 0,9*‡

* estatisticamente superior à rota fácil; ‡ = estatisticamente superior à rota moderada; R_1 e R_2 eram rotas difíceis mas com o mesmo grau de dificuldade; N.M. = não mensurado; N.U. = não utilizado; F = rota fácil; M = rota moderada; D = rota difícil; % do $\dot{V}O_{2max}$ = valor percentual solicitado na escalada.

BILLAT et al. (1995) avaliaram a participação do metabolismo oxidativo em escaladores de elite (n = 4) durante as ascensões de rotas de escalada esportiva *indoor*. Nesse experimento os sujeitos foram submetidos a testes ergoespirométricos máximos realizados em esteira e com a extensão e flexão de braços (*pulling test*) e posteriormente realizaram a ascensão de duas rotas de escalada esportiva *indoor* de dificuldade elevada (7b – Francês). Durante essas rotas foram medidas as parciais de tempo com que os atletas realizaram ações musculares dinâmicas e isométricas com os membros superiores, o tempo total de escalada, a FC, o $\dot{V}O_2$ e as [La] três minutos após o término das ascensões. As repostas da FC representaram 85,8% e 93,0% para a rota 1 (R1) e 77% e 84% para a rota 2 (R2) dos valores máximos obtidos nos testes realizados em esteira e de extensão e flexão de braços, respectivamente. O tempo total de ascensão da R1 foi de 3,46 (± 0,48) minutos e da R2 foi de 3,44 (± 0,20) minutos, sendo os tempos de ações musculares dinâmicas de 63,7 (± 9,5)% e 43,4 (± 4,4)% do tempo total para R1 e R2, respectivamente. De uma forma geral, as respostas do $\dot{V}O_2$ para a R1 e R2 foram em torno de 42% dos dados obtidos em esteira e de 104% do observado no teste de extensão e flexão de braços (FIGURA 1).

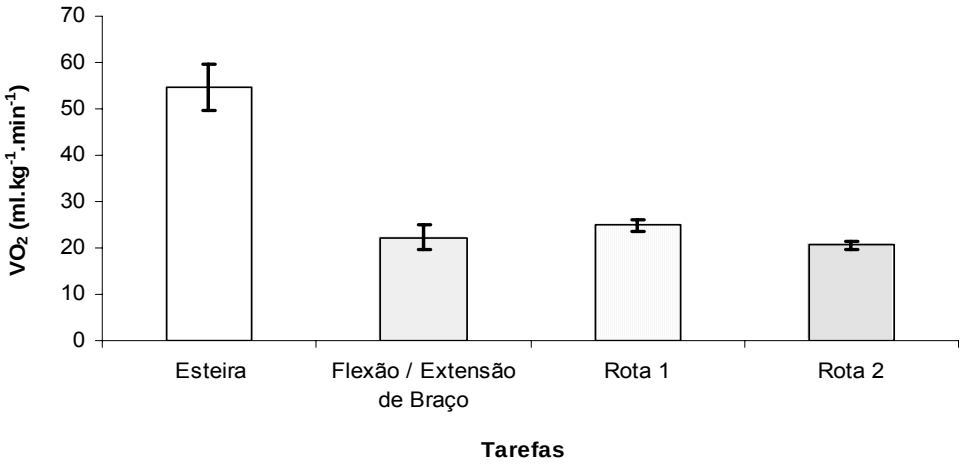

FIGURA 1 – Representação gráfica dos valores do consumo de oxigênio de pico (ml · kg^{-1} · min^{-1}) na esteira rolante, no teste de flexão e extensão de braço, na rota 1 e na rota 2. Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de BILLAT et al., 1995).

Ainda no estudo de Billat et al. (1995), foram observados valores das [La] de 5,7 (± 0,95) mmol.l^{-1} na R1 e 4,3 (± 0,77) mmol · l^{-1} na R2. Baseado nesses dados concluí-se que na escalada esportiva *indoor* o metabolismo oxidativo desenvolve papel secundário, pois durante as ascensões é solicitado uma baixa fração do $\dot{V}O_{2max}$ quando utilizam-se os valores obtidos em esteira como referencial. Apesar dos valores das [La] serem relativamente baixos, foi especulado que as [La] podem intervir negativamente no desempenho por se acreditar que a sua elevação ocorre principalmente pelos pequenos grupos musculares responsáveis pela flexão dos dedos. De qualquer forma, cabe ressaltar que o lactato nem sempre está associado ao processo de fadiga muscular aguda (WESTERBLAD, ALLEN & LÄNNERGREN, 2002).

BOOTH et al. (1999) adotaram a mesma estratégia de comparar dados obtidos em testes laboratoriais com os adquiridos durante uma rota fácil de escalada esportiva em rocha. Inicialmente foi aplicado um teste ergoespirométrico máximo, com o ergômetro específico para a escalada esportiva (Crestville Holdings®, Sydney, Austrália), durante o qual foram medidos o maior valor do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_{2pico\text{-}escalada}$), da freqüência cardíaca máxima ($FC_{pico\text{-}escalada}$) e as concentrações sanguíneas de lactato de pico após o teste [$La_{pico\text{-}escalada}$] em seis escaladores de elite (cinco homens e uma mulher). Em uma ocasião separada, as mesmas variáveis foram mensuradas durante e imediatamente após a ascensão da rota previamente descrita. No teste laboratorial, o $\dot{V}O_2$ e a FC aumentaram linearmente com incremento das velocidades de 8 m · min^{-1}, 10 m · min^{-1}, 12 m · min^{-1}, 14 m · min^{-1} e 16 m · min^{-1} e as [La] elevaram-se de 1,43 (± 0,1) mmol · l^{-1} para 10,2 (± 0,6) mmol · l^{-1} imediatamente após o teste. O $\dot{V}O_{2pico\text{-}escalada}$ e a $FC_{pico\text{-}escalada}$ atingiram os valores de 43,8 (± 2,2) ml · kg^{-1} · min^{-1} e 190 (± 4) bpm, respectivamente. Na ascensão da rota de escalada, a média do tempo de duração foi de sete minutos e 36 segundos (± 33), com uma FC_{pico} de 157 (± 8) bpm, com as [La] de pico de 4,5 (± 0,5) mmol · l^{-1} e com o $\dot{V}O_2$ atingindo cerca de 75% do $\dot{V}O_{2pico\text{-}escalada}$ (FIGURA 2). Por causa da elevada porção do $\dot{V}O_{2pico\text{-}escalada}$ requerida durante a ascensão da rota (≅ 75%), concluiu-se que o metabolismo oxidativo é prioritário na transferência de energia durante a prática da escalada esportiva em rocha. Para esses autores, as divergências com os resultados do estudo de BILLAT et al. (1995) se devem aos

diferentes métodos utilizados para a mensuração do $\dot{V}O_{2max}$, pois especulou-se que no teste realizado no ergômetro específico para a escalada utiliza-se uma quantidade superior de massa muscular que no teste de flexão e extensão de braço, porém menor que o teste realizado em esteira. Todavia, é pertinente citar a dificuldade de se comparar esses dois estudos, pois outros fatores poderiam implicar nas conclusões estabelecidas, como por exemplo, a rota utilizada por BOOTH et al. (1999) era em rocha, com maior extensão e efetivamente mais fácil que as do trabalho de BILLAT et al. (1995).

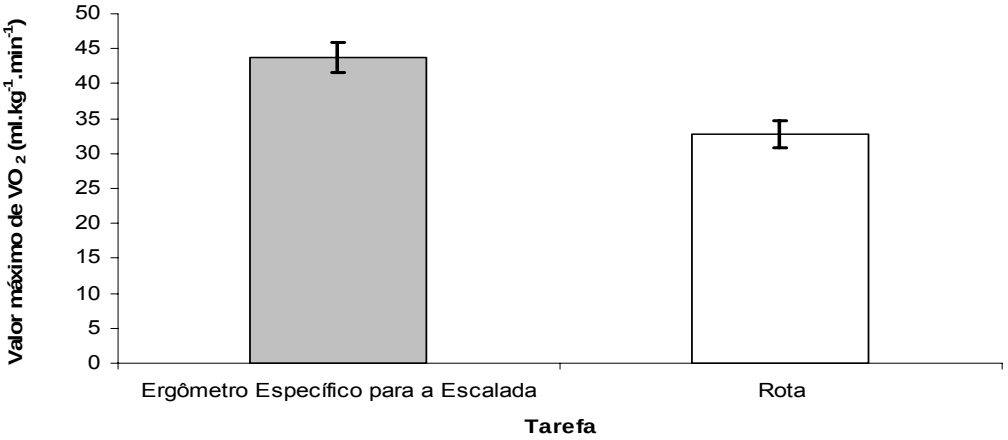

FIGURA 2 – Representação gráfica dos valores do consumo de oxigênio de pico no ergômetro específico para a escalada e durante a rota de escalada esportiva em rocha (ml · kg^{-1} · min^{-1}). Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de BOOTH et al., 1999).

Com a finalidade de observar as respostas de algumas variáveis fisiológicas em rotas *indoor* com diferentes níveis de dificuldade, MERMIER et al. (1997) avaliaram em 14 escaladores (nove homens e cinco mulheres) o $\dot{V}O_2$ e a FC durante a escalada e as [La] logo após as ascensões de uma rota fácil, uma moderada e uma difícil (5.6, 5.9 e 5.11, respectivamente – EUA). A FC teve o comportamento diretamente proporcional com os aumentos das dificuldades das rotas ($p < 0,05$), sendo os valores obtidos de 142 (±19) bpm, 155 (± 15) bpm e 163 (±15) bpm para a fácil, moderada e difícil, respectivamente. O $\dot{V}O_2$ diferiu estatisticamente somente para a rota difícil (24,9 ± 4,9 ml · kg^{-1} · min^{-1}) quando comparado à fácil (20,7 ± 8,1

ml · kg^{-1} · min^{-1}) e à moderada (21,9 ± 5,3 ml · kg^{-1} · min^{-1}) ($p < 0,05$), ao passo que as [La] aumentaram significativamente, conforme a elevação da dificuldade (fácil = 1,64 ± 0,63 mmol · l^{-1}, moderada = 2,40 ± 0,68 mmol · l^{-1}, difícil = 3,20 ± 0,97 mmol · l^{-1}; $p < 0,05$). Por esses resultados, conclui-se que o aumento da FC em decorrência das diferentes solicitações impostas pelas rotas deve-se principalmente às contrações isométricas realizadas pelos membros superiores e por causa desses membros comumente se encontrarem estendidos acima do nível do coração. Ao contrário dos estudos anteriormente descritos, que utilizaram ergômetros para observar o comportamento dessas variáveis, o $\dot{V}O_2$ não aumentou proporcionalmente à FC em resposta aos diferentes níveis de dificuldade, sugerindo que a relação entre $\dot{V}O_2$ e FC não é linear durante a situação real de escalada. A contribuição do metabolismo glicolítico parece ter sido diretamente proporcional à intensidade das rotas de escalada, porém não foi realizada a quantificação do seu percentual de participação para essas tarefas.

Ainda com o objetivo de analisar as respostas fisiológicas em diferentes situações inerentes à escalada esportiva, WATTS e DROBISH (1998) submeteram 16 escaladores (nove homens e sete mulheres) a cinco testes realizados com ergômetro para a escalada (Tredwall^{TM}, Brewer´s Ledge Inc., Boston, Estados Unidos da América), utilizando um protocolo em que os sujeitos determinavam a velocidade durante aproximadamente 4 minutos em uma rota fácil (5,7 – EUA), mas com diferentes ângulos de inclinação (80º, 86º, 91º, 96º e 102º). Nesse experimento os pesquisadores mensuraram, entre outras variáveis, a FC_{pico}, o $\dot{V}O_{2pico}$, o gasto energético e o comportamento das [La] e da FMP após cada teste (TABELA 2). Segundo esses pesquisadores, o aumento das [La] em ângulos superiores a 90º indica que a medida do gasto energético pode ser subestimada ao se utilizar somente o $\dot{V}O_2$ para calculá-la, pois desconsidera a participação de outros sistemas bioenergéticos que poderiam contribuir para a prática da escalada nessas situações. A preensão manual diminuiu progressivamente com o aumento do ângulo de inclinação e correlacionou-se negativamente com as [La] ($r = - 0,96$; $p < 0,01$), indicando que provavelmente a elevação desse metabólito ocorre em virtude das preensões manuais, as quais aumentaram de intensidade pela impossibilidade da sobreposição da MCT nos pontos de apoio dos pés a partir do ângulo de 91º. Assim

como no estudo de MERMIER et al. (1997), a relação entre $\dot{V}O_{2pico}$ e a FC não foi linear entre as situações, constituindo um possível indicativo que a inclinação das rotas é um dos fatores contribuintes para essa desproporcionalidade, mediante o aumento do tempo de ação isométrica dos membros superiores. Além disso, independentemente do grau de dificuldade das rotas de escalada, o aumento do ângulo de inclinação é um estímulo suficiente para elevar a participação do sistema glicolítico por causa da sobrecarga dos membros superiores.

TABELA 2 – Resposta de variáveis funcionais nos diferentes ângulos de inclinação do ergômetro específico para a escalada. Os valores são médias ± desvios padrão (adaptado de WATTS & DROBISH, 1998).

Ângulo (^{o})	FC_{pico} (bpm)	$\dot{V}O_{2\,pico}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	Gasto Energético ($kcal \cdot min^{-1}$)	[La] ($mmol \cdot l^{-1}$)	Preensão Manual (kgf)
80	156 ± 17	31,3 ± 4,0	11,0 ± 2,3	3,6 ± 1,2	43,6 ± 14,3
86	165 ± 16*	31,7 ± 4,6	11,2 ± 2,8	4,0 ± 1,3	40,3 ± 14,9
91	171 ± 17*	31,2 ± 4,6	11,0 ± 2,2	4,9 ± 1,6*	35,4 ± 13,9*
96	173 ± 15*	29,5 ± 5,2	10,4 ± 2,5	5,1 ± 1,3*	31,0 ± 11,7*
102	171 ± 16	30,9 ± 3,7	10,9 ± 2,0	5,9 ± 1,2*	34,2 ± 10,7

* indica diferença do ângulo precedente ($p < 0,05$).

No intuito de verificar a contribuição dos músculos flexores dos dedos para o desempenho no esporte em questão, WATTS, NEWBURY e SULENTIC (1996) avaliaram o nível de fadiga da preensão manual induzido pelo tempo de permanência em uma rota de escalada esportiva *indoor*, bem como o tempo necessário para a recuperação dessa variável e a sua relação com o tempo total de escalada ou com as [La]. Foi solicitado a onze escaladores experientes que subissem e descessem em uma rota de dificuldade moderada (5.12a – EUA) até entrarem em exaustão. Antes da realização dessa tarefa foram medidas a FMP dos lados direito e esquerdo e escolheu-se um dos lados para análise da FMP um, cinco, dez e vinte minutos após a escalada. Também foi verificado o tempo de sustentação a 70% FMP antes da escalada e depois de transcorridos um e vinte minutos de recuperação da mão oposta à utilizada para verificar a recuperação da FMP. As [La] foram obtidas dez

minutos antes e imediatamente após e cinco, dez e vinte minutos durante a recuperação. Entre os principais achados, o tempo médio de escalada foi 12,9 ± 8,5 minutos para aproximadamente 2,8 ± 2,2 ciclos de subida e descida. A FMP diminuiu significativamente de 581,7 ± 69,6 N para 452 ± 82,4 N (≅ 22%) após a escalada ($p < 0,05$) e o percentual de diminuição se correlacionou significativamente com o tempo de escalada ($r = 0,70$), com o número de ciclos completados ($r = 0,70$) e com as [La] ($r = 0,76$) ($p < 0,05$). Os valores da FMP mantiveram-se reduzidos em relação ao repouso por todos os períodos de análise da recuperação. A resistência a 70% da FMP diminuiu significativamente de 34,5 ± 10,2 para 14,7 ± 12,4 segundos imediatamente após a escalada e manteve-se reduzida (28,6 ± 6,3 segundos) vinte minutos após a tarefa ($p < 0,05$). Os valores das [La] permaneceram superiores em relação ao de repouso por todo período de recuperação.

Esses resultados corroboram a hipótese de relação causal entre o aumento da sobrecarga dos grupos musculares responsáveis pela flexão dos dedos e a elevação das [La] e, sugerindo que durante a prática da escalada esportiva *indoor* esses grupos musculares são demasiadamente afetados pelo fenômeno da fadiga e que mesmo vinte minutos de recuperação são insuficientes para o restabelecimento das variáveis analisadas .

Na tentativa de compreender qual tipo de recuperação (ativa ou passiva) seria mais eficaz para restabelecer a força de preensão manual e a redução das [La] após a ascensão de uma rota de escalada esportiva *indoor*, WATTS, DAGGET, GALLAGHER e WILKINS (2000) observaram o comportamento da FMP e das [La] durante um período de recuperação ativa ou passiva em 15 escaladores após terem ascendido uma rota *indoor* de dificuldade moderada (5.12b – EUA). Os indivíduos foram divididos em grupo experimental ($n = 8$) e grupo controle ($n = 7$) e durante todo o tempo de ascensão foram mensurados o $\dot{V}O_2$ e a FC. O grupo experimental pedalou numa intensidade de 25 W durante trinta minutos, nos quais foram analisadas as [La] e a FMP antes da escalada e após transcorridos um minuto, dez minutos, vinte minutos e trinta minutos de recuperação. O grupo controle foi submetido às mesmas tarefas que o experimental, porém, durante os trinta minutos posteriores à escalada permaneceram sem realizar exercícios físicos. Quando agrupados, os sujeitos apresentaram os valores de $\dot{V}O_{2pico}$ de 24,7 (± 4,3)

$ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ e da FC_{pico} de 148 (± 16) bpm durante a ascensão da rota de escalada, sem diferenças estatísticas entre os subgrupos ($p \leq 0,05$). Em relação ao comportamento da preensão manual e das [La] os principais resultados estão presentes na TABELA 3. A tarefa utilizada não foi intensamente suficiente para reduzir significativamente a FMP no grupo controle, impossibilitando a obtenção de respostas sobre a influência dos tipos de recuperação nessa variável. Apesar de não ter sido especulada pelos autores, uma possível explicação para esse acontecimento é o fato do grupo controle ter maior aptidão (média 5.13c – EUA) na escalada que o grupo experimental (média 5.13b – EUA), e o fato de utilizar a mesma rota para ambos os grupos, poderia representar percentuais diferentes do esforço máximo na escalada. Todavia, a recuperação ativa indicou ser mais eficaz na redução das [La], apontando para um achado relevante, pois no trabalho anteriormente descrito de WATTS et al. (1996) foi demonstrado que o aumento desse metabólito correlacionou-se significativamente com o delta de redução da força de preensão manual ($r = 0,76$; $p < 0,05$).

TABELA 3 – Resposta da preensão manual e das [La] em virtude dos diferentes tipos de recuperação. Os valores são médias ± desvios padrão (adaptado de WATTS et al., 2000).

Grupo	Repouso	1 minuto	10 minutos	20 minutos	30 minutos
Experimental					
P. Manual (kgf)	51,6 ± 7,9	45,1 ± 8,7*	49,4 ± 9,9	50,2 ± 9,0	49,4 ± 0,1
[La] ($mmol \cdot l^{-1}$)	2,5 ± 1,6	5,7 ± 1,7*	3,8 ± 1,7*	2,5 ± 1,6	2,3 ± 1,6
Controle					
P. Manual (kgf)	51,7 ± 7,5	48,4 ± 8,4	49,3 ± 5,3	49,0 ± 5,8	49,3 ± 5,8
[La] ($mmol \cdot l^{-1}$)	3,5 ± 1,9	6,8 ± 1,9*	5,5 ± 1,7*	4,3 ± 2,1*	3,5 ± 2,1

* indica diferença em relação ao repouso ($p \leq 0,05$).

Em um trabalho mais recente, SHEEL et al. (2003) verificaram a contribuição do sistema oxidativo a partir da comparação de dados laboratoriais com os de campo. Participaram do estudo nove escaladores esportivos (seis homens e três mulheres) que foram submetidos às seguintes situações: a) durante um teste

ergoespirométrico máximo realizado em cicloergômetro para membros inferiores; b) na ascensão de uma rota fácil; c) na ascensão de uma rota difícil. Nesse trabalho, a escolha do nível de dificuldade das rotas foi relativa ao maior grau já escalado pelos sujeitos, adotando dois e três graus abaixo do máximo para a rota difícil e fácil, respectivamente. Durante as ascensões foram medidos continuamente a FC e o $\dot{V}O_2$ mediante utilização de um analisador de gases portátil. Apesar do tempo total de ascensão não diferir entre as rotas, a FC foi maior na difícil (144 ± 14 bpm) quando comparada à fácil (129 ± 13 bpm). O $\dot{V}O_2$ teve o mesmo comportamento da FC nas diferentes situações (FIGURA 3). Contudo, quando essas variáveis foram analisadas em termos percentuais aos valores máximos obtidos no cicloergômetro, as respostas obtidas nas respectivas situações foram desproporcionais, com o $\dot{V}O_2$ apresentando um aumento inferior (rota difícil = 51,2%; rota fácil = 45,3%) ao da FC (rota difícil = 89,6%; rota fácil = 66,9%). Baseado nesses resultados, os autores confirmaram a ausência de linearidade entre $\dot{V}O_2$ e FC, independentemente do grau de dificuldade das rotas. Mediante a superioridade do $\dot{V}O_2$ nas rotas difíceis relativamente às fáceis ($p < 0,05$), concluiu-se que durante a prática da escalada esportiva *indoor* há o aumento da contribuição do sistema oxidativo em decorrência da elevação da dificuldade.

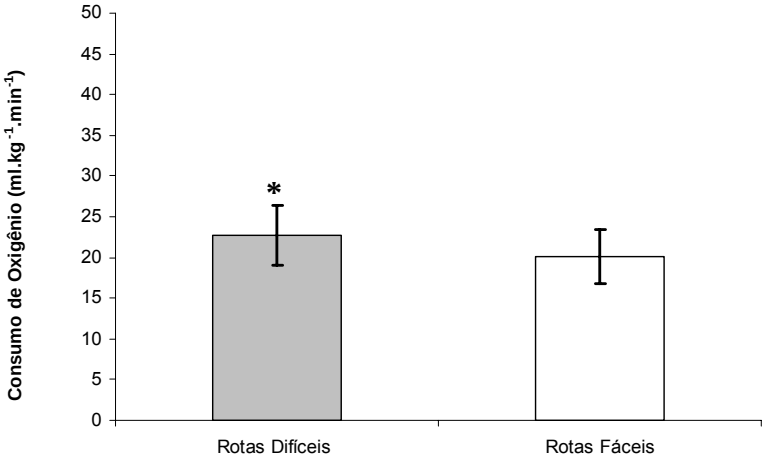

FIGURA 3 – Representação gráfica dos valores do consumo de oxigênio de pico ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) nas rotas difíceis e fáceis. Os valores são médias ± desvios padrão. * Estatisticamente superior às rotas fáceis ($p < 0,05$) (adaptado de SHEEL et al., 2003).

Todavia, cabe ressaltar que no estudo de SHEEL et al. (2003) não foi estimada a participação do metabolismo anaeróbio, fato que dificultaria a compreensão da magnitude das participações dos sistemas bioenergéticos durante a prática da escalada esportiva *indoor*.

Com o intuito de determinar quais são os componentes que contribuem efetivamente para o sucesso no esporte em questão, MERMIER et al. (2000) utilizaram o modelo estatístico de regressão múltipla para observar o nível de relação das variáveis morfológicas e funcionais com o desempenho em duas rotas de escalada esportiva *indoor*. Quarenta e quatro sujeitos (24 homens e vinte mulheres) foram submetidos a testes laboratoriais e, posteriormente, a duas rotas que iniciavam relativamente fácil (≅ 5.7 – EUA para ambas) e finalizavam com dificuldade elevada (≅ 5.12 e 5.13 – EUA para a rota 1 e 2, respectivamente). As variáveis que apresentaram maior influência no modelo preditivo foram a força muscular dos grupos flexores e extensores do joelho e ombro, a força de preensão manual, a potência de membros superiores e inferiores, a resistência de preensão manual a 50% da FMP, o percentual de gordura corporal e o maior grau de habilidade na escalada, que representaram cerca de 39% da variância total do modelo. Com esses resultados, conclui-se que a maioria das variáveis responsáveis pelo sucesso no esporte em questão é suscetível a alterações induzidas pelo treinamento físico, ao contrário da crença tradicional entre escaladores e treinadores de que variáveis antropométricas (por exemplo, a estatura) tem maior participação no desempenho que as funcionais. No entanto, cabe ressaltar que a amostra desse estudo era demasiadamente heterogênea e que a relação entre o número de sujeitos e a quantidade de variáveis investigadas poderia influenciar negativamente na análise de regressão múltipla utilizada nesse estudo.

Em outra pesquisa recente, OLASO, PLANAS, FUSTER, BADIA e CAZCARRO (2003) observaram o comportamento da potência média gerada em quatro repetições a 50%, 60%, 70% e 80% de uma repetição máxima, em um exercício que utilizava predominantemente os grupos musculares dorsais. Participaram desse experimento cinco escaladores de elite (quatro homens e uma mulher), durante um período de seis meses de preparação física para as principais

competições, totalizando seis avaliações durante o estudo. Não foram observadas diferenças significativas da potência média gerada entre os diferentes momentos quando analisados de forma absoluta. Contudo, ao se realizar a análise da potência gerada com carga externa que mais se aproximava da MCT de cada sujeito, foi notado uma variação durante o programa de treinamento com tendência a aumentar no final (FIGURA 4).

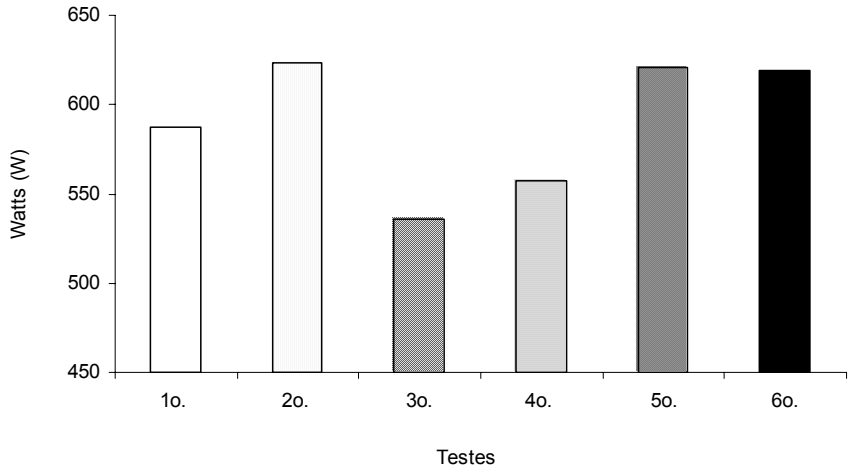

FIGURA 4 – Representação gráfica dos valores da potência gerada pelo sujeito 4 durante o período de treinamento com a carga externa de 50% de uma repetição máxima. Não foi aplicado tratamento estatístico (adaptado de OLASO et al., 2003).

Os resultados do estudo de OLASO et al. (2003) reafirmam indiretamente a importância da potência muscular dos membros superiores no desempenho da escalada esportiva *indoor* e da necessidade de tornar relativo as variáveis funcionais à MCT, por causa desse componente morfológico influenciar diretamente as adaptações específicas desse esporte.

Em resumo, a relação linear entre FC e $\dot{V}O_2$, normalmente observada em outros esportes, parece não ocorrer na situação real de escalada, pois nos estudos que foram brevemente descritos esse fenômeno surgiu apenas em ergômetros que simularam o gesto desse esporte. Apesar dos valores relativamente baixos das [La], eles comumente se correlacionaram significativamente com a FMP, podendo indicar elevada influência do sistema glicolítico nas contrações dos pequenos musculares

flexores dos dedos. Por fim, ainda não são conclusivas as respostas sobre as participações dos sistemas bioenergéticos e as suas possíveis diferenças em virtude do nível de aptidão na escalada esportiva. Possivelmente, isso se deve ao número reduzido de trabalhos científicos que abordaram esse tema, assim como à ausência da aplicação de um modelo experimental que elucide melhor essa questão.

3.4 Avaliação da potência do sistema oxidativo

Comumente nos exercícios físicos cíclicos de alta intensidade com duração superior a sessenta segundos, o sistema oxidativo assume a função prioritária na transferência de energia química contida nos substratos energéticos para os mecanismos da contração muscular (SPRIET, 1995). Entre as etapas constituintes dessa via metabólica, o oxigênio atua como receptor de íons de hidrogênio (H^+) ao final dos processos da cadeia transportadora de elétrons na mitocôndria. Logo, acredita-se que o O_2 pode ser utilizado como marcador desse sistema bioenergético, pressupondo-se que indivíduos capazes de captar maior quantidade desse elemento químico podem ser favorecidos em algumas tarefas.

Durante o esforço máximo como, por exemplo, nos estágios finais de testes progressivos realizados em esteira, normalmente é observado o maior valor da captação, transporte e utilização de O_2 pelo organismo. Esse fenômeno é denominado de consumo máximo de oxigênio ou $\dot{V}O_{2max}$ (BASSET & HOWLEY, 1997). A sua caracterização parece ter sido inicialmente proposta por TAYLOR, BUSKIRK e HENSCHEL (1955) quando atribuíram a existência de um comportamento denominado “platô”, que se referia a um aumento inferior a 2,1 $cc \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ na captação de O_2 com o incremento da intensidade. Dentre os trabalhos clássicos pertinentes ao tema, HILL e LUPTON (1923) sugeriram inicialmente que a oferta de O_2 poderia ser limitada pela rápida passagem do sangue nos pulmões, ou pela incapacidade do coração em aumentar sua contratilidade.

Atualmente a presença do platô tem sido atribuída ao aumento da participação do sistema glicolítico nos estágios finais de testes progressivos, que por sua vez, promoveria a fadiga aguda pela depleção dos substratos energéticos ou pela elevação da concentração dos íons H^+ oriundos do ácido láctico. Conseqüentemente, esses íons poderiam inibir a atividade enzimática da fosfofrutoquinase, que influenciaria

negativamente na disponibilidade de energia para o aparato contrátil (BASSET & HOWLEY, 2000; BERGH, EKBLOM & ASTRAND, 2000).

O conjunto de eventos extracelulares causadores da oferta inadequada de O_2 ao tecido muscular estriado esquelético foi inicialmente denominado de "limitação central" (HILL & LUPTON, 1923). Mais recentemente esse conceito foi revisado e complementado por BASSET e HOWLEY (2000) que sugeriram como fatores limitantes do $\dot{V}O_{2max}$ os seguintes mecanismos: a) a capacidade de difusão pulmonar, b) o débito cardíaco máximo, c) a capacidade do sangue em conduzir o oxigênio, d) as características do músculo esquelético, sendo que, os três primeiros são citados como fatores centrais e o quarto como periférico.

Dentre os fatores apresentados, supõe-se que a capacidade de difusão pulmonar é a que menos influencia nesse fenômeno, pois durante o trabalho máximo a saturação arterial de O_2 mantêm-se em torno de 95% (SUTTON, 1992). Entretanto, em condições especiais, como por exemplo nas ascensões em montanhas 3.000 m acima do nível do mar ou em atletas de elite com débito cardíaco máximo elevado, a difusão pulmonar parece aumentar a sua participação na limitação central (BASSET & HOWLEY, 1997; WAGNER, 2000).

Atualmente, acredita-se que os altos valores do débito cardíaco máximo, observados em sujeitos treinados em relação aos sedentários da mesma idade são decorrentes da variação do volume máximo de ejeção, pois a variação da FC é pequena nessas condições (BASSET & HOWLEY, 1997; SALTIN & STRANGE, 1992). Uma das prováveis causas dessas variações são as diferentes adaptações morfológicas no coração que induzem ao aumento da pré-carga (BERGH, EKBLOM & ASTRAND, 2000).

Em um trabalho realizado por WERNSTEDT, SJÖSTEDT, EKMAN, DU, THUOMAS, ARESKOG e NYLANDER (2002) foi observada a relação das adaptações do volume e da espessura do ventrículo esquerdo com o $\dot{V}O_{2max}$. Para atender a tal propósito, os autores avaliaram sujeitos do gênero masculino e feminino que realizavam treinamento predominantemente aeróbio, de força e grupo controle. Foi notado que os sujeitos do grupo de treinamento de resistência do sexo masculino possuíam valores superiores do $\dot{V}O_{2max}$ (atletas de resistência = 66 ± 5 ml · kg^{-1} · min^{-1}; atletas de força = 46 ± 4 ml · kg^{-1} · min^{-1}; grupo controle = 46 ± 5 ml · kg^{-1} · min^{-1}; p <

0,001) e do volume do ventrículo esquerdo em relação aos demais grupos, especialmente quando corrigido pela massa corporal total.

Entre outras adaptações funcionais no sistema cardiovascular observadas em sujeitos treinados em modalidades de longa duração, [1] ROWELL et al., 1996 (apud ZHOU, CONLEE, JENSEN, FELLINGHAM, GEORGE & FISHER, 2001) sugeriram a redução da resistência do pericárdio, que permitiria ao ventrículo esquerdo maior contratilidade em períodos de aumento rápido do volume, elevando assim, a fração de ejeção.

Em relação às adaptações moleculares no miocárdio resultantes do treinamento de resistência, RUSSEL (1998) citou o aumento do número da isoforma V1 da cabeça pesada da miosina, que por sua vez, possui maior atividade enzimática da miosina ATPase. No entanto, essa autora acredita que trabalhos que observaram liberação de cálcio, alterações no filamento de actina e metabolismo energético no miocárdio não apresentaram respostas conclusivas.

O redirecionamento do fluxo sangüíneo, para os grupos musculares utilizados durante os exercícios físicos, parece ser mais um fator capaz de limitar o $\dot{V}O_{2max}$ (DELP & LAUGHLIN, 1998). Esse ajuste é regulado por mecanismos múltiplos, mas a atividade metabólica desses tecidos apresenta-se como fator preponderante (HARMS, 2000). RICHARDSON, GRASSE e HEPPLE (1999) sugeriram que durante o exercício físico ocorre um redirecionamento do fluxo sangüíneo de até 16% do valor total para os músculos respiratórios, e a amplitude desse comportamento poderia afetar o desempenho. Ao realizar experimentos em condições de hiperóxia, RICHARDSON (2000) evidenciou ainda a importância do transporte de O_2 e do seu gradiente de difusão entre o sangue e a célula, como fatores que influenciam o $\dot{V}O_{2max}$.

Como pode-se observar, a maioria das discussões sobre a teoria da limitação central transcorre sobre os processos extracelulares que induzem a anaerobiose representada pelo platô observado no $\dot{V}O_{2max}$. No entanto, geralmente em testes ergoespirométricos realizados em esteira, apenas 50% dos sujeitos apresentam o platô (NOAKES, 1988). Isso evidencia a possibilidade de outros eventos estarem associados

[1] L. B. ROWELL, D. S. O´LEARY, D. L. KELLOGG, Jr. **Integration of cardiovascular control system in dynamic exercise**. In: Exercise: Regulation and integration of Multiple System, New York, Oxford University Press, 1996.

ao término do exercício além do aumento da participação do sistema glicolítico. WAGNER (2000) sugeriu que esse comportamento é decorrente da baixa capacidade de tolerar o desconforto promovido pela fadiga, principalmente quando a população analisada é formada por sujeitos sedentários.

Todavia, NOAKES (1997, 1998) tem desprezado essa alternativa ao criticar veementemente as possíveis limitações metodológicas dos estudos que associaram a presença do platô em virtude da diminuição da oferta de O_2. Por exemplo, na estruturação do trabalho anteriormente citado de TAYLOR, BUSKIRK e HENSCHEL (1955), os autores utilizaram análise de gases durante o período de um minuto após um minuto e 45 segundos do início do exercício. De fato, alguns estudos têm demonstrado que o tempo de análise do $\dot{V}O_2$ interfere na identificação do platô (LIMA E SILVA, BERTUZZI, LOTUFO & OLIVEIRA, 2002; ROBERGS, 2001).

NOAKES (1988) sugere ainda que dois fatores intramusculares seriam responsáveis pela interrupção em todos os eventos de corrida, sendo esses: a atividade enzimática da miosina ATPase e a sensibilidade do cálcio no músculo esquelético. Esses eventos fisiológicos intramusculares, que induzem a fadiga independentemente da oferta de O_2 são comumente denominados como “limitação periférica”.

Em 2000, NOAKES apontou para o fato de que em situações que levariam à oferta inadequada de O_2 induzida pelo exercício, o miocárdio seria o primeiro tecido muscular a sofrer as conseqüências dessa situação. NOAKES (2001) sugeriu a limitação mediante um modelo denominado de “Processo Governador”. Esse modelo está baseado na premissa de que quimiorreceptores localizados no miocárdio enviariam sinais inibitórios ao sistema nervoso central antes da capacidade máxima do coração ser alcançada. Conseqüentemente, o sistema nervoso central reduziria os estímulos elétricos enviados para o músculo estriado esquelético na tentativa de evitar a resposta isquêmica do miocárdio. Ele propõe que a presença do platô pode ser simplesmente decorrente de um tempo menor de ação desses quimiorreceptores.

O trabalho de ZHOU et al. (2001) também refuta a teoria da limitação central, pois não foi observada a estabilização do volume de ejeção em corredores de elite, indicando que esse fenômeno não é o principal fator limitante do desempenho em sujeitos altamente treinados. Para chegar a essa conclusão, os autores avaliaram um

grupo de corredores de longa distância (n = 5), outro de corredores universitários (n = 10) e um de estudantes não treinados (n = 10). Foi possível notar que não houve mudanças significativas do débito cardíaco e do volume de ejeção entre os grupos durante a transição do repouso para o exercício de baixa intensidade. Contudo, na transição do exercício de baixa intensidade até a exaustão, os corredores de elite apresentaram valores distintos na inclinação da reta que foi gerada pela razão entre o volume de ejeção e a freqüência cardíaca (estudantes = -0,1544 ± 0,069 ml · batimento^{-1}; corredores universitários 0,1041 ± 0,069 ml · batimento^{-1}; corredores de elite 0,6734 ± 0,088 ml · batimento^{-1}; $p < 0,01$).

Um outro achado importante que apresenta indícios contrários ao da teoria da limitação central foi apresentado pelo estudo da PAAVOLAINEN, HÄKKINEN, HÄMÄLÄINEN, NUMMELA e RUSKO (1999). Após submeterem dez corredores de meio fundo a nove semanas em um programa de treinamento força específico para essa modalidade, foi possível observar o aprimoramento no desempenho quando comparado ao inÍcio do estudo, porém não existiram mudanças significativas do $\dot{V}O_{2max}$ nessas duas situações (63,7 ± 2,7 ml · kg^{-1} · min^{-1} e 62,9 ± 3,2 ml · kg^{-1} · min^{-1}, respectivamente; $p < 0,05$). Esse fato levou-os a indicarem que os fatores periféricos possuem grande participação no desempenho nas simulações de competições de meio fundo como, previamente proposto por NOAKES (1988).

Todavia, independentemente dos processos que induzem ao surgimento do fenômeno do platô, que caracteriza o $\dot{V}O_{2max}$, o maior valor do consumo de oxigênio obtido em testes máximos até a exaustão ($\dot{V}O_{2pico}$) também pode ser utilizado como marcador da potência aeróbia (DAY, ROSSITER, COATS, SKASICK & WHIPP, 2003). Essa conclusão foi obtida com base em um experimento realizado com 71 sujeitos que foram avaliados com protocolo do tipo “rampa” aplicado em cicloergômetro. Ao analisar a regressão linear dessa variável fisiológica com a carga, os resultados gerados pelos sujeitos que apresentaram o comportamento característico do $\dot{V}O_{2pico}$ (n = 40) não foi estatisticamente diferente daqueles que apresentaram o platô característico do $\dot{V}O_{2max}$ (n = 12) (a diferença média foi de apenas 0,017 ± 0,15 l · min^{-1}). Adicionalmente, 19 sujeitos tiveram valores superiores ao do esperado para o $\dot{V}O_{2pico}$ ao final dos testes, mas os autores não apresentam explicações fisiológicas para esses resultados.

3.4.1 Resposta do consumo de oxigênio com membros superiores

Pode se dizer que, existe uma alta variabilidade na padronização dos protocolos utilizados nos estudos que avaliaram a potência aeróbia dos membros superiores, mas usualmente adotam-se os mesmos princípios utilizados nos teste de membros inferiores (SAWKA, 1986). Usualmente, os pesquisadores adotam o aumento da resistência de 200 kpm · min^{-1} (33 W) ou menos, com o ritmo variando entre 40 e 90 rpm, com a duração dos estágios de 1 a 3 minutos (FRANKLIN, 1985).

Quando comparados os valores do $\dot{V}O_{2max}$ obtidos por meio de testes realizados com os diferentes membros, os superiores tendem a apresentar valores de aproximadamente 80% dos inferiores (FRANKLIN, 1985). Isso se deve especialmente a pequena massa muscular envolvida nessa tarefa (SAWKA, 1986).

De fato, no estudo de KEYSER, MOR e ANDRES (1989) os valores do $\dot{V}O_{2max}$ obtidos no teste para membros superiores eram menores que os observados em membros inferiores (1,43 ± 0,58 l · min^{-1} e 2,39 ± 0,87 l · min^{-1}, respectivamente; $p < 0,05$). Contudo, a intensidade do 1º limiar (θ_L = definido como o ponto do aumento desproporcional da ventilação em relação ao consumo de oxigênio) não foi distinta entre as tarefas quando expressas em percentual do $\dot{V}O_{2max}$, mas houve superioridade do $\dot{V}O_2$ nessa intensidade de esforço para o teste de membros inferiores.

Ao comparar o $\dot{V}O_{2max}$ de membros superiores mensurado em cicloergômetro com o de membros inferiores medido em esteira, SEALS e MULLIN (1982) notaram que os dados obtidos na primeira tarefa giravam em torno de 63-90% da segunda. Adicionalmente, quando o grupo foi subdividido em virtude do seu nível de envolvimento com as modalidades esportivas, o subgrupo de atletas (n = 43) possuía valores mais elevados do $\dot{V}O_{2max}$, obtidos com o teste de membros superiores quando comparado com os sujeitos fisicamente ativos (n = 12) (41,6 ml · kg^{-1} · min^{-1} e 30,4 ml · kg^{-1} · min^{-1}, respectivamente; $p < 0,05$). Os autores atribuíram aos maiores valores dos atletas à massa muscular envolvida no teste e as diferenças na capacidade oxidativa induzidas pelo treinamento físico, já que a maioria dos indivíduos do subgrupo de atletas era praticante de modalidades que requeriam principalmente os membros superiores.

McKENZIE, FOX e COHEN (1978) verificaram longitudinalmente as adaptações metabólicas e circulatórias dos membros superiores (n = 7) e inferiores (n = 8). Os grupos foram avaliados na mesma carga antes e após cinco semanas de treinamento, sendo que o grupo que treinou com os membros superiores teve uma redução do $\dot{V}O_2$ tanto no teste de membros superiores (pré = 1,36 ± 0,14 l · min^{-1}; pós = 1,12 ± 0,09 l · min^{-1}; $p < 0,01$) como no teste de membros inferiores (pré = 1,64 ± 0,14 l · min^{-1}; pós = 1,50 ± 0,08 l · min^{-1}; $p < 0,05$). Porém o grupo que treinou com os membros inferiores apresentou redução do $\dot{V}O_2$ somente para essa tarefa (pré = 1,76 ± 0,1 l · min^{-1}; pós = 1,45 ± 0,05 l · min^{-1}; $p < 0,01$). Dessa forma, parece que o $\dot{V}O_2$ tanto de membros superiores quanto inferiores é sensível aos ajustes periféricos e centrais induzidas pelo exercício físico, especialmente quando se utilizada testes específicos às tarefas utilizadas nos programas de treinamento.

Portanto, ainda não são conclusivas as respostas sobre os mecanismos que determinam o $\dot{V}O_{2max}$ e as diferenças dos protocolos utilizados para a avaliação dessa variável com membros superiores. Todavia, a utilização da medida do $\dot{V}O_2$ é universalmente aceita para representar o metabolismo aeróbio, sendo obtida mediante diversas tarefas laboratoriais.

3.5 Avaliação dos sistemas anaeróbios

Nos instantes iniciais dos exercícios físicos de alta intensidade, a sustentação dos processos que requerem energia durante a contração muscular ocorre preferencialmente por vias que não necessitam de O_2, denominadas de metabolismo anaeróbio.

O sistema anaeróbio, por sua vez, é subdividido em componente alático e lático, os quais se referem respectivamente à hidrólise dos estoques dos fosfatos de alta energia (ATP e CP) e à degradação parcial da glicose resultando na formação de ácido láctico (GASTIN, 1994; GASTIN, 2001).

Do ponto de vista temporal, acredita-se que a contribuição do metabolismo anaeróbio é de ≅ 80%, ≅ 45% e ≅ 30% da energia total nos exercícios cíclicos e de alta intensidade que têm a duração de 30 segundos, entre os 60 e 90 segundos e entre os 120 e 180 segundos, respectivamente. Porém, nessas tarefas os estoques de ATP são os menos afetados pela demanda do exercício físico, ao passo que a

quantidade de CP sofre a maior redução (SPRIET, 1995). Assim, ao se analisar a relação entre o tempo e a intensidade dos exercícios supõe-se que esse metabolismo desempenha papel fundamental em algumas tarefas contínuas (KARVONEN, PELTOLA & HÄRKÖNEN, 1990) e intermitentes (PLISK, 1991; SPRIET, 1995).

Todavia, as distribuições desses elementos energéticos nas fibras musculares parecem ter distintas proporções. Comumente, o ATP está em concentrações similares nas fibras de contração rápida e lenta (com tendência à superioridade para fibra de contração rápida), ao passo que a quantidade de CP e o glicogênio muscular são menores nas fibras de contração lenta (entre 5-15% e 10-25%, respectivamente) (SPRIET, 1995). Isso poderia estar associado ao desempenho de atletas velocistas em corridas de curta distância.

Porém, diferentemente do metabolismo oxidativo, a estimativa das vias energéticas alática e lática é de difícil realização por causa da dificuldade de se acessar os marcadores fisiológicos que melhor as representem. Esse fato implica diretamente a impossibilidade de se estabelecer um teste padrão e a baixa precisão das técnicas atuais (GASTIN, 2001). Diversos instrumentos têm sido utilizados na tentativa de mensurá-los, entre os principais estão: a) testes de força-velocidade monoarticulares; b) salto vertival; c) subida em degraus; d) teste em cicloergômetros; e) a análise do $\dot{V}O_2$ no instante inicial ou final do esforço (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987).

Existe uma tendência atual de se conceituar o déficit de O_2 como o método mais adequado para avaliação do metabolismo anaeróbio (GASTIN, 1994, 2001; GREEN & DAWSON, 1993). Entretanto, esse método inicialmente era aplicado somente em exercícios de baixa intensidade, o que levou à necessidade da sua reformulação, na tentativa de utilizá-lo em atividades de alta intensidade, dando origem ao Déficit Máximo Acumulado de Oxigênio (MEDBØ, MOHN, TABATA, BAHR, VAAGE & SEJERSTED, 1988). O pressuposto teórico que envolve essa reformulação consiste em assumir que o $\dot{V}O_2$ aumenta proporcionalmente com a intensidade do esforço, possibilitando a estimativa da demanda do $\dot{V}O_2$ pela extrapolação linear baseada na carga (GREEN & DAWSON, 1993). Assim como os demais métodos de avaliação do metabolismo anaeróbio, o Déficit Máximo

Acumulado de Oxigênio possui algumas limitações, entre elas: a possível diminuição da eficiência em intensidades supramáximas; o surgimento do componente lento que dificultaria a determinação do $\dot{V}O_2$ representativo das cargas acima do θ_L e a necessidade de no mínimo dez testes submáximos para o estabelecimento do $\dot{V}O_2$ para posterior extrapolação linear com a carga (BEARDEN & MOFFATT, 2000; GASTIN, 1994; SCOTT, 2000; XU & RHODES, 1999; WHIPP & ÖZYENER, 1998). Dessa forma, a aplicação dessa técnica é possível somente em tarefas onde se conhece a carga externa, o que inviabiliza a sua aplicação na situação real da escalada esportiva.

Adicionalmente, BANGSBO (1998) demonstrou a dificuldade de se utilizar a extrapolação linear do $\dot{V}O_2$ em função da intensidade do exercício. Ele descreveu que existe uma tendência a superestimar o $\dot{V}O_2$ em $\cong$ 33% ao se comparar os valores obtidos em protocolos que possuem estágios mais longos (oito e dez minutos) com os de menor duração (quatro e seis minutos). Ele apresentou também, dados de 14 atletas indicando que o $\dot{V}O_2$ estimado para cargas submáximas próximo do $\dot{V}O_{2max}$ por meio de intensidade inferiores, são estatisticamente menores que o valor medido. Em outras palavras, ele indica que a demanda de O_2 de exercícios supramáximos não pode ser estimada pela extrapolação linear de mensurações submáximas.

Em suma, acredita-se que o metabolismo anaeróbio contribui consideravelmente para as tarefas cíclicas e de alta intensidade com duração de até noventa segundos. Contudo, mediante a ausência de um método tido como padrão para a avaliação dessa via metabólica, alguns pesquisadores têm Déficit Máximo Acumulado de Oxigênio como o método mais eficaz, porém por causa das suas limitações, a sua aplicação torna-se difícil em algumas situações que se deseja aproximar do gesto esportivo.

3.5.1 Produção e remoção do lactato pelo músculo esquelético

Como previamente descrito, uma das porções do sistema de transferência de energia anaeróbio é constituída pela degradação parcial da glicose, que por sua vez terá, entre outros produtos, a formação do ácido lático ($C_3H_6O_3$).

Comumente, durante e após o exercício físico a mensuração desse metabólito

é realizada pelas suas concentrações no sangue, e nesses momentos estará na sua forma desprotonada, denominado de lactato. Essa dissociação no músculo esquelético acontece de forma relativamente rápida, pois a constante pKa dessa substância é de 3,8 em um ambiente com o pH entre 7,08 e 7,10 (FITTS, 1994).

Considerando-se que a taxa de dissociação é dependente do equilíbrio ácido-base, substâncias que possuem a diferença de até mais ou menos 1 unidade de pH mantêm a sua pKa constante, ao passo que diferenças superiores ao valor da pKa tendem a facilitar a dissociação e as diferenças inferiores tendem a unir suas bases conjugadas (MARZZOCO & TORRES, 1990).

Nesse sentido, a diferença apresentada entre o pKa do ácido lático e o pH do meio intramuscular induzirá a formação de cátion (H^+) e de um ânion ($C_3H_5O_3^-$). Porém, quando as discussões giram em torno das possíveis causas que dão origem à sua formação ou remoção, elas são realizadas sobre a análise da estrutura molecular do ácido lático (STAINSBY & BROOKS, 1990).

Durante os exercícios de alta intensidade (di PRAMPERO & FERRETI, 1999) ou quando a energia proporcionada pelo sistema oxidativo não é suficiente para atender a uma determinada demanda (SPRIET, 1995), a glicólise desempenha um papel importante nas proporções da potência metabólica requerida nessas tarefas. Em decorrência dessa conexão entre a demanda metabólica requerida pelo exercício físico e a formação do lactato, acreditou-se inicialmente que essa possível relação causal era decorrente da oferta inadequada de O_2 (HILL & LUPTON, 1923). Todavia, existem evidências mais recentes indicando que ao induzir a redução de aproximadamente 22% do $\dot{V}O_2$ das fibras musculares estimuladas eletricamente, as concentrações de lactato são mantidas semelhantes à situação controle (STAINSBY & BROOKS, 1990).

Logo, parece que a diminuição no fornecimento de O_2 não é a única forma de origem desse metabólito. Existem algumas enzimas chaves participantes desse processo, entre elas, a glicogênio fosforilase (PHOS) e a fosfofrutoquinase (PFK), que têm os seus desempenhos alterados na presença de alguns elementos ou substâncias químicas que atuam como sinalizadores das atividades dessas enzimas. Por exemplo, a elevação das concentrações de Pi e de cálcio oriunda da contração muscular aumenta a atividade enzimática da PHOS, ao passo que a sua inibição

pode ser provocada pelo aumento de H^+. Já a PFK eleva sua atividade com a diminuição de ATP e com elevação da AMP, ADP, Pi e da frutose 1,6 difosfato (SPRIET, 1995).

GLADDEN (1989) descreveu que outras variáveis podem influenciar na taxa de produção do lactato independentemente da disponibilidade de O_2, entre elas: o aumento da taxa glicolítica por necessidades energéticas; o aumento da atividade da enzima PHOS induzida pela elevação da epinefrina; a elevação da atividade da enzima PFK induzida pela elevação de amônia e de epinefrina, e a variação da atividade da enzima PFK, que tende a diminuir num ambiente em acidose e a aumentar com a alcalose.

STAINSBY (1986) descreveu que, em alguns estudos realizados com animais foram observados aumentos da produção do ácido lático sem a alteração da pressão de O_2 no fluxo sangüíneo muscular. Ele sugeriu que esse comportamento ocorre por diferenças cinéticas, pois como previamente descrito, algumas enzimas do sistema glicolítico aumentam suas atividades devido à elevação do cálcio e do Pi no sarcoplasma no início da contração muscular. Por sua vez, o Pi também teria a capacidade de difundir-se para a mitocôndria, e em conjunto com a redução da concentração citoplasmática de ADP devido à difusão facilitada entre as miofibrilas e as mitocôndrias, resultando na ativação completa do sistema oxidativo somente entre o 1º e o 2º minutos após o início das contrações musculares. Adicionalmente, entre a transição desses processos bioquímicos haveria a elevação da coenzima nicotidamina adenina difosfato na sua forma reduzida (NADH) que na presença da enzima lactato desidrogenase e do piruvato resultaria na formação de ácido lático.

Ao encontrar correlação significativa entre os pontos de inflexão das [La] e de epinefrina ($r = 0,90$), BROOKS (1986) reforçou a possibilidade da formação do ácido lático independentemente da oferta de O_2. Além disso, ele descreveu que essa catecolamina teria também a capacidade de induzir a glicogenólise hepática mas com uma eficiência menor que a do hormônio glucagon.

STAINSBY, BRECHUE e O´DROBINAK (1991) corroboraram a hipótese da relação causal entre a epinefrina e o aumento da produção de lactato. Eles observaram que ao estimularem eletricamente o músculo gastrocnêmio de cães (4,0 V) em conjunto com a infusão de epinefrina (0,9 $\mu g \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), a elevação da

produção de lactato foi superior a da situação controle.

Além do músculo esquelético, acredita-se que as células do tecido epitelial e as da parede do intestino, assim como algumas áreas específicas do fígado quando estimuladas pela ação do glucagon, são capazes de converter glicose em ácido lático. Esse comportamento provavelmente está associado à participação indireta na formação do glicogênio hepático, pois uma parte da dieta de carboidratos catabolizada em acido lático serviria como precursor da síntese do glicogênio no fígado (STAINSBY & BROOKS, 1990).

BROOKS (1986) apresentou evidências indicando que o lactato tem a capacidade superior de incitar o processo de gliconêogenese no fígado quando comparado à glicose sangüínea. Entretanto, MAGNUSSON e SHULMAN (1991) apresentam dados que indicam que a participação dos substratos na gliconêogenese hepática é dependente da hora da refeição: no café da manhã a glicose aumenta a sua contribuição nesse processo para 69 ± 7%, ao passo que no jantar ela contribui entre 35 e 50%. Outros fatores além dos descritos podem intervir na produção do metabólito em questão, tais como a temperatura ambiente, o conteúdo de glicogênio muscular e o consumo agudo de glicose (JACOBS, 1986).

JACOBS (1981) observou que os níveis musculares de lactato são estatisticamente menores em relação à situação controle quando a depleção de glicogênio é induzida pela manipulação de dieta ou pelo exercício físico vigoroso, sendo esse comportamento semelhante nas concentrações sanguíneas. Ele sugeriu que isso poderia ocorrer possivelmente em virtude do aumento da utilização do lactato durante o exercício e não necessariamente pela diminuição da sua produção. Não obstante, GAESSER e BROOKS (1984) afirmaram que tanto em animais como em humanos a maior parte do lactato produzido durante e após o exercício é removido pela sua oxidação. BROOKS (1986) acredita ainda que em humanos esse comportamento parece ser linear em intensidades moderadas de esforço (entre 50% e 75% do $\dot{V}O_{2max}$).

Supostamente o tipo de fibra que constitui um determinado grupo muscular poderia influenciar na remoção do lactato, pois as fibras de contração lenta teriam maior capacidade de oxidá-lo que as de contração rápida (BROOKS, 1986). De fato, o estudo de GRANIER, DUBOUCHAUD, MERCIER, MERCIER, AHMAIDI e

PRÉFAUT (1996) confirmou mediante a diferença artério-venosa das [La] que grupos musculares com grande percentual de fibras lentas (antebraço com ≅ 50%) tinham grande participação na remoção do lactato. Utilizando uma atividade intermitente supráxima realizada com membros inferiores (cinco períodos de seis segundos de estímulo por cinco minutos de recuperação), esses pesquisadores verificaram que o lactato na amostra de sangue arterial do antebraço era significantemente maior após cada estímulo quando comparado ao venoso ($p < 0,001$). Adicionalmente, foi encontrada correlação significativa do pico das concentrações de lactato arterial com o aumento da potência gerada pelo protocolo adotado ($r = 0,66$; $p < 0,001$; $n = 7$).

Graças a sua grande capacidade oxidativa, o miocárdio é um outro local de degradação do lactato (STANLEY, 1991). Em repouso, esse tecido possui o $\dot{V}O_2$ dez a quinze vezes superior ao do músculo estriado esquelético, provavelmente como conseqüência de seu maior volume mitocondrial e da atividade superior das enzimas do sistema oxidativo. Contudo, em repouso a participação do lactato como fonte de energia para o miocárdio é pequena, pois se estima que os ácidos graxos livres encontrados no plasma sangüíneo nessa situação contribuam entre 60% e 80% para o fornecimento da energia total requerida. Todavia, quando as [La] elevam-se em virtude do exercício físico, há o aumento da sua participação nos processos energéticos, decorrente da elevação do fluxo sangüíneo no miocárdio e da capacidade desse tecido em captar o lactato (STANLEY, 1991).

Dessa forma, acredita-se que por causa das moléculas de hidrogênio contidas em sua estrutura, o lactato pode ser utilizado como fonte de energia nos processos biológicos, pois uma vez dentro da célula ele pode ser convertido em glicose/glicogênio, ou oxidado como combustível para o metabolismo energético muscular (GLADDEN, 1989). Para que a segunda possibilidade ocorra há necessidade da sua prévia transformação a piruvato, que requererá a mesma relação de moles de O_2 por moles de substrato (di PRAMPERO & FERRETTI, 1999).

Além de ser um possível indicativo do metabolismo anaeróbio, o lactato tem recebido grande atenção por acreditar-se que ele também pode participar na instauração do processo de fadiga, pois apresentaria uma elevada correlação com os íons H^+, os quais seriam agentes depressores da contração muscular (BASSET & HOWLEY, 2000; BERGH, EKBLOM & ASTRAND, 2000). As alterações no pH

resultantes do acúmulo de H^+ teriam participação na inibição da liberação de Ca^+, no aumento do Ca^+ livre, no tempo de transição do estado de ligação das pontes cruzadas de forte para fraca, na inibição das enzimas associadas a glicogenólise e glicólise (FITTS, 1994). No entanto, a associação entre ácido lático, íons H^+ e desempenho tem sido questionada (BROOKS, 2001), principalmente porque esses estudos não foram conduzidos em temperaturas fisiológicas (WESTERBLAD et al., 2002). Se a acidose está envolvida na fadiga aguda, o efeito poderia ser indireto pela acidose extracelular, que ativaria os quimiorreceptores dos grupos III e IV das vias aferentes, os quais estariam relacionados à sensação de desconforto presente na fadiga aguda (WESTERBLAD et al. 2002). Logo, alguma outra conseqüência do metabolismo anaeróbio pode ser a causa verdadeira da queda da função muscular, como por exemplo, o aumento das concentrações do P_i (WESTERBLAD et al., 2002). Essa elevação do P_i resultante da hidrólise da ATP parece que tem a capacidade de inibir a reabsorção do Ca^+, que conseqüentemente influenciará no ambiente intracelular (FAVERO, 1999).

Como previamente descrito, a epinefrina é um agente capaz de aumentar a produção do lactato. Entretanto, parece que ela também influencia negativamente na sua captação pelo tecido muscular estriado esquelético. Ao estimularem eletricamente os músculos gastrocnêmios de cães (n = 6) com e sem a infusão de epinefrina, HAMANN, KELLEY e GLADDEN (2001) observaram que os valores do consumo de lactato eram significativamente inferiores com o acréscimo da epinefrina (0,527 ± 0,040 mmol · kg^{-1} · min^{-1}) quando comparados com a situação controle (0,756 ± 0,043 mmol · kg^{-1} · min^{-1}) ($p < 0,05$). Os autores sugeriram que esse comportamento poderia ocorrer em virtude dos seguintes fatores: a diminuição do pH intracelular que inibiria a passagem do lactato pelo sarcolema, a diminuição da atividade da enzima lactato desidrogenase que interferiria na degradação exógena deste metabólito e pela ação direta da epinefrina na permeabilidade do sarcolema. Essas hipóteses foram apresentadas porque houve o aumento significante da concentração de lactato arterial com a infusão de epinefrina (12,9 ± 05 mM) sobre a situação controle (11,0 ± 0,4 mM), sendo que o fluxo sanguíneo apresentou o mesmo comportamento (587 ± 17 ml · kg^{-1} · min^{-1} e 506 ± 13 ml · kg^{-1} · min^{-1} com e sem a infusão, respectivamente) ($p < 0,05$). Logo, parece que fatores intervenientes na taxa

metabólica e no transporte da membrana celular desempenham papel mais significativos na captação do lactato que a sua concentração ou o próprio fluxo sanguíneo.

3.5.2 Estimativa do sistema glicolítico mediante as concentrações sangüíneas de lactato

Devido as suas associações com os sistemas bioenergéticos, as [La] têm sido comumente utilizadas para se estimar tanto o metabolismo aeróbio em testes ergométricos (BILLAT, 1996; HECK, MADER, HESS, MUCKE, MULLER & HOLLMANN, 1985) bem como a contribuição do sistema glicolítico no exercício físico (JACOBS, 1986). REHUNEN, NÄVERI, KUOPPASALMI e HÄRKÖNEN (1982) observaram que corredores velocistas possuíam valores superiores das [La] imediatamente após (17,1 ± 1,0 mM) e no quinto minuto de recuperação (18,1 ± 0,7 mM) subseqüentemente a uma tarefa intermitente máxima, quando comparado com corredores de longa distância (15,5 ± 1,0 mM e 16,4 0,9 mM, respectivamente) ($p < 0,05$).

O estudo de CRAIG, PYKE e NORTON (1989) demonstrou haver correlações significativas entre o pico da potência gerada em 30 e 40 segundos em cicloergômetro e o pico de acúmulo das [La] nessas tarefas ($r = 0,67$ e $0,79$, respectivamente) ($n = 9$). Contudo, os próprios autores descreveram que um dos sujeitos alcançou $\cong$ 90% do $\dot{V}O_{2max}$ no estímulo de 30 segundos, o que poderia indicar que esses indivíduos possuíam uma condição aeróbia elevada, que por sua vez poderia implicar nas repostas das [La] (BILLAT, 1996).

Em relação à possibilidade de utilização das [La] para a avaliação do sistema oxidativo, existem evidências que apontam para a diminuição das concentrações tanto sangüíneas quanto musculares, em cargas absolutas ou relativas, após um período de treinamento predominantemente aeróbio, apresentando correlação significativa entre amostras obtidas no tecido muscular e no sangue ($r = 0,89$; $p < 0,001$) em testes progressivos realizados em cicloergômetro (JACOBS, 1986).

di PRAMPERO (1981) e di PRAMPERO e FERRETTI (1999) afirmaram que é possível estimar o total de lactato produzido por kg de massa corporal e que, mediante esse cálculo haveria possibilidade de se adquirir informações sobre a

energia transferida pelo metabolismo glicolítico. Para isso, é necessário assumir que: as elevações das [La] sobre os níveis de repouso induzidos pelo exercício físico são acumuladas proporcionalmente no organismo, o pico de concentração sangüínea de lactato após o exercício é resultante de uma condição de equilíbrio entre o meio intracelular e extracelular, e que as taxas de remoção do lactato nos vários compartimentos de fluídos corporais têm a mesma constante de tempo.

Em relação ao momento do pico de concentração das [La], supõe-se que o maior valor deve ser atingido entre o 5º e o 9º minuto após os exercícios de curta duração e de alta intensidade (BILLAT, 1996). Contudo, SPRIET (1995) descreve que cerca de 67% do lactato produzido permanece nos grupos musculares e que apenas os 33% remanescentes são removidos para a circulação.

Dessa forma, pressupõe-se que em exercício supramáximo com duração superior a 30 segundos, a energia transferida por unidade de tempo (potência metabólica ou PM) é representada pela somatória de dois termos: o primeiro refere-se ao metabolismo aeróbio e o segundo ao anaeróbio, podendo ser expresso pela seguinte equação (di PRAMPERO & FERRETTI, 1999):

$$PM = PAM + \beta\{\Delta(La)\} \qquad \text{EQUAÇÃO (1)}$$

Onde PM = potência metabólica; PAM = potência aeróbia máxima (normalmente representada pelo $\dot{V}O_{2max}$); β = a constante gerada para representar a energia equivalente ao acúmulo de lactato; Δ[La] = a taxa de acúmulo de lactato de pico no sangue sobre os valores de repouso.

Acredita-se que os valores provenientes do sistema glicolítico ou a constante β possam ser estimados pelo cálculo da inclinação de uma reta gerada com base na mensuração das [La] de pico para uma potência requerida em uma determinada tarefa. Como a PM e a PAM (representada pelo $\dot{V}O_{2max}$) geralmente são expressas em ml $O_2 \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ e o ΔLa é apresentado em mM, logo a constante β pode ser expressa em ml de $O_2 \cdot min^{-1} \cdot mM^{-1}$. Para comparar sujeitos com diferentes PAM e possivelmente com diferentes intensidades no exercício supramáximo, os autores sugerem expressar a PM de forma relativa a PAM (di PRAMPERO & FERRETTI, 1999). Quando os resultados são apresentados de forma relativa a PAM na corrida,

natação ou ciclismo as retas geradas têm inclinações semelhantes, indicando que a energia proveniente do sistema glicolítico para os três exercícios são as mesmas (β = 3,0 ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$; 2,7 ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$ e 2,8 ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$ para corrida, natação e ciclismo, respectivamente). Esses resultados levaram di PRAMPERO (1981) sugerir a compatibilidade do valor fixo da constante β de 3 ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$ para cada delta de 1 mM de lactato de pico acima dos valores de repouso, viabilizando assim, o cálculo da energia oriunda do sistema glicolítico por meio das [La] de pico.

Independentemente dos fatores que induzem a sua elevação, as [La] têm sido utilizadas amplamente para se estimar a contribuição do metabolismo glicolítico durante o exercício físico. Contudo, essas inferências devem ser realizadas com cautela, pois se acredita que as [La] são comumente menores que as observadas nos grupos musculares devido a sua degradação em outros tecidos (BANGSBO, 1998). Do ponto de vista cinético, as variações das [La] nos diversos momentos após a execução de um exercício de alta intensidade, podem indicar que o lactato muscular e o sanguíneo não estão em equilíbrio (GASTIN, 2001). Logo, o valor das concentrações de lactato normalmente observados na corrente sangüínea é o reflexo do balanço entre a sua produção, remoção e a oxidação em outros tecidos (di PRAMPERO & FERRETTI, 1999; GASTIN, 1994).

3.5.3 Estimativa dos sistemas anaeróbios pelo teste de Wingate

O teste anaeróbio de Wingate surgiu no início da década de 1970 no Instituto Wingate de Educação Física e Esporte, em Israel (BAR-OR, 1987). Em linhas gerais, ele consiste de uma tarefa em que o avaliado deve manivelar com os braços ou pedalar com as pernas, na maior velocidade possível durante trinta segundos contra uma resistência constante estabelecida previamente. Três índices são obtidos com esse teste: a) a potência de pico (P_{pico}), que é o maior valor da potência mecânica gerada logo no inicio do teste; b) a potência média ($P_{média}$), que é a média aritmética da potência sustentada durante os 30 segundos; c) o índice de fadiga (I_{fadiga}) que se refere ao declínio da potência relativa à P_{pico} (MAUD & SHULTZ, 1989).

Por meio desses índices é possível estimar alguns componentes do sistema anaeróbio assumindo-se que, do ponto de vista energético, a P_{pico} refere-se à porção

alática, a $P_{média}$ reflete a contribuição lática e o I_{fadiga} representa o processo de fadiga induzido por essa tarefa (GASTIN, 1994). Entretanto, BAR-OR (1987) apontou para o difícil estabelecimento da relação entre as variáveis mecânicas e biológicas descritas, sugerindo cautelosamente que a P_{pico} seria a capacidade dos músculos em produzir elevada potência mecânica em um curto período, ao passo que a $P_{média}$ reflete a resistência desses músculos. Apesar de compreender a argumentação apresentada por BAR-OR (1987), é possível que a P_{pico} esteja associada ao sistema ATP-CP e que a $P_{média}$ esteja relacionada ao sistema glicolítico. Dessa forma, será mantido para os fins deste estudo a terminologia e a relação causal exposta.

Com o decorrer dos anos a comunidade científica aumentou o seu interesse pelo teste anaeróbio de Wingate. Segundo KACZKOWSKI, MONTGOMERY, TAYLOR e KLISSOURAS (1982) a elevação da sua popularidade se deve à sua simplicidade de administração, à sua curta duração, ao seu baixo custo, por não ser invasivo, pela possibilidade de avaliar membros inferiores e superiores, pela sensibilidade às mudanças da condição anaeróbia, por não ser influenciado pelas condições climáticas, tudo isso associado à validade e a reprodutibilidade já descritas na literatura.

Em razão dessas particularidades, o teste anaeróbio de Wingate tem sido utilizado em estudos que objetivaram observar as respostas fisiológicas em tarefas intermitentes supramáximas (BOGDANIS, NEVILL, BOOBIS & LAKOMY, 1996; FRANCHINI, TAKITO, BERTUZZI & KISS, 2003), no acompanhamento das adaptações ao treinamento físico (FRANCHINI, MATSUSHIGUE, KISS & STERKOWICZ, 2001) ou para verificar a capacidade de predição do componente anaeróbio no desempenho esportivo (MERMIER et al., 2000).

Todavia, por causa das informações obtidas pelo teste serem dependentes da relação existente entre a velocidade desenvolvida e a resistência exercida pelos ergômetros, houve a preocupação de se obter evidências sobre a carga mais adequada para essa tarefa. Na proposta original, a resistência utilizada foi estimada de forma relativa à MCT dos avaliados (0,075 kp $\cdot$ kg^{-1}), utilizando-se na ocasião uma bicicleta mecânica da marca Monark® para membros inferiores (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987).

PATTON, MURPHY e FREDERICK (1985) observaram que tanto a potência

de pico (888 ± 114 W; 770 ± 94 W) como a potência média (627 ± 87 W; 555 ± 89 W) e o índice de fadiga (19,8 ± 3,9%; 16,34 ± 3,4%) para o teste realizado com membros inferiores, eram significativamente superiores quando se utilizou uma carga mais elevada (0,094 kp · kg^{-1}) que a da proposta original (n = 19). De fato, parece que a resistência ideal para o teste realizado com membros inferiores é de aproximadamente 0,086 kp · kg^{-1} e 0,085 kp · kg^{-1} para homens e mulheres adultos, respectivamente. Para os membros superiores, BAR-OR (1987) sugeriu em seu artigo de revisão valores entre 0,048 e 0,062 kp · kg^{-1}. Adicionalmente, essa disparidade entre as cargas apresentadas pelos artigos mais recentes em relação ao estudo original, pode ser em virtude da população estudada, pois no primeiro trabalho foram utilizadas crianças em seu experimento (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987).

A reprodutibilidade da P_{pico} do teste de Wingate tem sido considerada elevada analisada pelo coeficiente de correlação de Pearson (r = 0,90) (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987) ou pelo coeficiente de correlação intraclasse (CCI = 0,98) (WEINSTEIN, BEDIZ, DOTAN, & FALK, 1998). Além disso, a $P_{média}$ possui o comportamento semelhante quando analisada pelo coeficiente de correlação de *Pearson* (r = 0,91 e r = 0,93 para membros inferiores e superiores, respectivamente) (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987). No estudo de KACZKOWSKI et al. (1982) foi observada correlação significativa entre a P_{pico} e a $P_{média}$ com algumas variáveis estruturais do tecido muscular (TABELA 4), que levou à conclusão que o teste em questão está associado a avaliação do metabolismo anaeróbio.

Em relação à capacidade de discriminar sujeitos com diferentes níveis de condição anaeróbia, BAR-OR (1987) apresentou dados indicando que atletas de levantamento de peso possuem valores superiores da P_{pico} e $P_{média}$ (12,7 W · kg^{-1} e 9,5 W · kg^{-1}, respectivamente) quando comparados com ultramaratonistas (11,3 W · kg^{-1} e 8,9 W · kg^{-1}, respectivamente).

A comparação do teste de Wingate com outros testes que avaliam o metabolismo anaeróbio, foi uma outra forma que os interessados por esse teste adotaram para obter evidências da sua validade. MAUD e SHULTZ (1989) obtiveram correlações significativas da $P_{média}$ com o teste de Katch adaptado para 30 segundos e na versão original (40 segundos) em homens (r = 0,79 e r = 0,81, respectivamente)

e em mulheres (r = 0,65 e 0,66, respectivamente) (n = 130). Logo, concluiu-se que os índices proporcionados por esses dois testes estavam razoavelmente associados.

TABELA 4 – Nível de associação das variáveis obtidas mediante do teste anaeróbio de Wingate com as obtidas por biópsia muscular (adaptado de KACZKOWSKI et al., 1982).

Biópsia	P_{pico}	$P_{média}$
% fibras rápidas	0,59*	0,81*
área das fibras rápidas	0,84*	0,83*
área das fibras lentas	-0,84*	-0,83*

* estatisticamente significante ($p < 0,05$); n = 9.

Por ser adotada a potência externa gerada para representar o metabolismo anaeróbio, o teste de Wingate tem o atrativo de possibilitar a comparação da energia transferida pelos diferentes sistemas bioenergéticos mediante a utilização do mesmo ergômetro. Por exemplo, HORSWILL, MILLER, SCOTT, SMITH, WELK e HANDEL (1992) observaram que a diferença entre a potência anaeróbia e a aeróbia relativa à MCT de membros superiores dos atletas de luta Greco Romana era significativamente superior (≅ 3,4 vezes) que a de membros inferiores (≅ 2,7 vezes) (n = 14).

INBAR e BAR-OR (1986) descreveram que garotos e garotas não atletas possuem a P_{pico} relativa a MCT de apenas 60% de jovens do mesmo gênero com 20 anos de idade, sugerindo que tanto a P_{pico} quanto a $P_{média}$ relativa a MCT atingem o seu valor máximo no trigésimo ano de vida para membros inferiores e no vigésimo ano de vida para os membros superiores. Eles indicaram que as diferenças em virtude da idade cronológica podem ser devido à concentração e à taxa de utilização do glicogênio muscular, pois quando comparadas com adultos, as crianças possuem uma menor concentração em repouso, assim como uma baixa utilização durante o exercício. Além disso, as crianças entre 11 e 13 anos também têm uma pequena concentração da enzima PFK.

Contudo, o teste anaeróbio de Wingate possui algumas limitações que podem

interferir nos resultados dos seus índices, entre elas: assume-se que todos os sujeitos se empenham igualmente nos testes, que a resistência ótima utilizada é idêntica para os sujeitos e que a energia potencial e cinética do pedal do ergômetro antes e durante o esforço não influenciam nos resultados (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987). Adicionalmente, SPRIET (1995) citou que existem evidências indicando que em exercícios de alta intensidade com duração aproximada de 10 segundos, não há depleção completa dos estoques de CP, mas tendo uma queda de ≅ 25% a 33% dos valores de repouso. Isso poderia indicar que o sistema glicolítico tem uma participação elevada logo no início do exercício. Dessa forma, a distinção entre as fontes de energia lática e alática deve ser realizada com cautela, pois existe a possibilidade de serem acionadas simultaneamente (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987). Adicionalmente, a via oxidativa pode contribuir em até 28% e 40% para a energia total transferida nesse teste (GASTIN, 1994), além da participação do sistema oxidativo ser acentuada em atletas que possuem elevados valores do $\dot{V}O_{2max}$ e com baixa potência anaeróbia (VANDEWALLE, PÉRÈS & MONOD, 1987).

3.5.4 Estimativa do sistema ATP-CP por meio do débito alático de oxigênio

O débito de oxigênio é mais uma das técnicas utilizadas para se estimar a contribuição do metabolismo anaeróbio durante o esforço. Usualmente ele é caracterizado pelo $\dot{V}O_2$ que se mantém elevado sobre os valores de repouso momentos após o término do exercício físico. Esse fenômeno foi inicialmente observado por HILL e LUPTON (1923) mediante a dedução de achados das investigações contemporâneas realizadas em músculos isolados e com alguns experimentos realizados com humanos. Naquela ocasião, HILL e LUPTON (1923) já haviam descrito que o débito de oxigênio era constituído por duas fases, com a primeira possuindo a duração entre seis e oito minutos devido à remoção oxidativa do ácido lático nos músculos que o produziram, ao passo que a segunda fase tinha duração mais prolongada e estava relacionada à remoção oxidativa do ácido lático que havia se difundido na musculatura.

Cerca de dez anos mais tarde, MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933) revisaram o comportamento e os conceitos relacionados ao débito de O_2. Eles verificaram que o decréscimo inicial era mais rápido que o citado por HILL e LUPTON

(1923) com duração aproximada de três a quatro minutos. Além disso, durante a fase rápida de recuperação do $\dot{V}O_2$ após a realização de exercícios de intensidade moderada não havia, aparentemente, formação extra de ácido lático, o que os levou a denominar esse fenômeno de débito alático de O_2 (DAO_2). Em razão da ausência de formação extra de ácido láctico na situação supracitada, os autores deduziram que o DAO_2 estava relacionado ao processo de ressíntese da CP pela via oxidativa. Além disso, MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933) mantiveram a relação originalmente apresentada entre o processo oxidativo da combustão do ácido lático com a fase lenta do $\dot{V}O_2$, sendo nesse momento renomeada de débito lático de O_2 (DLO_2).

Após a apresentação do pressuposto teórico da relação causal entre DAO_2 e a ressíntese de CP postulado por MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933), PIIPER e SPILLER (1970) provavelmente foram os primeiros pesquisadores a analisarem simultaneamente o comportamento do $\dot{V}O_2$ durante a recuperação e a ressíntese de CP em uma mesma tarefa. Naquela ocasião, os gastrocnêmios de cães foram estimulados eletricamente durante sete minutos, seguidos por dez minutos de recuperação. Amostras do tecido foram adquiridas por meio de biópsia muscular durante o período de recuperação, além da mensuração do $\dot{V}O_2$ mediante a diferença artério-venosa. Durante os dois primeiros minutos de recuperação o $\dot{V}O_2$ diminuiu rapidamente, ficando em torno de 8% do valor observado durante as estimulações, enquanto no terceiro minuto o valor ficou muito próximo do final de recuperação. As ressínteses de ATP e CP tiveram comportamentos bastante semelhantes ao do $\dot{V}O_2$ (TABELA 5). Baseado nesses resultados, isto é, confirmou-se uma das hipótese apresentadas por MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933), que o rápido declino do $\dot{V}O_2$ que deu origem ao DAO_2 refere-se à ressíntese dos fosfatos de alta energia.

Atualmente, os estudos que monitoraram o esforço físico por meio de Imagens de Ressonância Magnética Nuclear de Fósforo (^{31}P-NMR) têm demonstrado que os estoques dos fosfatos de alta energia (ATP e CP) restauram cerca de 70% no trigésimo segundo e 100% no terceiro minuto da recuperação (TOMLIN & WENDER, 2001). SPRIET (1995) citou que os estudos conduzidos com ^{31}P-NMR geralmente apresentam valores superiores de CP quando comparados com valores obtidos de trabalhos que utilizaram biópsia muscular. Uma possível explicação apresentada pelo

autor é que durante a retirada da amostra do tecido muscular pela técnica de biópsia as membranas celulares são rompidas, elevando a liberação de cálcio, que por sua vez ativaria a actnomiosina ATPase, a qual subseqüentemente degradaria as CP no intuito de manter as concentrações de ATP.

TABELA 5 – Ressínteses de ATP e CP em gastrocnêmios de cães após estimulação elétrica. Os dados de repouso foram obtidos no músculo contralateral. (adaptado de PIIPER & SPILLER, 1970).

	Repouso	1º minuto	2º minuto	8º minuto
ATP	5,2 ± 0,1	3,7 ± 0,3	4,2 ± 0,2	4,1 ± 0,2
CP	14,9 ± 0,4	10,3 ± 0,6	13,1 ± 1,3	13,7 ± 0,5
$\Delta\dot{V}O_2$		62	77	100

A unidade de medida da ATP e da CP é $mM \cdot kg^{-1}$ do peso do músculo seco. O $\Delta\dot{V}O_2$ são valores percentuais (%) da redução do consumo de oxigênio durante a recuperação.

Contudo, IDSTRÖM, SUBRAMANIAN, CHANCE, SCHERSTEN e BYLUND-FELLENIUS (1985) demonstraram que independentemente da técnica empregada (biópsia e ^{31}P-NMR) o sistema oxidativo desempenha um papel importante na ressíntese da CP após o esforço físico. Entre os achados desse estudo, detectaram-se correlações significativas entre a taxa de recuperação da CP e o transporte de O_2 ($r = 0,83$; $p < 0,001$) após a estimulação elétrica (2 – 4 V) nos gastrocnêmios de ratos (Sprague-Dawley). Por esse motivo, os autores apontaram enfaticamente para a dependência do transporte de O_2 na restauração do sistema energético referido.

Ao utilizar imagens de ^{31}P-NMR, ARNOLD, MATTHEWS e RADDA (1984), constataram que ao realizar exercícios de cargas constantes com músculos dos antebraços em alta (500 mmHg) e baixa pressão (100 mmHg), a ressíntese da CP foi mais rápida nos primeiro e segundo minutos inicias da recuperação. Adicionalmente, observou-se que a ressíntese da CP diminuiu em 33 ± 4% e 55 ± 8% com o pH acompanhando este comportamento, sendo reduzido para 6,88 ± 0,02 e 6,23 ± 0,08 nos exercícios de baixa e alta pressão, respectivamente. A possível relação existente ente pH e a CP após o esforço é que a atividade das enzimas do sistema oxidativo,

responsável pela ressíntese da CP, é sensível à alteração do pH intramuscular. Logo, os autores sugeriram que a taxa de ressíntese de CP é dependente do pH.

O trabalho de JANSSON, DUDLEY, NORMAN e TESCH (1990) apontou novamente para a participação do sistema oxidativo na ressíntese da CP durante o período inicial da recuperação. Eles obtiveram correlações significativas do lactato ($r = - 0,76$), da creatina ($r = - 0,84$) e da CP ($r = 0,79$) ($p < 0,05$) com a atividade da enzima citrato sintase. Naquela ocasião, as amostras do tecido muscular foram obtidas por meio de biópsia em sujeitos fisicamente ativos ($n = 11$), após a execução de três séries de trinta repetições em uma tarefa considerada de força (flexão e extensão de joelho à $180^{\circ} \cdot s^{-1}$), com intervalo de sessenta segundos entre as séries. Assim, os músculos que possuíam alta atividade da enzima citrato sintase tiveram uma concentração menor de lactato e de creatina, ao passo que houve maior ressíntese de CP. Concluiu-se, então, que a recuperação dessas variáveis metabólicas após a referida tarefa, é dependente da capacidade oxidativa do músculo esquelético.

Ao realizar experimentos com humanos McCULLY, IOTTI, KENDRICK, WANG, POSNER, LEIGH e CHANCE (1994) notaram um comportamento semelhante ao do estudo de JANSSON et al. (1990). Eles avaliaram cinco sujeitos em um exercício com flexão plantar que induziu a redução de $\cong 50\%$ dos valores de CP em repouso (submáximo) e, posteriormente, na maior velocidade possível durante 64 segundos (máximo). Durante esse procedimento e o subseqüente período de recuperação, os gastrocnêmios dos sujeitos foram monitorados por meio de ^{31}P-NMR e espectroscopia de raios infravermelhos. As constantes de tempo (τ)[2] da CP e da oxihemoglobina (68,3 ± 10,5 segundos e 29,4 ± 5,5 segundos, respectivamente) foram estatisticamente mais lentas para o exercício máximo quando comparado ao submáximo (36,0 ± 6,5 segundos e 27,6 ± 6,0 segundos, respectivamente) ($p < 0,05$). Entretanto, não foram encontradas diferenças entre as τ das variáveis no exercício submáximo, ao passo que houve correlação significativa entre os valores de pH e as τ de CP. Portanto, os autores concluíram que a ressíntese de CP logo após o exercício de intensidade moderada é dependente do transporte de O_2, ao

[2] As demais informações sobre os aspectos cinéticos são apresentadas nos subtópicos 3.6 e 3.7.

passo que em tarefas em que ocorre a alteração de pH (para ≅ 6,62) esse comportamento pode ser mais lento, em virtude da alteração da atividade da enzima creatina quinase ou da enzima adenosinatrifosfatase, as quais reduziriam as reações do sistema oxidativo.

Contudo, YOSHIDA e WATARI (1993a) questionaram a relação entre o sistema oxidativo e a ressíntese de CP durante a recuperação. Entre os resultados obtidos, foi possível observar que a ressíntese de CP dois minutos após a execução de quatro repetições de flexão e extensão de joelho em uma intensidade de 20 $kg \cdot m^{-1} \cdot min^{-1}$ observada por ^{31}P-NMR, era de apenas ≅ 79,0% dos valores de repouso (n = 6). Todavia, os autores não realizaram estimativas do pH intramuscular que, como previamente sugerido, poderia influenciar esses resultados.

Ainda no início da década de 1970, KNUTTGEN (1970) observou a influência da intensidade e da duração do exercício físico nas respostas do $\dot{V}O_2$ durante o período de recuperação. Para isso, foram avaliados sujeitos fisicamente ativos em cicloergômetro com intensidades que variaram entre 45 e 98% do $\dot{V}O_{2max}$ durante 15 minutos (n = 12), a 60% do $\dot{V}O_{2max}$ por 15, 35 e 55 minutos (n = 7), entre 55 e 83% do $\dot{V}O_{2max}$ por 15 e 55 minutos (n = 5). O débito total de oxigênio (somatória do DAO_2 com DLO_2) teve um aumento menor (de 19 para 25 $ml \cdot kg^{-1}$) quando a amplitude do esforço também era pequena (de 45 para 65% do $\dot{V}O_{2max}$), tendo o mesmo comportamento para o DAO_2 (de 10 $ml \cdot kg^{-1}$ para 15 $ml \cdot kg^{-1}$) e para o DLO_2 (de 9 $ml \cdot kg^{-1}$ para 10 $ml \cdot kg^{-1}$). Os exercícios que tiveram maior tempo de duração (35 e 55 minutos) foram acompanhados por valores superiores do débito total de oxigênio quando comparados com os de menor duração (15 minutos) ($p < 0,05$). O DLO_2 foi o maior responsável por esse comportamento, pois o DAO_2 permaneceu em valores próximos das tarefas com diferentes tempos de duração (≅ 10 $ml \cdot kg^{-1}$). O tempo do DAO_2 foi semelhante para as tarefas com intensidades de 60% do $\dot{V}O_{2max}$ e com 15 e 55 minutos de duração (3,8 minutos e 3,0 minutos, respectivamente) quando comparado aos de 55 e 83% do $\dot{V}O_{2max}$ com 15 minutos de duração (3,8 minutos). Por causa da variação do DLO_2 em cargas que supostamente produziram pouca ou nenhuma mudança nas [La], KNUTTGEN (1970) sugeriu que outros fatores, tais como a temperatura corporal, liberação de hormônios e atividade simpática também

poderiam estar envolvidos na resposta do débito total de oxigênio.

O estudo de GLEESON (1980) realizado com iguanas das ilhas Galápagos, demonstrou a possível relação de outras variáveis com o débito total de oxigênio. Ele observou que os níveis das [La] eram reduzidos rapidamente quando a temperatura corporal desse réptil estava a 35ºC do que a 25ºC e que o tempo de recuperação do $\dot{V}O_2$ também foi dependente da temperatura, sendo mais lento para 25ºC ($p < 0,05$). Em um outro trabalho realizado com cães foi possível notar a influência das concentrações de norepinefrina sobre os valores do $\dot{V}O_2$ durante a recuperação (GLADDEN, STAINSBY & MacINTOSH, 1982). Além da situação controle, os gastrocnêmios desses mamíferos foram eletricamente estimulados a uma intensidade de 1,0 Hz durante 10 minutos com ou sem à infusão de norepinefrina (1,2 $\mu g \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$) ($n = 7$). Especificamente durante a recuperação, o grupo que sofreu a intervenção com a norepinefrina teve a elevação do $\dot{V}O_2$ em relação aos valores do grupo sem norepinefrina (46,7 ± 3,7 µl de $O_2 \cdot g^{-1}$ e 33,4 ± 5,2 µl de $O_2 \cdot g^{-1}$, respectivamente; $p = 0,07$). Baseado nesse resultado, sugeriu-se que as concentrações de catecolaminas, em particular a norepinefrina, é capaz de contribuir para a elevação do $\dot{V}O_2$ após a realização de exercício físico.

Adicionalmente, a norepinefrina poderia influenciar no comportamento do DLO_2 devido à sua capacidade de alterar a permeabilidade das membranas celulares (GAESSER & BROOKS, 1984), ou por ser potencial estimulador do metabolismo energético (BØRSHEIM, KNARDAHL, HØSTMARK & BAHR, 1998).

Com o intuito de observar a influência do tempo de duração do esforço no débito total de O_2, BAHR, INGNES, VAAGE, SEJERSTED e NEWSHOLME (1987) avaliaram seis sujeitos que se exercitaram em cicloergômetro com diferentes tempos de duração na intensidade de 70% do $\dot{V}O_{2max}$. O $\dot{V}O_2$ foi mensurado nas primeiras 12 horas após os testes, em conjunto com o monitoramento da temperatura retal durante esse período. Os valores do $\dot{V}O_2$ durante o período de recuperação foram 251 ± 10,5; 234,6 ± 7,7; 231,0 ± 8,1 litros de O_2 para 80, 40, e 20 minutos de atividade, respectivamente. A temperatura corporal reduziu rapidamente e alcançou os valores de controle em menos de 30 minutos em todas as situações. Logo, concluiu-se que o débito total de O_2 é relacionado linearmente com a duração do esforço físico quando a intensidade é fixa, porém outros fatores além da temperatura

corporal devem estar associados a esse fenômeno.

Em relação à influência da intensidade sobre o débito total de O_2, BAHR e SEJERSTED (1991) apresentaram evidências de que a relação entre essas duas variáveis é curvilínea. Foram avaliados em cicloergômetro seis sujeitos fisicamente ativos em testes de cargas constantes com duração de oitenta minutos nas intensidades de 29%, 50% e 75% do $\dot{V}O_{2max}$. O $\dot{V}O_2$, as [La] e a temperatura retal foram medidos nas primeiras 14 horas após os testes com os sujeitos em repouso. O débito total de O_2 foi de 1,3 ± 0,46 l, 5,7 ± 1,7 l e 30,1 ± 6,4 l para as intensidades de 29%, 50% e 75% do $\dot{V}O_{2max}$, respectivamente. A temperatura retal diminuiu rapidamente aos valores de repouso em menos de uma hora em todos os testes, e as [La] também não diferiram em relação ao controle após uma hora. Apesar da apresentação da influência da intensidade sobre o débito total de O_2, permaneceu aberta a resposta quanto à sua possível causa.

Após submeterem oito sujeitos sedentários durante nove semanas de treinamento predominantemente aeróbio, HAGBERG, HICKSON, EHSANI e HOLLOSZY (1980) obtiveram evidências que apontaram para a interferência do treinamento físico sobre o débito de oxigênio. Antes e após o período de treinamento, os indivíduos realizaram um teste de esforço máximo em cicloergômetro para o estabelecimento das intensidades referentes a 50% e 70% do $\dot{V}O_{2max}$ de cada período. Os testes de cargas constantes foram constituídos por cinco minutos de repouso no próprio ergômetro, seguido por dez minutos de atividade nas cargas submáximas e dez minutos de recuperação passiva. Entre os principais resultados, o $\dot{V}O_{2max}$ aumentou cerca de 24% e o $\dot{V}O_2$ retornou mais rápido para os valores de repouso após o treinamento independentemente do percentual do $\dot{V}O_{2max}$ de cada período. Além disso, o débito total de oxigênio foi reduzido em relação às intensidades percentuais antes do treinamento, sem alterações significativas para os valores percentuais do $\dot{V}O_{2max}$ após o treinamento (TABELA 6).

Nesse sentido, parece que o nível de aptidão física pode influenciar no comportamento do $\dot{V}O_2$ durante o período de recuperação, notadamente quando analisado na mesma carga do início do programa de treinamento. A hipótese apresentada é que a realização de uma determinada tarefa resultaria na menor redução da concentração dos fosfatos de alta energia em um mesmo sujeito após um

programa de treinamento.

Quanto ao comportamento do débito total de O_2 dos membros superiores e inferiores, SEDLOCK (1991) avaliou oito sujeitos em um cicloergômetro para braços e pernas com protocolo que teve a duração de vinte minutos a uma intensidade de 60% do $\dot{V}O_{2pico}$ desse membros. Não houve diferença significativa do tempo (22,9 ± 13,7 minutos e 24,2 ± 19,4 minutos) e da magnitude entre os exercícios com braços ou pernas (9,2 ± 3,3 kcal e 10,4 ± 5,8 kcal, respectivamente). Concluiu-se, que as respostas do débito total de O_2 após a realização de exercícios no mesmo percentual do $\dot{V}O_{2pico}$ possuem comportamentos semelhantes, podendo indicar que esse fenômeno é independente da massa muscular envolvida na tarefa analisada.

TABELA 6 – Efeitos do treinamento na magnitude do débito total de oxigênio em testes realizados nos percentuais do $\dot{V}O_{2max}$ nas situações pré e pós treinamento (adaptado de HAGBERG et al., 1980).

	Antes do treinamento	Após o treinamento	
	50% do $\dot{V}O_{2max}$	50% do Pré Trein.	50% do Pós Trein.
DTO_2 (l)	0,70 ± 0,07	0,49 ± 0,04*	0,76 ± 0,06
	70% do $\dot{V}O_{2max}$	70% do Pré Trein.	70% do Pós Trein.
DTO_2 (l)	1,41 ± 0,15	1,04 ± 0,07†	1,47 ± 0,12

* estatisticamente diferente dos valores pré-treinamento ($p < 0,01$); † estatisticamente diferente dos valores pré-treinamento ($p < 0,05$). Trein. = treinamento.

Em síntese, não são conclusivas as respostas sobre as variáveis que intervêm sobre o débito total de O_2, especialmente a porção referente ao DLO_2, pois existem associações das variáveis que direta ou indiretamente influenciam a respiração mitocondrial, tais como elevação da temperatura, aumento da atividade hormonal e a concentração da ATP e da CP (GASTIN, 1994). Isso levou alguns pesquisadores a concluírem que esse índice fisiológico é inadequado para representar a capacidade do metabolismo anaeróbio (GREEN & DAWSON, 1993). GAESSER e BROOKS (1984) elaboraram um artigo de revisão apontando para as questões conflitantes do DLO_2. A maior parte da discussão é conduzida sobre as discrepâncias encontradas entre as [La] e o $\dot{V}O_2$ após a realização de exercícios em anfíbios e humanos.

GAESSER e BROOKS (1984) também apontaram para o fato de menos de 20% do lactato produzido no final do exercício ser convertido em glicogênio muscular ou hepático e que algo em torno de 55 a 70% seria oxidado em dióxido de carbono e água nos próprios músculos esqueléticos dos animais.

Assim, GAESSER e BROOKS (1984) inferiram que a utilização das terminologias DLO_2 e DAO_2 é inapropriada porque, na realidade, não refletem exclusivamente a relação de causa e efeito, indicando que a nomenclatura mais adequada seria Excesso do Consumo de Oxigênio após o Exercício (EPOC). Não obstante, algumas observações devem ser realizadas em relação a essa nova proposta:

1) A maioria dos trabalhos que adotaram a nomenclatura EPOC (BAHR & SEJERSTED, 1991; BØRSHEIM et al., 1998; SEDLOCK, 1991) também realizou uma subdivisão temporal que não coincide com a proposta original de MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933), o qual foi posteriormente confirmada em estudos realizados com animais (PIIPER & SPILLER, 1970) e humanos (JANSSON et al., 1990; YOSHIDA, 2002; YOSHIDA & WATARI, 1993b). Em outras palavras, os trabalhos que utilizaram a terminologia EPOC fizeram a subdivisão da fase rápida com a duração de $\cong$ 1 hora, ao passo que na proposta inicial essa fase era de $\cong$ 3 minutos.

2) Quando analisados os pontos referentes ao DAO_2, a maioria dos trabalhos citados no artigo GAESSER e BROOKS (1984), confirmaram a relação entre a fase rápida do $\dot{V}O_2$ após o exercício ($\cong$ 3 minutos) e a ressíntese de CP. Portanto, julga-se apropriado, para os fins deste projeto, a utilização da terminologia DAO_2.

Contudo, os trabalhos que utilizaram o DAO_2 como marcador do metabolismo anaeróbio alático não apresentam concordância sobre a forma de determiná-lo. Por exemplo, FRANCESCATO, TALON & di PRAMPERO (1995) adotaram o tempo fixo de 270 segundos de recuperação após a realização de séries de golpes de karatê, ao passo que BENEKE et al. (2002) utilizaram modelagem matemática para estabelecer a fase rápida do $\dot{V}O_2$ após a realização do teste anaeróbio de Wingate.

Em virtude da existência de variáveis que podem influenciar as repostas cinéticas do $\dot{V}O_2$ após o esforço físico, julga-se prudente utilizar a estratégia de

modelagem matemática para atender aos objetivos propostos pelo presente projeto. Porém, as possibilidades existentes de modelagem são apresentadas em relação aos Domínios de Intensidade, que por sua vez, são delimitados por índices obtidos mediante variáveis fisiológicas ou mecânicas que são de difícil aplicação na escalada esportiva *indoor*.

3.6 Análise cinética do consumo de oxigênio - resposta *on*

Nos momentos iniciais dos exercícios físicos predominantemente aeróbios, ocorre o aumento da transição do O_2 da atmosfera para os grupos musculares ativos, com principal objetivo de atender a demanda energética desses tecidos. O interesse de observar esse fenômeno por meio da sua resposta temporal, deve-se a tentativa de compreender os fatores intracelulares que regulam a ativação do sistema oxidativo (HASELER, HOGAN & RICHARDSON, 1999; ROSSITER, WARD, KOWALCHUCK, HOWE, GRIFFITHS & WHIPP, 2002), a possibilidade de utilizá-lo como indicativo do metabolismo anaeróbio (MEDBØ et al., 1988), as possíveis alterações do sistema oxidativo induzidas pelo treinamento físico (HAGBERG et al., 1978) ou aos ajustes dos sistemas bioenergéticos em virtude da idade cronológica (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003; XU & RHODES, 1999).

Inicialmente acreditava-se que o $\dot{V}O_2$ tenderia a aumentar numa função linear com esforço até a exaustão (HILL & LUPTON, 1923), mas esse comportamento só ocorre em intensidades muito baixas ou quando a carga é abruptamente incrementada em seu valor máximo (GAESSER & POOLE, 1996). Já é sabido que a natureza dessas alterações está intimamente relacionada à intensidade do esforço (XU & RHODES, 1999).

A análise do $\dot{V}O_2$ no início dos exercícios físicos normalmente é realizada em três fases distintas (resposta *on*), que supostamente estão associadas a diferentes causas (GAESSER & POOLE, 1996) (FIGURA 5).

WHIPP, WARD, LAMARRA, DAVIS e WASSERMAN (1982) foram os primeiros a descreverem a existência da fase cardiodinâmica ou fase 1, que possivelmente está relacionada ao aumento instantâneo do débito cardíaco e do fluxo sanguíneo nos pulmões. Usualmente, na análise cinética do $\dot{V}O_2$ é atribuído a essa fase o conceito de primeiro tempo de atraso (*time delay*), por acreditar-se que

esse rápido aumento não reflete necessariamente as alterações dos níveis de O_2 nos grupos musculares ativos, que por sua vez, têm a duração aproximada de 15 a 20 segundos (WHIPP & ÖZYENER, 1998).

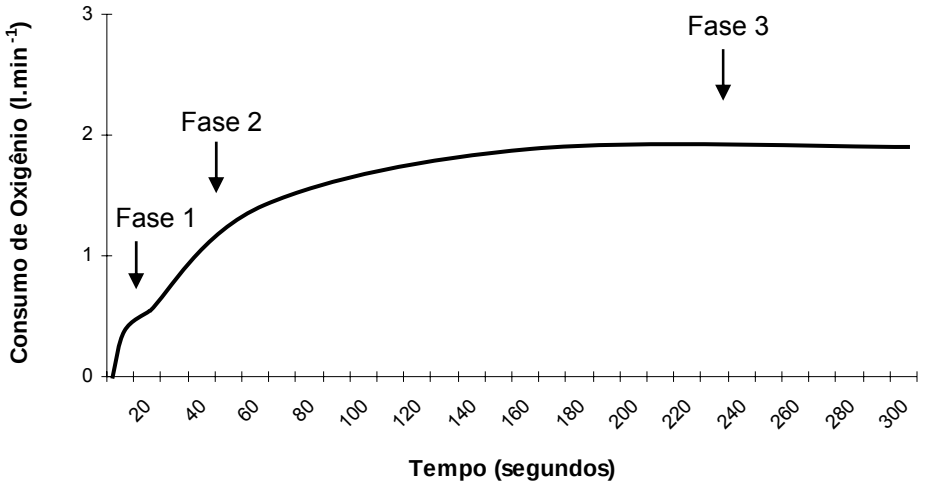

FIGURA 5 – Apresentação gráfica das fases de análise do comportamento cinético da resposta *on* do $\dot{V}O_2$.

A fase 2 representa a elevação do transporte e/ou da extração do O_2 pelos grupos musculares utilizados durante o esforço físico (HUGHSON & MORRISEY, 1983; McCREARY, CHILIBECK, MARSH, PATERSON, CUNNINGHAM & THOMPSON, 1996; XU & RHODES, 1999; WHIPP et al., 1982) e está intimamente associada com a cinética *on* da degradação da CP (ROSSITER, WARD, DOYLE, HOWE, GRIFFITHS & WHIPP, 1999). O tempo de duração dessa fase é comumente representado pela constante de tempo (τ) que tem a duração aproximada de 30 segundos (WHIPP & ÖZYENER, 1998).

Inicialmente utilizou-se a estratégia de identificação do $t_{1/2}$ para representar as respostas cinéticas, pois ele reflete a metade do tempo necessário para alcançar o pico de resposta do $\dot{V}O_2$, o qual inclui a fase 1, com média de 30 a 45 segundos (DIAMOND, CASABURI, WASSERMAN & WHIPP, 1977; WHIPP & WASSERMAN, 1972). Entretanto, acredita-se que a velocidade de resposta do $\dot{V}O_2$ (geralmente após a fase 1) é mais bem caracterizada pela taxa da constante k ou pelo seu inverso, que

é a constante de tempo (WHIPP & CASABURI, 1982), que equivale ao tempo quando $(1\text{-}e^{-t/t})$ · 100, refletindo aproximadamente 63% do valor do estado estável do $\dot{V}O_2$ (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003; WHIPP & CASABURI, 1982).

A fase 3 refere-se ao possível estado estável do $\dot{V}O_2$ e costuma ser atingido após o terceiro minuto do início da atividade; dependendo da intensidade do esforço, pode apresentar um comportamento linear aproximado de 9 a 11 $ml \cdot W^{-1} \cdot min^{-1}$ (BEARDEN & MOFFATT, 2000; GAESSER & POOLE, 1996).

Todavia, como anteriormente descrito, acredita-se que a intensidade do esforço pode influenciar o comportamento cinético do $\dot{V}O_2$ (XU & RHODES, 1999), fato que implicaria diretamente as estratégias utilizadas para observar as respectivas fases. Dessa forma, alguns pesquisadores vêm adotando uma classificação da intensidade das tarefas baseada nos domínios dos exercícios físicos (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003; GAESSER & POOLE, 1996; XU & RHODES, 1999; WHIPP & ÖZYENER, 1998). O domínio considerado de menor intensidade é o Moderado, que se refere a todo exercício físico realizado sem a elevação significativa das [La] e sem a diminuição do pH arterial relativo aos valores de repouso (WHIPP & ÖZYENER, 1998). Para a demarcação desse domínio, tem-se utilizado o θ_L determinado pelo método ventilatório (HUGHSON & MORRISEY, 1983) ou pelas [La] (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003). Durante a prática de exercícios físicos no domínio moderado, sujeitos fisicamente ativos apresentam o aumento exponencial do $\dot{V}O_2$ após a fase 1, alcançando o valor de estado estável após aproximadamente o terceiro minuto de atividade com τ de $\cong$ 30 segundos, como no esquema apresentado pela FIGURA 5 (GAESSER & POOLE, 1996). Logo, para a análise da resposta *on* nesse domínio, costuma-se desconsider a fase 1 por não representar necessariamente as alterações metabólicas musculares (WHIPP et al., 1982), e aplica-se um modelo matemático monoexponencial semelhante ao representado pela equação 2 (HUGHSON & MORRISSEY, 1983; WHIPP & ÖZYENER, 1998):

$$\dot{V}O_{2(t)} = A_1 \cdot [1\text{-}e^{-(t-\delta)/\tau}] \qquad \text{(EQUAÇÃO 2)}$$

Em que o $\dot{V}O_{2(t)}$ = consumo de oxigênio no momento t sobre os valores iniciais de controle; A_1 = amplitude da exponencial; t = tempo em segundos; δ = tempo de atraso; τ = constante de tempo.

Seguindo uma ordem crescente da intensidade do esforço, o próximo domínio é o Pesado. As tarefas executadas nesse domínio são caracterizadas por intensidades superiores àquelas realizadas sobre os demarcadores do domínio Moderado, e delimitadas pela máxima fase do estado estável do lactato (GAESSER & POOLE, 1996) ou abaixo da potência crítica (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003). A fase 2 desse domínio também apresenta aumento exponencial até aproximadamente o terceiro minuto de atividade (XU & RHODES, 1999). Entretanto, a análise da fase 3 tende a ser mais complexa que a do domínio anterior (WHIPP & WASSERMAN, 1972), porque apesar do suposto equilíbrio entre a produção e a remoção do lactato sanguíneo, existe uma elevação desse metabólito relativamente aos valores de repouso, o que é apontado como um dos motivos para o surgimento do fenômeno denominado de componente lento do $\dot{V}O_2$.

O componente lento do $\dot{V}O_2$ surge freqüentemente em exercícios físicos realizados a partir dessa faixa de esforço. Visivelmente, há o surgimento de uma outra exponencial no ponto que, teoricamente, deveria ocorrer o estado estável, acarretando no atraso da estabilização do $\dot{V}O_2$ (SCHEUERMANN, KOWALCHUCK, PATERSON & CUNNINGHAM, 1998; WHIPP & WASSERMAN, 1972). Ele é caracterizado pela elevação do $\dot{V}O_2$ sobre o seu valor predito para as relações com cargas abaixo desse domínio, surgindo geralmente entre o 80º e o 110º segundo após iniciada a tarefa (GAESSER & POOLE, 1996) e pode ser representado pela diferença do $\dot{V}O_2$ entre o sexto e o terceiro minutos de atividade (WHIPP & WASSERMAN, 1972) (FIGURA 6).

Contudo, ainda não são totalmente compreendidos quais fatores são responsáveis para o desenvolvimento desse fenômeno. A necessidade extra de O_2 para a degradação do lactato sanguíneo pelos grupos musculares menos utilizados nessas tarefas, o aumento do $\dot{V}O_2$ dos grupos musculares respiratórios em virtude da elevação da ventilação pulmonar, o aumento da taxa metabólica induzida pela elevação das concentrações de epinefrina, o aumento do recrutamento das fibras de contração rápida (tipo II) que resultaria na elevação do $\dot{V}O_2$ para gerar uma mesma tensão que as fibras de contração lenta (tipo I) e o aumento da temperatura corporal são as principais variáveis relacionadas ao componente lento (GAESSE & POOLE, 1996; PATERSON & WHIPP, 1991; XU & RHODES, 1999).

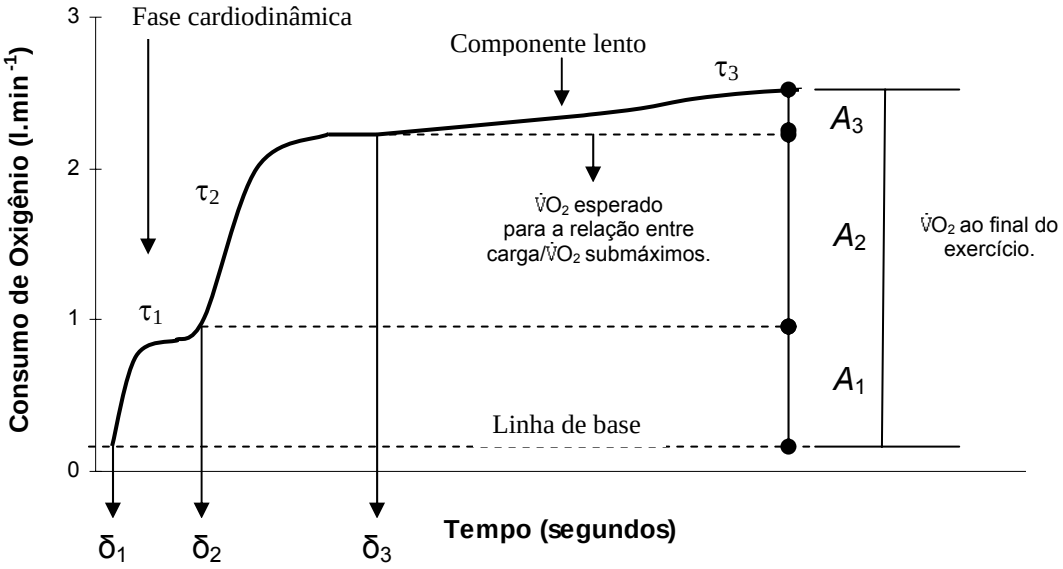

FIGURA 6 – Representação gráfica das variáveis cinéticas comumente analisadas na resposta *on* do $\dot{V}O_2$ nos domínios Pesado e Muito Pesado. As variáveis da fase 1, 2 e 3 estão representadas pelos seus respectivos números subscritos ($_1$, $_2$ e $_3$), onde *A* = amplitude; τ = constante de tempo e δ = tempo de atraso (adaptado de SCHEUERMANN et al., 1998).

Nesse sentido, o surgimento do componente lento do $\dot{V}O_2$ em intensidades pertinentes ao domínio Pesado, tornam as estratégias de análise das fases *on* do $\dot{V}O_2$ relativamente mais complexas. Esse fato impõe invariavelmente uma modelagem matemática da fase *on* diferenciada ao do primeiro domínio, sendo comumente mais bem expressa pelo ajuste biexponencial com a exclusão da fase 1, que por sua vez, tem a forma geral da equação 3 (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003).

$$\dot{V}O_{2(t)} = A_1 \cdot [1-e^{-(t_1-\delta_1)/\tau_1}] + A_2 \cdot [1-e^{-(t_2-\delta_2)/\tau_2}] \qquad \text{(EQUAÇÃO 3)}$$

Em que o $\dot{V}O_{2(t)}$ = aumento do consumo de oxigênio no momento t sobre os valores iniciais de controle; A_1 e A_2 = amplitudes de cada exponencial; t = tempo em segundos; δ_1 e δ_2 = tempo de atraso de cada exponencial; τ_1 e τ_2 = constante de tempo de cada exponencial.

Apesar do consenso geral apresentado na literatura sobre a melhor estratégia de modelagem matemática nos respectivos domínios de intensidade, grande parte dos estudos tem testado cautelosamente mais de um tipo de modelagem mediante a menor somatória dos resíduos ao quadrado (BARSTOW & MOLÉ, 1991; ENGELEN, PORSZASZ, RILEY, WASSERMAN, MAEHARA & BARSTOW, 1996; PATERSON & WHIPP, 1991; SCHEUERMANN et al., 1998; WHIPP & CASABURI, 1982).

O próximo domínio de intensidade do exercício é o Muito Pesado. Esse domínio está localizado acima da máxima fase de estado estável de lactato ou da potência crítica e abaixo do consumo máximo de oxigênio (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003). Como anteriormente apresentado, ao realizar exercícios físicos nesse domínio é comum ocorrer o surgimento do componente lento do $\dot{V}O_2$, que ao contrário do domínio Pesado, não se estabiliza e tende aumentar até atingir os valores do $\dot{V}O_{2max}$ (WHIPP & ÖZYENER, 1998).

O último domínio de intensidade de esforço do exercício é o Severo, caracterizado pelas tarefas realizadas em intensidades acima do $\dot{V}O_{2max}$. Nesse domínio, o $\dot{V}O_2$ tende a aumentar como função tanto do tempo como da potência, até a instalação do processo de fadiga aguda (WHIPP & ÖZYENER, 1998; XU & RHODES, 1999). Como conseqüência, não há tempo para o desenvolvimento do componente lento do $\dot{V}O_2$, que levará a sua resposta *on* a ter o comportamento monoexponencial, podendo ser ajustado pela equação 1 (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003).

Em relação aos fatores que podem intervir nessas análises, o treinamento com intensidades predominantemente aeróbias parece influenciar o aumento da velocidade da resposta cinética *on*. GAESSER e POOLE (1996) relataram que após aproximadamente oito semanas de treinamento aplicado em sujeitos fisicamente ativos, houve uma diminuição do componente lento ($\cong$ 150 ml $\cdot$ min^{-1}) em cargas de 25%, 50% e 75% da diferença entre o θ_L e o $\dot{V}O_{2max}$. Quando expresso em percentual dos valores de pré-treinamento, isso significa entre 50% e 90% de redução, sendo que, a maior parte ocorreu na intensidade de 25%. Possivelmente, essa redução ocorreu por causa da carga de 25% encontrar-se abaixo do θ_L após o programa de treinamento.

Em um outro estudo realizado ainda na década de 1970, HAGBERG, NAGLE e CARLSON (1978) também notaram que os sujeitos treinados, ao serem submetidos a testes realizados em cicloergômetro, possuíam cinética mais rápida nas cargas absolutas que os sedentários, porém não diferiam quando as cargas eram analisadas de forma relativa ao $\dot{V}O_{2max}$.

Quanto à utilização de diferentes membros, acredita-se que a resposta *on* do $\dot{V}O_2$ de membros superiores é mais lenta do que a de membros inferiores quando se usa a intensidade equivalente a 80% da potência máxima individual ($t_{1/2}$ superiores = 58 ± 9 segundos; $t_{1/2}$ inferiores = 26 ± 4 segundos) (CERRETELLI, PENDERGAST, PAGANELLI & RENNIE, 1979). Além disso, quando os braços são exercitados acima do nível de uma linha imaginária do coração, a cinética é mais rápida do que abaixo dessa linha, indicando a importância do sistema de transporte no controle da resposta *on* do $\dot{V}O_2$ (XU & RHODES, 1999).

A idade cronológica é uma outra variável que intervém nas respostas cinéticas do $\dot{V}O_2$, pois, ao realizarem exercícios físicos a partir do domínio Pesado, 50% das crianças tendem a não desenvolver o componente lento do $\dot{V}O_2$. Adicionalmente, a magnitude da diferença das crianças que tiveram o surgimento do componente lento é inferior quando comparada à dos adultos, tanto em termos absolutos quanto relativos à MCT (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003; XU & RHODES, 1999). Todavia, não são totalmente compreendidos os mecanismos que resultam nessas diferenças entre as duas populações. As hipóteses apresentadas são: a menor capacidade que as crianças possuem de transferir energia pelo metabolismo glicolítico, o qual teria como resultante uma baixa produção de lactato que é, como anteriormente descrito, uma das possíveis variáveis associadas ao surgimento do componente lento do $\dot{V}O_2$ (XU & RHODES, 1999) e as diferenças das unidades motoras recrutadas, com as crianças solicitando prioritariamente fibras do tipo I (FAWKNER & ARMSTRONG, 2003).

3.7 Análise cinética do consumo de oxigênio - resposta *off*

Assim como $\dot{V}O_2$ aumenta em relação aos valores de repouso nos momentos iniciais do esforço físico, ele também se mantém elevado após o término dessas

tarefas, o que é denominado de resposta *off* do $\dot{V}O_2$. Conseqüentemente, alguns pesquisadores têm focalizado suas atenções na compreensão da possível relação de causa e efeito desse fenômeno (di PRAMPERO, MAHLER, GIEZENDANNER & CERRETELLI, 1989; PATERSON & WHIPP, 1991).

A resposta *off* do $\dot{V}O_2$ é normalmente subdividida em duas fases que perfazem o período de recuperação. O primeiro estudo a caracterizar esse comportamento bifásico foi o de MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933), que atribuiu à fase rápida de recuperação a ressíntese de CP e a restauração dos estoques de O_2 (débito alático de O_2), ao passo que a fase lenta foi associada à degradação das [La] induzidas pelo esforço (débito lático de O_2).

Segundo WHIPP e ÖZYENER (1998), os princípios cinéticos da resposta *on* também se aplicam à resposta *off*, pelo simples fato de possuírem comportamentos semelhantes, porém em sentidos inversos. Em outras palavras, na resposta *off* pode-se atribuir os conceitos cinéticos às variáveis de análise e as suas respectivas técnicas de modelagem matemática, apresentados na resposta *on*. Contudo, existem pontos relevantes a serem considerados em relação à análise cinética desse período subseqüente ao esforço físico. Por exemplo, acredita-se que em exercícios de intensidade moderada, as repostas *on* e *off* do $\dot{V}O_2$ possuem exponenciais com as τ similares em aproximadamente 30 segundos (WHIPP & ÖZYENER, 1998; XU & RHODES, 1999). Além disso, CERRETELLI et al. (1979) apresentaram evidências de que os valores da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ de membros superiores são menos sensíveis ao treinamento que a cinética *on*, pois, em seu experimento, os valores dos indivíduos sedentários ($t_{1/2}$ = 23,7 ± 0,47 segundos) eram bem semelhantes aos dos atletas ($t_{1/2}$ = 20,5 ± 0,5 segundos).

Mediante os achados do estudo de di PRAMPERO et al. (1989), é possível confirmar a presença das duas fases da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após aproximadamente 10 minutos de exercício a 60% da potência máxima gerada em protocolos desenvolvidos em cicloergômetro e banco. Nesse trabalho também foi notado que a fase lenta estava correlacionada significativamente com o delta das [La] após o exercício ($r = 0,97$; $p < 0,001$), uma menor variação do $\dot{V}O_2$ analisado respiração a respiração na reposta *off* do que na *on*, e ainda, que o $t_{1/2}$ tanto da fase lenta quanto

da fase rápida não diferiram estatisticamente em virtude das tarefas adotadas (TABELA 7).

TABELA 7 – Valores do $t_{1/2}$ na fase rápida e lenta da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ no ciclismo e no teste em banco. Os valores são médias ± desvios padrão (adaptado de di PRAMPERO et al., 1989).

	Ciclismo	Teste no Banco
$t_{1/2}$ Fase rápida (s)	22,3 (± 6,7)	20,8 (±5,8)
$t_{1/2}$ Fase lenta (s)	91,4 (± 47,0)	93,6 (± 45,0)

O estudo de CARTER, JONES, BARSTOW, BURNLEY, WILLIAMS e DOUST (2000) também teve por objetivo analisar a resposta *off* do $\dot{V}O_2$ em diferentes ergômetros. Para isso, eles avaliaram sete sujeitos fisicamente ativos (três homens e quatro mulheres) em cicloergômetro e esteira rolante. Os indivíduos foram submetidos a testes de cargas constantes, constituídos por dois minutos de repouso e seis minutos se exercitando nas intensidades de 80% do θ_L e 25%, 50% e 75% da diferença entre $\dot{V}O_{2max}$ e o θ_L. As τ não diferiram estatisticamente em virtude do ergômetro e da intensidade adotada (TABELAS 8 e 9). Contudo, as amplitudes foram maiores na esteira quando comparadas com o cicloergômetro, para a maioria das intensidades, com a tendência de aumentar para ambas tarefas em virtude do esforço. Uma possível explicação para esses resultados das amplitudes é que o consumo de oxigênio na esteira, tanto no $\dot{V}O_{2max}$ como do θ_L, eram superiores quando comparados ao do cicloergômetro, fato que implicou diferentes valores absolutos do $\dot{V}O_2$ entre as tarefas. Além disso, os diferentes tipos de ações musculares podem ter interferido no $\dot{V}O_2$ ao final do exercício, o que conseqüentemente influenciou na A_1 da fase *off*, já que as τ eram semelhantes. Acredita-se que durante a corrida, cerca de 34% do tempo total é constituído por ações musculares excêntricas, as quais solicitam preferencialmente as unidades motoras do tipo IIb. Nesse sentido, associou-se a maior A_1 ao recrutamento das fibras do tipo IIb, já que elas ressintetizam cerca de 18% menos fosfatos para a mesma taxa do $\dot{V}O_2$.

TABELA 8 – Valores das constantes de tempo do primeiro processo exponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após exercícios realizados com diferentes ergômetros e intensidades (adaptado de CARTER et al, 2000).

Constante de tempo	80% do θ_L	Δ25%	Δ50%	Δ75%
τ esteira (s)	39,3 ± 3,0	34,7 ± 3,0	31,5 ± 2,2	27,6 ± 3,4
τ bicicleta (s)	35,9 ± 4,2	25,1 ± 1,6	32,6 ± 2,7	28,8 ± 3,8

TABELA 9 – Valores das amplitudes do primeiro processo exponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após exercícios realizados com diferentes ergômetros e intensidades (adaptado de CARTER et al., 2000).

Amplitude	80% do θ_L	Δ25%	Δ50%	Δ75%
A_1 esteira ($ml \cdot min^{-1}$)	1,531 ± 213	2,285 ± 250	2,300 ± 262	2,369 ± 252
A_1 bicicleta ($ml \cdot min^{-1}$)	876 ± 123*	1,575 ± 191*	1,862 ± 210*	2,138 ± 226

* significantemente diferente da esteira ($p < 0,05$).

Com o objetivo de verificar a influência do conteúdo de O_2 nas respostas cinéticas *on* e *off* do $\dot{V}O_2$, ENGELEN et al. (1996) avaliaram oito sujeitos (sete homens e uma mulher) em condições de normóxia (21% O_2), hipóxia leve (15% O_2) e moderada (12% O_2). Os sujeitos foram submetidos a um exercício de carga constante com duração de oito minutos, com a intensidade estabelecida a 50% da diferença entre o θ_L e o $\dot{V}O_{2pico}$. Antecedendo aos testes, os sujeitos pedalaram durante quatro minutos com o cicloergômetro sem carga para o estabelecimento da linha de base do $\dot{V}O_2$ e após o exercício, realizaram o mesmo procedimento por dez minutos para a análise da resposta *off*. Quando comparada com a situação de normóxia, a hipóxia moderada apresentou alteração significativa do comportamento cinético da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ (fase rápida), sendo mais lenta quando comparada às demais situações (τ normóxia = 26,0 ± 6,2 s; τ hipóxia leve = 23,0 ± 9,9 s e τ hipóxia moderada τ = 40,6 ± 9,9 s; $p < 0,01$). Em relação à resposta *on*, não foram observadas diferenças significativas quando comparadas com as diferentes frações inspiradas de O_2 (τ normóxia = 23,0 ± 9,0 s; τ hipóxia leve = 25,2 ± 5,4 s e τ hipóxia moderada = 38,5 ± 13,3 s; $p < 0,01$). A cinética mais lenta da resposta *on* estava

correlacionada ao atraso do ponto de queda da CP e à elevação das [La] ($r = 0,44$; $p < 0,05$). Entretanto, os autores sugeriram mais investigações para a compreensão das simetrias notadas entre os períodos de respostas, sem maiores informações para a resposta *off*.

O estudo de PATERSON e WHIPP (1991) teve por objetivo observar a similaridade temporal entre os períodos *on* e *off* do $\dot{V}O_2$ em diferentes intensidades. Eles avaliaram seis sujeitos fisicamente ativos em cicloergômetro com testes de cargas constantes, que tiveram a duração de seis minutos nas intensidades de 90% do θ_L e de 50% da diferença entre o θ_L e o $\dot{V}O_{2max}$. Antes de realizar os testes, os sujeitos exercitaram-se no cicloergômetro durante quatro minutos sem carga e, no período de recuperação, realizaram o mesmo procedimento por dez minutos. Em relação aos ajustes, durante a intensidade mais elevada, a fase *on* foi mais bem representada por um processo biexponencial, ao passo que para a carga de menor intensidade, a fase *on* e ambas as intensidades da fase *off* foram melhores representadas por um processo monoexpoencial. Parte dos resultados está na TABELA 10.

TABELA 10 – Comportamento cinético da resposta *on* e *off* do $\dot{V}O_{2max}$ em diferentes intensidades. Os valores são médias e ± desvios padrão (adaptado de PATERSON & WHIPP, 1991).

Constante de tempo	Resposta *on*	Respostas *off*
90% do θ_L (s)	31,3 (± 3,3)	31,5 (± 3,4)
Δ50% entre o θ_L e $\dot{V}O_{2max}$ (s)	40,2 (± 2,7)*	32,9 (± 2,0)

*diferença significativa da intensidade de 90% do θ_L ($p < 0,05$).

Com base nesses resultados, PATERSON e WHIPP (1991) concluíram que, em intensidades abaixo do θ_L, as respostas *on* e *off* são simétricas; todavia em intensidades acima desse marcador fisiológico, os comportamentos das respectivas respostas são assimétricos por ser a fase *on* mais lenta que a fase *off*.

O artigo de ÖZYENER, ROSSITER, WARD e WHIPP (2001) apresentou evidências sobre as possíveis similaridades entre as respostas *on* e *off* do $\dot{V}O_2$

obtidas em cicloergômetro. Eles avaliaram seis sujeitos não atletas em protocolos de cargas constantes, que iniciaram com a intensidade de 20 W durante 3 e 4 minutos, seguido por 10 minutos do exercício realizado em diferentes intensidades do domínio Moderado, Pesado, Muito Pesado e Severo, com subseqüente recuperação ativa de 20 minutos também a 20 W. A resposta *off* do $\dot{V}O_2$ foi mais bem representada por um ajuste monoexponencial para o exercício realizado no domínio Moderado e Pesado, ao passo que para os domínios Muito Pesado e Severo por um ajuste biexponencial. Já a resposta *on* foi expressa por ajustes monoexponenciais para os domínios Moderado e Severo, e os domínios Pesado e Muito Pesado, por biexponenciais. Entre os demais achados desse estudo, foi possível constatar que a τ_1 da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ não diferiu estatisticamente nos diferentes domínios de intensidade de esforço e que, nas intensidades mais elevadas, houve o surgimento de um segundo componente representado pela τ_2 (TABELA 11). Logo, concluiu-se que a intensidade do esforço físico também pode interferir nas estratégias de modelagem da resposta *off* do $\dot{V}O_2$, porém com o primeiro componente sendo menos sensível a essa variável.

TABELA 11 – Constantes de tempo da resposta *on* e *off* do $\dot{V}O_2$ em diferentes intensidades. A τ_1 e τ_2 são referentes as constantes de tempo do primeiro e da segunda exponencial. Θ não foi apresentada a constante de tempo pois a modelagem utilizada era monoexponencial (adaptado de ÖZYENER et al., 2001).

Domínio	*On*		*Off*	
	τ_1 (s)	τ_2 (s)	τ_1 (s)	τ_2 (s)
Moderado	33 (± 16)	Θ	29 (± 6)	Θ
Pesado	32 (± 17)	170 (± 49)*	42 (± 11)	Θ
Muito Pesado	34 (± 11)	163 (± 46)*	33 (± 5)	460 (± 123)‡
Severo	34 (± 7)	Θ	35 (± 11)	539 (± 379)‡

Os valores são médias ± desvios padrão; * maior que τ_1 *on*; ‡ maior que τ_1 *off* ($p < 0,05$).

Com o intuito de analisar, entre outras variáveis, o comportamento da τ da ressíntese da CP após uma tarefa com cargas constantes, MEYER (1988) estimulou

eletricamente os gastrocnêmios de ratos (Sprague-Dawley, n = 4) durante oito minutos, a 0,25 Hz, 0,50 Hz e 0,75 Hz, assumindo que essa intensidade estava abaixo da capacidade oxidativa máxima desse tecido. No período de repouso, durante os oito minutos de estimulação elétrica e após dez minutos de recuperação, foram adquiridas as imagens de ^{31}P-NMR. Baseado na análise dos resultados, constatou-se que a ressíntese da CP durante a recuperação teve o comportamento monoexponencial e as suas respectivas τ não sofreram influência da intensidade do estímulo, já que os valores não diferiram estatisticamente (0,25 Hz = 1,45 ± 0,19 s; 0,5 Hz = 1,68 ± 0,09 s; 0,75 Hz = 1,34 ± 0,05 s).

Objetivando verificar a influência da participação do sistema oxidativo na cinética da ressíntese da CP, HASELER, HOGAN e RICHARDSON (1999) avaliaram seis sujeitos em testes de cargas constantes de flexão plantar a 60% da potência máxima gerada em um teste realizado previamente até a exaustão. Os testes de cargas constantes foram constituídos de ciclos idênticos de cinco minutos para os períodos de repouso, exercício e recuperação. Durante essas tarefas, os sujeitos respiraram concentrações diferentes de O_2 (10%, 21% e 100%) e em todas as situações foram constantemente adquiridas informações dos gastrocnêmios por meio de ^{31}P-NMR. Com base nos resultados obtidos foi possível notar que a cinética da CP era estatisticamente mais lenta (τ = 33,5 ± 4,1 s) para a situação de hipóxia e mais rápida (τ = 20,0 ± 1,8 s) para a situação de hiperóxia quando comparada à normóxia (τ = 25,0 ± 2,7 s) ($p \leq 0,05$). Concluiu-se que, de fato, a ressíntese de CP após esforço moderado é dependente da fração inspirada de O_2, o que corrobora a hipótese da ressíntese de CP ser altamente dependente do sistema oxidativo. Além disso, pode-se observar que a τ da ressíntese da CP é bastante semelhante à τ do $\dot{V}O_2$ do primeiro processo exponencial durante a recuperação do esforço físico, como apresentado nos demais estudos.

Anteriormente ao trabalho de HASELER, HOGAN e RICHARDSON (1999), PAGANINI, FOLEY e MEYER (1997) já haviam apresentado resultados que elucidavam essa relação causal. O experimento foi conduzido em ratos (Sprague-Dawley), divididos em grupo controle, grupo com redução do conteúdo mitocondrial por processo farmacológico (Metimazole diluído em água a 0,025%) e grupo com

aumento do conteúdo mitocondrial induzido pelo treinamento (o programa de treinamento teve duração de dez semanas: ≅ 38 m · min^{-1}; 50 minutos por dia; cinco dias por semana). Após o período de intervenção, os animais foram sacrificados e o tendão calcâneo foi estimulado eletricamente durante oito minutos, enquanto eram obtidas imagens de ^{31}P-NMR simultaneamente, antes, durante e após esse procedimento. O grupo que foi submetido ao treinamento físico teve a cinética da CP (τ = 0,69 ± 0,7 s) após o esforço estatisticamente mais rápida do que o grupo controle (τ =1,57 ± 0,19 s; $p < 0,05$) e o grupo submetido ao processo farmacológico (τ = 2,65 ± 0,27 s). Também foi observada correlação significativa entre a taxa da constante da CP durante a recuperação com a atividade da enzima citrato sintase ($r = 0,84$; $p < 0,01$) e com o pH intramuscular ($r = 0,72$; $p < 0,01$). Dessa forma, concluiu-se que a ressíntese de CP logo após a estimulação elétrica é dependente do sistema oxidativo. Entretanto, a mudança significativa do pH intramuscular pode influenciar nesse comportamento.

YOSHIDA (2002) realizou um estudo que objetivou analisar a resposta *off* da CP em seres humanos. Os indivíduos possuíam níveis estatisticamente diferentes da condição aeróbia (seis sedentários $\dot{V}O_{2max}$ = 46,60 ± 1,70 ml · kg^{-1} · min^{-1}; cinco corredores de longas distâncias $\dot{V}O_{2max}$ = 73,62 ± 2,24 ml · kg^{-1} · min^{-1} e cinco velocistas $\dot{V}O_{2max}$ = 56,16 ± 2,52 ml · kg^{-1} · min^{-1}; $p < 0,05$) e foram avaliados em um ergômetro que permitia a realização da flexão e a extensão plantar com o monitoramento contínuo por meio do ^{31}P-NMR. O protocolo adotado era constituído de dois testes de cargas constantes com duração de quatro minutos nas intensidades de 18% e 23% (moderado) e de 54% e 70% (pesado) da potência máxima gerada em um teste incremental realizado previamente. Durante a recuperação passiva os corredores de longas distâncias apresentaram a cinética da ressíntese de CP estatisticamente mais rápida que os velocistas e os sedentários tanto no exercício moderado (τ = 26,4 ± 1,8 s; τ = 29,9 ± 4,0 s; τ = 43,2 ± 5,0 s, respectivamente; $p < 0,05$) quanto no exercício pesado (τ = 27,6 ± 4,6 s; τ = 43,1 ± 4,4 s; τ = 45,2 ± 8,3 s, respectivamente; $p < 0,05$). Logo, o principal achado desse estudo foi que, independentemente da intensidade do exercício a velocidade de ressíntese de CP foi mais rápida para os sujeitos que tinham maior condição aeróbia.

Adicionalmente, o comportamento da CP durante a recuperação foi mais bem expressa pela modelagem matemática monoexponencial.

Esse estudo de YOSHIDA (2002) reafirma a hipótese da taxa da ressíntese de CP ser dependente do metabolismo oxidativo, pois acredita-se que os corredores de longa distância sofreram adaptações relacionadas a esse metabolismo, as quais foram induzidas pelo tipo de treinamento físico adotado nessa modalidade esportiva. Esses achados corroboram os de outro trabalho, quando foi notado que ao realizaram quatro repetições de flexão e extensão de joelho em uma intensidade de 20 kg · m · min^{-1}, com intervalos de dois minutos entre as repetições, os atletas de corrida de média distância (5 km) tinham a cinética mais rápida da ressíntese da CP que os sedentários (YOSHIDA & WATARI, 1993b).

Em uma outra investigação realizada em seres humanos com diferentes níveis de condição aeróbia, SHORT e SEDLOCK (1997) analisaram o comportamento do $\dot{V}O_2$ após dois testes de cargas constantes realizados em cicloergômetro, com intensidade ajustada de forma relativa e absoluta. A carga relativa foi estabelecida a 70% da potência gerada no $\dot{V}O_{2pico}$, e a carga absoluta foi fixada na potência que convocou cerca de 1,5 l · min^{-1} do $\dot{V}O_2$. Nos dois testes os sujeitos exercitaram-se durante trinta minutos nas cargas supracitadas e, em seguida, realizavam sessenta minutos de recuperação passiva. Os indivíduos com maior condição aeróbia (n = 12) apresentaram o retorno do $\dot{V}O_2$ para os valores de linha de base mais rápido ($p < 0,01$) que os sedentários, tanto para a carga absoluta (21,0 ± 9,3 min; 39,1 ± 14,2 min) quanto para a relativa (40,3 ± 14,8 min; 50,2 ± 14,0 min) (n = 10). Apesar do estudo ter sido direcionado para a análise do comportamento total do EPOC, pode-se notar que, na fase inicial da recuperação até aproximadamente cinco minutos e trinta segundos, os sujeitos com maior condição aeróbia apresentaram valores estatisticamente inferiores do $\dot{V}O_2$, quando comparados aos de menor condição aeróbia. Concluiu-se então, que o nível de condição aeróbia influencia o tempo de retorno aos valores de base do $\dot{V}O_2$, independentemente da carga utilizada (relativa ou absoluta), graças ao aprimoramento da regulação da eficiência metabólica induzida pelo treinamento físico.

Entretanto, o primeiro estudo a comparar a cinética intracelular *on* e *off* de creatina (CP e Pi) com a cinética do $\dot{V}O_2$ pulmonar durante o mesmo exercício em

humanos foi realizado somente na década de 1990 (McCREARY et al., 1996). Foram avaliados 11 sujeitos fisicamente ativos (sete homens e quatro mulheres) durante o exercício de flexão plantar com intensidade relativa à carga do limiar de acidose intracelular. Todos os indivíduos iniciaram a tarefa com seis minutos sem carga, porém seis sujeitos exercitaram-se cinco minutos após o aumento abrupto da carga a aproximadamente 90% da carga do limiar de acidose, ao passo que os outros cinco sujeitos realizaram o exercício a aproximadamente 50% das suas respectivas potências de pico. A justificativa para as diferenças entre os métodos estabelecidos para identificar a carga foi a ocorrência de contratempos com o equipamento utilizado, entretanto, independentemente da forma utilizada, a intensidade relativa não diferia entre os procedimentos. Durante essas situações foram adquiridas imagens de ^{31}P-NMR, e as medidas do $\dot{V}O_2$ foram obtidas no mesmo teste de carga constante, mas em um outro dia. As análises cinéticas das variáveis foram realizadas por meio de ajuste monoexponencial, tanto para a resposta *on* quanto para a resposta *off*. Entre os resultados, as τ da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ e da CP não diferiram estatisticamente (33,4 ± 3,3 segundos e 44,8 ± 4,8 segundos, respectivamente), além da correlação inversamente proporcional observada entre as τ da resposta *off* da CP com o pH ($r = - 0,60$; $p < 0,05$). Logo concluiu-se, que a τ da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ pulmonar é temporalmente similar à τ da ressíntese da CP durante a recuperação no exercício de flexão plantar. Adicionalmente, os autores apresentam em sua discussão que a ressíntese de CP é razoavelmente descrita por um ajuste monoexponencial após exercício de baixa intensidade (abaixo do limiar de acidose intracelular) e que as alterações de pH intramuscular promovidas pelo exercício tendem a tornar a cinética da ressíntese da CP mais lenta.

Posteriormente, ROSSITER et al. (2002) também analisaram as características cinéticas do $\dot{V}O_2$ e da CP, com a diferença de que em seu experimento as variáveis foram adquiridas simultaneamente e em grupos musculares maiores (quadríceps femoral). Nove sujeitos foram avaliados em dois testes de cargas constantes de intensidades elevada e moderada[3], os quais constituíram de quatro minutos em repouso, seis minutos de exercício e mais seis minutos de

[3] A forma de determinação da intensidade foi feita por meio da citação de outro artigo.

recuperação. Durante todos esses procedimentos foram obtidas imagens de ^{31}P-NMR e do $\dot{V}O_2$ respiração a respiração. Parte dos resultados está presente na TABELA 12. Como se pode notar, as τ das variáveis apresentadas na fase *off* não diferiram em virtude da intensidade do exercício, sugerindo que do ponto de vista temporal a CP e o $\dot{V}O_2$ estão intimamente associados, possivelmente indicando que a cinética *off* do $\dot{V}O_2$ é determinada por mecanismos intramusculares. Conforme o esperado, o exercício moderado proporcionou uma amplitude inferior do $\dot{V}O_2$ e da CP quando comparado ao de alta intensidade. Esse fato poderia indicar que, além das τ serem semelhantes para as tarefas adotadas, o $\dot{V}O_2$ do primeiro processo exponencial da fase *off* tende a possuir o mesmo comportamento da CP durante a fase de recuperação.

TABELA 12 – Comportamento cinético da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ e da CP mensurados continuamente. A_1 da CP foi expressa em porcentagem do valor de controle obtido ao início do teste (adaptado de ROSSITER et al., 2002).

Intensidade	$\dot{V}O_2$		CP	
	A_1 (l · min^{-1})	τ_1 (s)	A_1 (%)	τ_1 (s)
Moderada	0,43 (± 0,2)	50 (± 12,7)	11,1 (± 2,6)	51 (± 13,1)
Alta Intensidade	0,95 (± 0,3)	51 (± 6,3)	26,7 (± 11,2)	47 (± 10,6)

Esses resultados corroboram parcialmente os achados do trabalho de YOSHIDA e WATARI (1993a). Eles observaram, por análise de ^{31}P-NMR, que independentemente da intensidade do esforço, a τ da CP durante a recuperação de um exercício de flexão e extensão de joelho, não era estatisticamente diferente nas intensidades de aproximadamente 18%, 39% e 58% do máximo (38,5 ± 3,3 s; 32,1 ± 5,8 s; 39,9 ± 2,9 s, respectivamente). Contudo, nesse trabalho não foram providenciadas evidências que sustentassem essa observação.

Baseado nesses estudos, não são conclusivas as respostas sobre qual o melhor tipo de modelagem matemática para representar a fase *off* do $\dot{V}O_2$ em virtude da intensidade do esforço. Não obstante, as τ do primeiro processo

exponencial do $\dot{V}O_2$ e da CP apresentam similaridade em pequenos e grandes grupos musculares, independentemente do tipo de modelagem adotada, notadamente em exercícios realizados com cargas constantes em que não ocorre alteração significativa do pH intramuscular.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Quatorze indivíduos participaram voluntariamente do estudo após a leitura, compreensão e assinatura do termo de consentimento informado (ANEXO II), previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (ANEXO III).

Em uma primeira sessão, os sujeitos se deslocaram até Laboratório de Desempenho Esportivo – LADESP – EEFEUSP para a realização das medidas antropométricas, da força de preensão manual, do teste espirométrico e do teste anaeróbio de Wingate para membros superiores. A ordem de realização dos testes ergoespirométrico e de Wingate foi determinada aleatoriamente e com o intervalo mínimo de duas horas entre os testes, sendo esse intervalo bastante superior ao tempo mínimo de recuperação apresentado emr um outro estudo (HEBESTREIT, MIMURA & BAR-OR, 1993).

Objetivando o reconhecimento prévio das rotas de escalada *indoor* que foram utilizadas neste estudo, os indivíduos se apresentaram ao ginásio 90 Graus de Escalada Esportiva *Indoor* – SP para escalarem uma rota fácil (grupo de escaladores recreacionais e de elite), uma rota moderada e uma rota difícil (somente o grupo de escaladores de elite).

Subseqüentemente às duas situações descritas, os indivíduos retornaram ao ginásio de escalada para a coleta dos dados nas rotas. Nessas tarefas foram adquiridas amostras de sangue para a análise das [La] em repouso, imediatamente após a escalada, no terceiro e no quinto minuto de recuperação. Tanto a FC como o $\dot{V}O_2$, foram mensurados continuamente durante a escalada e o período de recuperação.

Foi estabelecido o intervalo mínimo de 48 horas entre os testes e máximo de sete dias para a coleta dos dados nas situações de laboratório e de campo. Os indivíduos foram orientados a não realizarem nenhum tipo de esforço físico intenso a

partir das 48 horas que antecediam as tarefas supracitadas, assim como a não consumirem alimentos com pelo menos duas horas de antecedência das tarefas. Todos os testes foram realizados nos horários próximos dos quais os sujeitos estavam acostumados a treinar, no intuito de amenizar a variação do desempenho em virtude do ritmo cicardiano (SOUISSI, GAUTHIER, SESBOÜER, LARUE & DAVENNE, 2002).

4.1 Amostra

Todos os indivíduos eram aparentemente saudáveis, não fumantes, isentos de tratamentos farmacológicos e livres de qualquer tipo de distúrbio neuromuscular, assim como de disfunção cardiovascular, respiratória e circulatória. A amostra foi subdividida em dois grupos:

Grupo dos escaladores de elite (n = 7): indivíduos que praticavam a escalada esportiva *indoor* há pelo menos três anos, com uma freqüência mínima de quatro dias por semana, e que tinham concluído rotas difíceis (superior a 8a - graduação brasileira). Além disso, seis desses sujeitos estavam entre os dez primeiros colocados do Ranking Brasileiro de Escalada Esportiva *Indoor* do ano de 2001. Entretanto, durante a realização das mensurações nas ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor* houve a mortalidade experimental de um indivíduo do grupo de escaladores de elite (n = 6).

Grupo dos escaladores recreacionais (n = 7): indivíduos que praticavam a modalidade esportiva há pelo menos um ano, com uma freqüência mínima de duas vezes por semana, e que tinham realizado rotas de escalada *indoor* de dificuldade moderada (entre 5a e 7c - graduação brasileira).

4.2 Medidas antropométricas, estimativa da composição corporal e força de preensão manual

As medidas antropométricas e da força de preensão manual foram realizadas por um mesmo avaliador que mantinha a prática sistemática dessa técnica há pelo menos dois anos. A estimativa da composição corporal foi realizada pela técnica da antropometria, utilizando-se a padronização recomendada pela *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (NORTON & OLDS, 1996).

A mensuração da estatura e da envergadura foi realizada por meio de antropômetros de madeira com escala de 0,1 cm, enquanto a massa corporal total foi mensurada por uma balança eletrônica com precisão de 100 g da marca Filizola® (modelo ID 1500, São Paulo, Brasil).

Os valores referentes espessuras das dobras cutâneas foram obtidos em nove pontos anatômicos por meio de um compasso de dobras cutâneas com escala de 0,2 mm da marca Harpenden® (modelo HSK-BI, West Sussex, Reino Unido). As medidas foram realizadas em sistema de rodízio com três mensurações em cada ponto anatômico. O valor representativo de cada ponto foi estabelecido pela mediana das três medidas. Os pontos escolhidos foram: subescapular, tríceps, bíceps, peitoral, axilar média, supraíliaca, abdominal, proximal da coxa e medial da perna. O cálculo da densidade corporal foi realizado pela a equação sugerida por GUEDES (1985) (equação 4), enquanto a estimativa do percentual de gordura corporal (%GC) pela equação de Siri (1961) (equação 5).

$$DC = 1{,}17136 - 0{,}6706 \cdot LOG(AB + TR + SI) \qquad \text{(EQUAÇÃO 4)}$$

Em que DC = densidade corporal; LOG = logarítmico; AB = dobra abdominal; TR = dobra tríceps; SI = suprailíaca.

$$\%GC = [(4{,}95 / DC) - 4{,}5] \cdot 100 \qquad \text{(EQUAÇÃO 5)}$$

Em que %GC = percentual de gordura corporal; DC = densidade corporal.

Para a mensuração da força de preensão manual (FPM) foi utilizado um dinamômetro hidráulico que permitia o ajuste individual (modelo Jamar®, Lafayette Instrument Company, Indiana, Estados Unidos da América). As medidas foram realizadas nas mãos dominante e não dominante com os sujeitos na posição ortostática, mantendo-se os braços estendidos e pronados sem apoiar o equipamento no corpo. Foi considerada como mão dominante àquela que o sujeito utilizava para realizar a maioria de suas tarefas cotidianas. Os valores da FPM foram expressos de forma absoluta e relativa à MCT (FPM_{rel}), ambos obtidos pelo maior

valor gerado em três tentativas.

4.3 Procedimentos para a medida do consumo de oxigênio e da freqüência cardíaca

Para todas as situações que tiveram a mensuração do consumo de oxigênio e da freqüência cardíaca foi utilizado o módulo de telemetria do analisador de gases portátil modelo K4 b^2 (Cosmed™, Roma, Itália). A captação e a transmissão da freqüência cardíaca foram realizadas por meio de uma cinta da marca Polar (Finlândia) que possuía interface com o analisador de gases. Esse equipamento pesava em torno de 1,6 kg e permanecia fixado na altura do abdome e logo abaixo das escápulas dos escaladores durante a realização de todas as medidas. As coletas das amostras dos gases foram feitas continuamente respiração a respiração pelo módulo de telemetria, para posterior determinação e análise do índice fisiológico desejado. Esse equipamento permite que o tempo de resposta da medida do consumo de oxigênio e da produção do dióxido de carbono seja menor que 120 ms para alcançar 90% do fluxo da amostra, com uma amplitude de variação da ventilação de 0 a 300 $l \cdot min^{-1}$. O tempo necessário para que os gases transitem entre as coletas e as suas respectivas análises (*time delay*) é de aproximadamente 500 ms. Esse tempo de atraso é automaticamente mensurado e considerado nos cálculos por meio da calibração que foi realizada previamente. Nos momentos que antecederam todas as medidas, o analisador de gases permaneceu ligado por no mínimo 45 minutos, seguido pela calibragem do ar ambiente conforme sugerido pelo fabricante (K4 b^2 Manual de Instrução). As calibrações que são feitas por um gás com composição conhecida (16% de O_2 e 5% de CO_2), assim como a do tempo de atraso e do fluxo de ar que é realizada por uma seringa com o volume de 3 l (Quinton Instruments, Seatle, EUA), foram efetuadas apenas antes do primeiro teste. A validade desse equipamento já foi reportada na literatura científica durante o exercício máximo e submáximo (HAUSSWIRTH, BIGARD, ARSAC, BITANGA, THIRIET & LACOUR, 1997).

Os valores do $\dot{V}O_{2pico}$ foram estabelecidos de acordo com a média aritmética das respirações obtidas nos dez segundos finais das tarefas. Em virtude da sustentação da MCT durante todo o período de prática da escalada esportiva *indoor*,

os valores do $\dot{V}O_2$ foram expressos relativo á MCT ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Quando houve a necessidade de determinação da FC_{pico}, ela foi feita com base do maior valor obtido nos instantes finais das tarefas e expressa em batimentos por minuto (bpm).

4.4 Procedimentos para a análise da concentração sangüínea de lactato

Para todas as tarefas que tiveram análise da concentração sanguínea de lactato foram adotados os seguintes procedimentos:

a) Uma amostra de sangue com o volume de 25 μl foi coletada por incisão no lóbulo da orelha feita por lancetas descartáveis após assepsia local com álcool e a utilização da pomada vasodilatora Finalgon® (Boehringer Ingelheim, Stuttgart, Alemanha).

b) As amostras foram coletadas antes, imediatamente após a escalada, três e cinco minutos durante a recuperação, sendo armazenadas em tubos do tipo "*ependorf*" contendo 50 μl de fluoreto de sódio a 1%. Foram incluídas amostras tidas como padrão, que continham 50 μl de fluoreto de sódio adicionados a 50 μl de uma concentração conhecida de lactato (cinco $mmol \cdot l^{-1}$), que foram utilizadas para posterior conversão do valor mensurado. Todo esse material foi mantido em uma caixa térmica com gelo para posterior análise no aparelho Yellow Springs Sport® (modelo 1500, Ohio, Estados Unidos da América).

c) O delta de lactato foi calculado por meio da subtração das concentrações obtidas em repouso do maior valor adquirido durante o período de recuperação.

d) As análises não foram feitas em duplicatas, uma vez que a variação do equipamento é pequena, conforme constatado em nosso laboratório (FRANCHINI, 2001).

e) O aparelho utilizado para as análises foi calibrado a cada cinco análises, tendo como referência a concentração de lactato de cinco $mmol \cdot l^{-1}$, conforme a recomendação da Yellow Springs Sport®.

4.5 Protocolo para determinação da potência aeróbia máxima dos membros superiores

Para a determinação da potência aeróbia máxima e do $\dot{V}O_{2pico}$ foi utilizado o

ergômetro mecânico da marca Monark® (Modelo 668, Vanberg, Suécia) adaptado para a realização de testes com os membros superiores. O protocolo adotado era do tipo incremental contínuo por não apresentar valores diferentes do $\dot{V}O_{2max}$ quando comparado com os testes descontínuos, além de ter a vantagem de ser mais rápido (FRANKLIN, 1985).

Antecedendo o teste, os sujeitos realizaram um breve aquecimento de três minutos somente com a resistência inercial do equipamento. O incremento da intensidade foi de 0,25 kp por minuto, com a velocidade sendo mantida próxima de 35 km $\cdot$ h^{-1} (90 rpm) gerando a potência de $\cong$ 23 W por estágio. A velocidade foi monitorada por um velocímetro da marca Cateye® (modelo Astrale 8, Osaka, Japão). O banco do cicloergômetro foi ajustado para que mantivesse os braços dos avaliados em uma altura próxima ao nível do coração quando estivessem realizando as rotações. Essa padronização foi adotada com o intuito de amenizar a interferência nas respostas hemodinâmicas observadas quando os braços são mantidos acima desta linha (FRANKLIN, 1985).

Utilizou-se como o valor representativo da potência aeróbia máxima gerada, aquele que o sujeito conseguiu completar o último estágio sem diminuição da rotação previamente estipulada. A potência aeróbia máxima foi expressa de forma absoluta (W) e relativa à massa corporal total (W $\cdot$ kg^{-1}), assumindo-se a equivalência de 6,12 kpm $\cdot$ min^{-1} para cada 1 W. O $\dot{V}O_{2pico}$ dessa tarefa foi estabelecido pela média aritmética dos últimos dez segundos dos valores obtidos respiração a respiração ao final do teste, ao passo que a FC_{pico} foi determinada pelo maior valor observado ao término do teste.

4.6 Protocolo para determinação da potência e a capacidade anaeróbia dos membros superiores

Para a determinação da potência e capacidade anaeróbias de membros superiores foi utilizado o teste anaeróbio de Wingate com o mesmo ergômetro mecânico adotado no teste espirométrico (Monark®, Modelo 668, Vanberg, Suécia). A carga utilizada foi de 0,05 kp $\cdot$ kg^{-1} da massa corporal do sujeito, conforme

recomendado em revisões bibliográficas sobre esse teste (BAR-OR, 1987; FRANCHINI, 2002).

Antecedendo a aplicação do teste, foi solicitado aos indivíduos que realizassem um breve aquecimento (cinco minutos) com uma baixa resistência, intercalando com quatro ou cinco tiros de cinco ou seis segundos de duração na maior velocidade possível (INBAR & BAR-OR, 1986). Os sujeitos iniciaram o teste sem rotação prévia, devendo assim vencer a resistência aplicada pela carga estipulada, com o intuito de amenizar as influências da energia cinética da manivela (BASSET, 1989).

Foram mensuradas as seguintes variáveis: a) potência média gerada durante os trinta segundos ($P_{média}$); b) potência de pico obtida durante os momentos inicias do teste (P_{pico}); c) índice de fadiga, que representa o decréscimo percentual da maior para a menor potência gerada durante os trinta segundos (I_{fadiga}; %), que foi calculado a partir da equação 6. Tanto a $P_{média}$ quanto a P_{pico} foram expressas de forma absoluta (W) como relativa a massa corporal total ($W \cdot kg^{-1}$). Para os fins desse estudo, assumiu-se que essas variáveis representam a capacidade anaeróbia, a potência anaeróbia e o processo de fadiga, respectivamente.

$$\frac{\text{(potência de pico relativa – menor potência) x 100}}{\text{potência de pico relativa}} \qquad \text{(EQUAÇÃO 6)}$$

Os valores das variáveis analisadas foram obtidos pelo programa computadorizado Wingate Test®, desenvolvido e comercializado pela Skill Equipamentos Esportivos (*CEFISE,* São Paulo, Brasil), o qual permite a determinação da potência gerada a cada segundo.

4.7 Ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*

Durante todas as atividades que envolveram o ato de escalar, os sujeitos utilizaram equipamentos devidamente homologados pelos órgãos competentes e respeitaram os procedimentos preventivos de segurança adequados para a prática da escalada esportiva *indoor*.

Na execução dessas tarefas os escaladores utilizaram uma corda vinda do ponto mais alto do muro de escalada (sistema *top rope*), com a finalidade de manter a integridade física das pessoas e dos equipamentos envolvidos nesses processos. Os indivíduos do grupo de elite realizaram a ascensão de uma uma rota fácil (6sup), uma rota moderada (7c) e uma difícil (8c), ao passo que o grupo de escaladores recreacionais escalou apenas a rota fácil (6sup), com ambas possuindo a altura de aproximadamente oito metros. A ordem das rotas que o grupo de elite escalou foi estabelecida aleatoriamente, sendo intermediadas por intervalos de recuperação passiva com duração mínima aproximada de dez minutos, ou até a FC e $\dot{V}O_2$ retornarem aos valores de base. O tempo de recuperação dessas variáveis entre as tarefas, foi baseado nos resultados do trabalho de ROSSITER et al. (2002).

Antecedendo ao início da escalada, foi solicitado aos avaliados que seguissem a sua rotina realizando dois breves aquecimentos, um geral e um específico. O aquecimento geral consistiu quase que exclusivamente de exercícios de alongamentos, enquanto no aquecimento específico os sujeitos escalaram lateralmente utilizando agarras grandes. Posteriormente, os avaliados passaram em suas mãos uma boa quantidade de carbonato de magnésio, a fim de amenizar o suor, evitando as paradas excessivas no decorrer das ascensões. Durante essas tarefas foram mensurados continuamente o $\dot{V}O_2$ e a FC, ao passo que as [La] foram medidas em repouso, imediatamente após a escalada, no terceiro e no quinto minuto de recuperação.

4.8 Estimativa das contribuições dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total durante a escalada esportiva *indoor*

Para a estimativa dos sistemas oxidativo, glicolítico e ATP-CP foram utilizados respectivamente o consumo de oxigênio durante a atividade, o delta da concentração sangüínea de lactato e o débito alático de oxigênio (DAO_2).

O sistema oxidativo foi estimado pelo $\dot{V}O_2$ medido respiração a respiração e interpolado temporalmente a cada um segundo durante o tempo total de escalada, descontando-se os valores de repouso mensurados nesse período (linha de base). Para o estabelecimento dos valores da linha de base do $\dot{V}O_2$, os sujeitos permaneceram sentados durante cinco minutos, sendo adotado o valor gerado pela

média aritmética das respirações dos trinta segundos finais desse período.

A contribuição do sistema glicolítico foi estimada pelas [La], assumindo que o acúmulo de 1 mM nas concentrações de pico após as ascensões equivalia a 3 ml de $O_2 \cdot kg^{-1}$ (di PRAMPERO & FERRETTI, 1999). Para determinar o DAO_2 foi verificado se havia diferenças entre as modelagens matemáticas monoexponencial (equação 7) e biexponencial (equação 8) para o $\dot{V}O_2$ durante a recuperação. Isso se fez necessário por causa da impossibilidade de caracterização dos Domínios de Intensidade de Esforço na prática da escalada esportiva *indoor*.

$$\dot{V}O_{2(t)} = A_1 \cdot [e^{-(t-\delta)/\tau}] + y_0 \qquad \text{(EQUAÇÃO 7)}$$

Em que o $\dot{V}O_{2(t)}$ = aumento do consumo de oxigênio no momento t em relação aos valores iniciais de controle; A_1 = amplitude da exponencial; t = tempo em segundos; δ = tempo de atraso; τ = constante de tempo; y_0 = valor representativo da estabilização do processo exponencial (o*ffset*).

$$\dot{V}O_{2(t)} = A_1 \cdot [e^{-(t_1-\delta_1)/\tau_1}] + A_2 \cdot [e^{-(t_2-\delta_2)/\tau_2}] + y_0 \qquad \text{(EQUAÇÃO 8)}$$

Em que o $\dot{V}O_{2(t)}$ = aumento do consumo de oxigênio no momento t em relação aos valores iniciais de controle; *A* = amplitude da exponencial; t = tempo em segundos; δ = tempo de atraso; τ = constante de tempo; os números subscritos $_1$ e $_2$ são referentes aos componentes cinéticos do primeiro e segundo processo exponencial, respectivamente; y_0 = valor representativo da estabilização do processo exponencial (*offset*).

Ao se transformar o primeiro processo exponencial de uma das equações em um modelo logarítmico linear, foi possível estabelecer o DAO_2 localizando-se o ponto de estabilização da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ (equação 9):

$$\text{Ponto de estabilização da resposta } off \text{ do } \dot{V}O_2 = \log y_0 \cdot \tau_1 \qquad \text{(EQUAÇÃO 9)}$$

Em que log y_0 = resolução logarítmica do valor de estabilização (*offset*); τ_1 = constante de tempo.

Anteriormente a essas estimativas, os valores do $\dot{V}O_2$ após o exercício foram interpolados temporalmente a cada um segundo com o intuito de uniformizar a

flutuação geralmente produzida quando a análise é feita respiração a respiração (BARSTOW & MOLÉ, 1991; ENGELEN et al., 1996; PATERSON & WHIPP 1991; LAMARRA, WHIPP, WARD & WASSERMAN, 1987; ROSSITER et al., 2002; WHIPP et al., 1982). Foram considerados como ruídos (*outliers*) valores com diferenças de mais ou menos três desvios padrão daqueles gerados pela equação adotada para a modelagem matemática. Após a exclusão dos ruídos, os valores foram novamente interpolados temporalmente a cada 1 segundo e modelados pelos ajustes monoexponencial e biexponencial. Esse procedimento é normalmente utilizado em estudos que analisaram o comportamento cinético do $\dot{V}O_2$, por causa da oscilação dessa variável (LAMARRA et al., 1987; ÖZYENER et al., 2001). Para estabelecer o melhor tipo de modelagem que representa a recuperação após a escalada foi utilizada a menor somatória de resíduos (BARSTOW & MOLÉ, 1991; BEARDEN & MOFFATT, 2000; ENGELEN et al., 1996; PATERSON & WHIPP, 1991).

Quando o melhor ajuste foi o biexponencial, utilizou-se para o cálculo do DAO_2 a integral da área que se refere ao primeiro processo exponencial. Porém quando o melhor ajuste foi o monoexponencial, o cálculo foi realizado pela integral da área estabelecida entre o término da tarefa e o primeiro momento da estabilização do $\dot{V}O_2$. Independentemente do tipo de modelagem adotado, os valores das integrais também foram calculados sobre a linha de base. As modelagens matemáticas foram realizadas por meio do programa computadorizado Origin 6.0® (Microcal Software, Inc., Massachusetts, EUA).

Para a estimativa do gasto energético total entre os grupos e as rotas de escalada, foi realizada a somatória dos valores gerados pelos sistemas bioenergéticos. A contribuição dos sistemas bioenergéticos e o gasto energético total nessas situações foram convertidos em quilojoule (kJ), assumindo-se que cada litro de O_2 equivale a 20,92 kJ (GASTIN, 2001), pressupondo que nessas tarefas havia a degradação exclusiva de carboidratos.

4.9 Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente por meio do programa computadorizado *Statistical Package for Social Sciences* 10.0® (SPSS Inc., Chicago, EUA) e posteriormente apresentados em médias ± desvios padrão. Antecedendo a

escolha do tratamento estatístico, foram verificadas as características das distribuições dos dados mediante ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

O teste *t* de *Student* para amostras independentes foi utilizado na comparação entre os valores das medidas antropométricas, dos percentuais de gordura, das variáveis funcionais obtidas pelos testes de potência anaeróbia e das idades do GEE e do GER.

A comparação da FMP do lado dominante e não dominante desses grupos foi realizada pela análise de variância (ANOVA) a dois fatores (lado e grupo). Entre as variáveis mensuradas pelo teste de potência aeróbia máxima, apenas a potência aeróbia absoluta dos grupos foi comparada pelo teste de Mann-Whitney, ao passo que as demais variáveis obtidas por esse teste foram comparadas pelo teste *t* de *Student* para amostras independentes.

O teste *t* de *Student* para amostras independentes também foi empregado na comparação entre os valores do $\dot{V}O_{2pico}$, da $FC_{pico,}$ das [La] de repouso, das [La] de pico, do gasto energético, das variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio e dos tempos utilizados nas ascensões do GEE e do GER durante a ascensão da rota fácil.

Os valores das variáveis fisiológicas, das estimativas das contribuições absolutas e percentuais dos sistemas bioenergéticos, da resposta cinética *off* do consumo de oxigênio, do gasto energético total e do tempo utilizado pelo GEE nas rotas fácil, moderada e difícil foram comparados pela análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas a um fator (rota), com o nível de significância ajustado pelo teste para comparações múltiplas de Bonferroni. Todavia, a esfericidade desses dados foi previamente analisada pelo teste de Mauchly.

O teste F foi utilizado para identificar o tipo de modelagem matemática que gerou a menor somatória de resíduos produzidos pelos ajustes monoexponencial e biexponencial.

O nível de associação entre a potência aeróbia, a capacidade e a potência anaeróbia de membros superiores obtidos pelos testes laboratoriais, com as participações do sistema oxidativo, glicolítico e ATP-CP obtidos pelo GEE e GER durante as ascensões das rotas de escalada, foi verificado pelo coeficiente de correlação de *Pearson*. O coeficiente de correlação de *Pearson* também foi

empregado para se verificar o nível de associação do gasto energético total com a MCT ou com o %GC. Para todas as análises foi adotado o nível de significância de $p \leq 0,05$.

5 RESULTADOS

Os principais achados do presente estudo foram agrupados em subtópicos para uma melhor exposição, entretanto, um resumo dos resultados das análises estatísticas pode ser visto no ANEXO IV.

5.1 Antropometria, composição corporal e força de preensão manual

Os dados morfológicos e as idades dos grupos estão presentes na TABELA 13. Entre essas variáveis, apenas a somatória das dobras cutâneas e o percentual de gordura corporal do GER foi estatisticamente superior ao do GEE ($p \leq 0,05$).

TABELA 13 – Dados morfológicos e etários do grupo de escaladores de elite e recreacional.

Variável	GEE (n = 7)	GER (n = 7)
Idade (anos)	20 ± 4	24 ± 3
Massa corporal total (kg)	62,4 ± 3,3	64,0 ± 7,2
Estatura (cm)	173,3 ± 4,2	170,0 ± 6,8
Envergadura (cm)	176,8 ± 2,3	173,3 ± 10,6
Σ todas as dobras (mm)	66,3 ± 18,0	91,1 ± 24,4*
Σ dobras do tronco (mm)	48,9 ± 14,5	67,8 ± 18,4
Σ dobras dos membros inferiores (mm)	17,4 ± 4,7	23,3 ± 7,4
Percentual de gordura corporal (%)	8,1 ± 4,2	13,3 ± 4,4*

Os valores são médias ± desvios padrão; Σ todas as dobras = somatória das nove dobras cutâneas (subescapular, tríceps, bíceps, peitoral, axilar média, supraíliaca, abdominal, proximal da coxa e medial da perna); Σ dobras do tronco = somatória das dobras representativas do tronco (subescapular, tríceps, bíceps, peitoral, axilar média, supraíliaca e abdominal); Σ dobras dos membros inferiores = somatória das dobras representativas dos membros inferiores (proximal da coxa e medial da perna); * estatisticamente superior ao grupo de escaladores de elite ($p \leq 0,05$).

Em relação à força máxima de preensão manual relativa à massa corporal total, não foi observada a interação entre os fatores lado e grupo (F = 0,165; p = 0,69). Todavia, foi detectada a diferença entre os grupos (F = 7,712; p = 0,016) e uma tendência à distinção entre os lados (F = 4,418; p = 0,057). A força máxima de preensão manual absoluta teve um comportamento semelhante à relativa, pois não houve interação entre os fatores lado e grupo (F = 0,116; p = 0,74), mas foi detectada a diferença entre os grupos (F = 4,856; p = 0,048) e uma tendência à distinção entre os lados (F = 4,425; p = 0,061) (TABELA 14).

TABELA 14 – Força máxima de preensão manual dos grupos de escaladores de elite e recreacional.

Grupo	FMP_{rel} (kgf · kg^{-1})		FMP (kgf)	
	Dominante	Não Dominante	Dominante	Não Dominante
GEE (n = 7)*	0,85 ± 0,1	0,81 ± 0,1	53,3 ± 9,8	50,3 ± 7,5
GER (n = 7)	0,70 ± 0,1	0,66 ± 0,1	44,5 ± 7,6	42,3 ± 4,1

Os valores são médias ± desvios padrão; * estatisticamente superior ao grupo de escaladores recreacionais ($p \leq 0,05$).

5.2 Potência aeróbia máxima, potência e capacidade anaeróbia de membros superiores

As variáveis funcionais mensuradas por meio do teste de potência aeróbia máxima foram estatisticamente similares entre os grupos ($p > 0,05$) (TABELA 15).

TABELA 15 – Variáveis funcionais mensuradas por meio do teste de potência aeróbia máxima.

Variável	GEE (n = 7)	GER (n = 7)
Potencia aeróbia máxima absoluta (W)	132 ± 12	118 ± 24
Potencia aeróbia máxima relativa (W · kg^{-1})	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,4
$\dot{V}O_{2pico}$ (ml · kg^{-1} · min^{-1})	36,8 ± 5,7	35,5 ± 5,2
FC_{pico} (bpm)	180 ± 6	172 ± 9

Os valores são médias ± desvios padrão.

Já no teste anaeróbio de Wingate, a potência de pico relativa à massa corporal total do GEE foi superior ao do GER ($p \leq 0,05$) (TABELA 16).

TABELA 16 – Variáveis funcionais mensuradas por meio do teste anaeróbio de Wingate.

Variável	GEE (n = 7)	GER (n = 7)
P_{pico} absoluta (W)	489 ± 44	445 ± 53
P_{pico} relativa ($W \cdot kg^{-1}$)	7,8 ± 0,6*	7,0 ± 0,7
$P_{média}$ absoluta (W)	369 ± 55	336 ± 32
$P_{média}$ relativa ($W \cdot kg^{-1}$)	5,9 ± 0,8	4,7 ± 0,5
I_{fadiga} (%)	51 ± 10	47 ± 10

Os valores são médias ± desvios padrão; * estatisticamente superior ao grupo de escaladores recreacionais ($p \leq 0,05$).

5.3 Respostas das variáveis fisiológicas nas rotas de escalada esportiva *indoor*

Durante a escalada da rota fácil, tanto a freqüência cardíaca de pico como o delta das concentrações sangüíneas de lactato de pico do GER foram estatisticamente mais elevadas que as do GEE ($p \leq 0,05$) (TABELA 17). No entanto, as demais variáveis mensuradas nessa tarefa foram similares entre os grupos ($p > 0,05$).

TABELA 17 – Respostas fisiológicas dos grupos de escaladores recreacionais e de elite na ascensão da rota fácil.

Variável	GEE (n = 6)	GER (n = 7)
$\dot{V}O_{2pico}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	37,2 ± 7,6	36,0 ± 5,5
FC_{pico} (bpm)	162 ± 8	171 ± 6*
[La] de repouso (mM)	1,00 ± 0,74	1,02 ± 0,42
Δ[La] de pico (mM)	1,55 ± 0,88	3,98 ± 0,67*

Os valores são médias ± desvios padrão; * estatisticamente superior ao grupo de escaladores de elite ($p \leq 0,05$).

Quando comparada nas demais situações, tanto o tempo de ascensão (F = 1,255; p = 0,326) como o $\dot{V}O_{2pico}$ (F = 0,186; p = 0,833) do GEE não foram estatisticamente diferentes entre as rotas fácil, moderada e difícil. Apesar da análise de variância detectar diferença nas [La] de pico entre as rotas (F = 5,950; p = 0,020), após o teste para múltiplas comparações de Bonferroni, esse comportamento não se manteve entre as rotas fácil e moderada (p = 0,223), entre as rotas moderada e difícil (p = 0,600) e entre as rotas fácil e difícil (p = 0,093).

Diferentemente dessas variáveis, a FC_{pico} do GEE na rota moderada foi estatisticamente superior ao da rota fácil (p = 0,003). Além disso, a FC_{pico} da rota difícil também foi mais elevada que a da rota fácil (p = 0,004) e da rota moderada (p = 0,054) (TABELA 18).

TABELA 18 – Respostas fisiológicas do grupo de escaladores elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil (n = 6).

Variável	Fácil	Moderada	Difícil
$\dot{V}O_{2pico}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	37,2 ± 7,6	38,0 ± 6,3	38,6 ± 5,4
FC_{pico} (bpm)	162 ± 8	175 ± 5*	181 ± 7*‡
∆[La] de pico (mM)	1,55 ± 0,88	2,58 ± 1,03	3,24 ± 1,19

Os valores são médias ± desvios padrão; * estatisticamente superior à rota fácil ($p \leq 0,05$); ‡ estatisticamente superior à rota moderada ($p \leq 0,05$).

5.4 Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio após as ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*

Em relação às modelagens matemáticas da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ na ascensão da rota fácil, apenas para um escalador do grupo de elite o ajuste biexponencial gerou a somatória de resíduos estatisticamente inferior ao do ajuste mononexponencial. Logo, para as demais situações foi adotado o ajuste monoexponencial (FIGURAS 7 e 8).

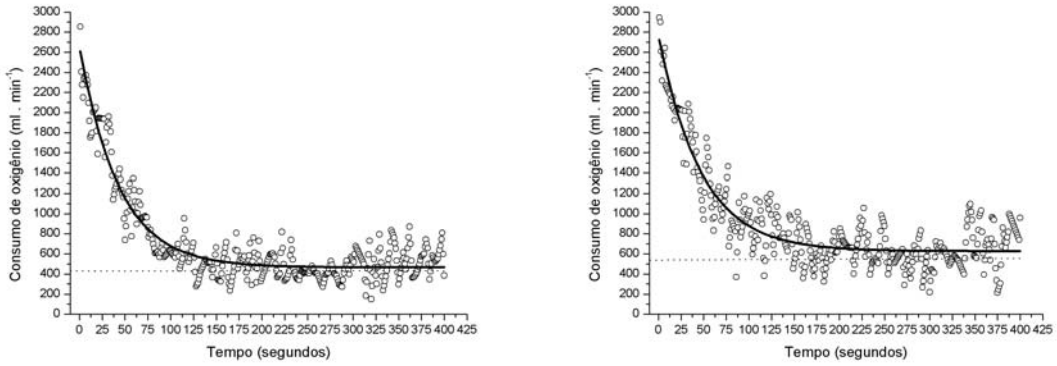

FIGURA 7 – Exemplo do ajuste monoexponencial típico da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil do grupo de escaladores de elite (painel à esquerda) e do grupo de escaladores recreacionais (painel à direita). A linha pontilhada horizontal representa a linha de base.

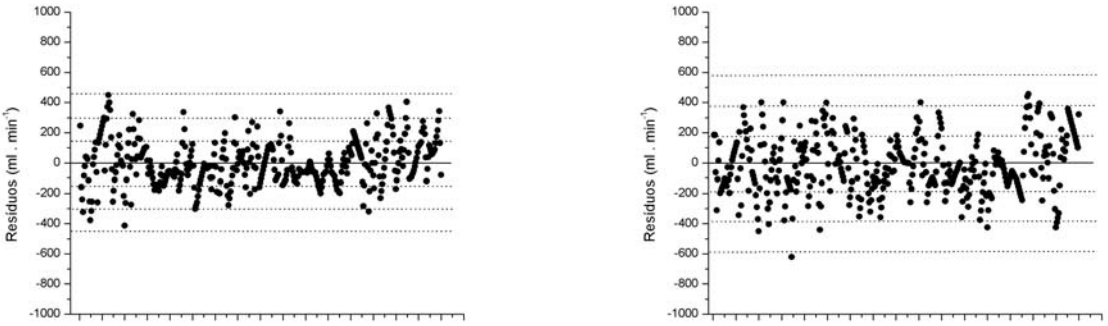

FIGURA 8 – Exemplo dos resíduos gerados pela modelagem monoexponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil do grupo de escaladores de elite (painel à esquerda) e do grupo de escaladores recreacionais (painel à direita). A linha pontilhada representa os desvios padrão dos resíduos.

Após as ascensões das rotas moderada e difícil, a somatória dos resíduos do $\dot{V}O_2$ do GEE não diferiu estatisticamente entre as modelagens monoexponencial e biexponencial. Dessa forma, o ajuste monoexponencial também foi adotado para representar a resposta *off* do $\dot{V}O_2$ nessas tarefas (FIGURAS 9 e 10).

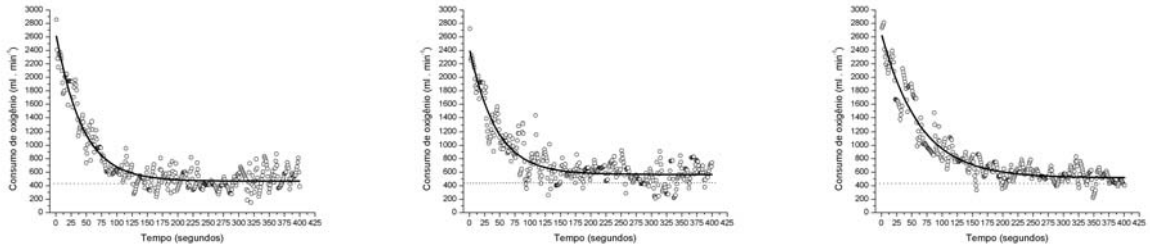

FIGURA 9 – Exemplo do ajuste monoexponencial típico da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil (painel à esquerda), rota moderada (painel ao centro) e rota difícil (painel à direita) do grupo de escaladores de elite. A linha pontilhada horizontal representa a linha de base.

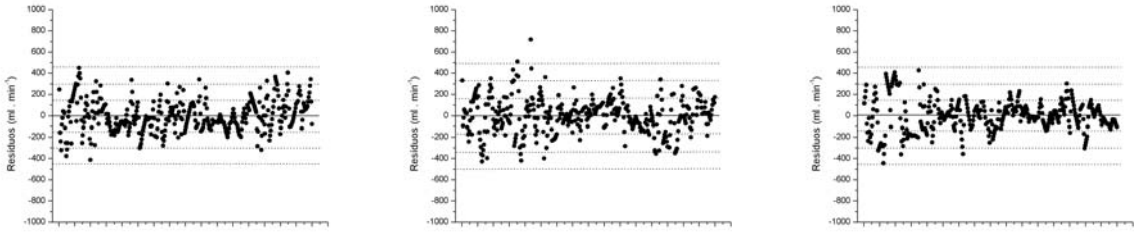

FIGURA 10 – Exemplo dos resíduos gerados pela modelagem monoexponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil (painel à esquerda), da rota moderada (painel ao centro) e da rota difícil (painel à esquerda) do grupo de escaladores de elite. A linha pontilhada representa os desvios padrão dos resíduos.

Com exceção do valor de estabilização do $\dot{V}O_2$ após a escalada da rota fácil, as demais variáveis cinéticas do GEE e do GER foram estatisticamente similares ($p > 0,05$), sendo que o tempo de atraso de ambos os grupos foi próximo de zero (TABELA 19). Quando comparada com as demais ascensões, tanto as amplitudes do $\dot{V}O_2$ ($F = 0,905$; $p = 0,435$) como as constantes de tempo ($F = 0,218$; $p = 0,808$) e o tempo de duração do débito alático de oxigênio ($F = 1,284$; $p = 0,319$) não diferiram entre as rotas (TABELA 20). Todavia, o valor de estabilização do $\dot{V}O_2$ após a ascensão da rota fácil foi menor que o da rota moderada ($F = 7,389$; $p = 0,016$) e semelhante ao da rota difícil ($F = 7,389$; $p = 0,080$). Além disso, essa variável não diferiu significativamente entre a rota moderada e a rota difícil ($F = 7,389$; $p = 0,653$).

TABELA 19 – Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio do grupo de escaladores de elite e recreacional após a ascensão da rota fácil.

Variável	GEE (n = 6)	GER (n = 7)
A_1 (ml · min^{-1})	2027,7 ± 417,8	2175,4 ± 261,2
τ (s)	51 ± 9	49 ± 9
δ (s)	0,494 ± 0,540	0,005 ± 0,003
y_0 (ml · min^{-1})	464,6 ± 73,7	561,4 ± 53,6*
Tempo DAO_2 (s)	103 ± 18	108 ± 16

Os valores são médias ± desvios padrão; * valor estatisticamente superior ao do grupo de escaladores de elite; A_1 = amplitude; τ = constante de tempo; δ = tempo de atraso; y_0 = valor de estabilização; Tempo DAO_2 = tempo de duração do débito alático de oxigênio.

TABELA 20 – Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio do grupo de escaladores de elite após a ascensão das rotas fácil, moderada e difícil (n = 6).

Variável	Fácil	Moderada	Difícil
A_1 (ml · min^{-1})	2027,7 ± 417,8	1855,6 ± 331,8	1978,8 ± 307,0
τ (s)	51 ± 9	49 ± 5	52 ± 1
δ (s)	0,494 ± 0,540	-0,091 ± 0,703	0,170 ± 0,397
y_0 (ml · min^{-1})	464,6 ± 73,7	534,4 ± 59,1*	583,6 ± 107,4
Tempo DAO_2 (s)	103 ± 18	107 ± 10	117 ± 15

Os valores são médias ± desvios padrão; * valor estatisticamente superior ao da rota fácil ($p \leq 0,05$); A_1 = amplitude; τ = constante de tempo; δ = tempo de atraso; y_0 = valor de estabilização; Tempo DAO_2 = tempo de duração do débito alático de oxigênio.

5.5 Estimativa das contribuições dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total nas ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*

A contribuição percentual do sistema oxidativo do GEE na rota fácil (GEE = 45,9 ± 5 %) não diferiu estatisticamente do sistema ATP-CP (GEE = 44,5 ± 9 %) (F = 36,180, p = 1,000). Porém, tanto a contribuição do sistema oxidativo (F = 36,180, p = 0,000) como a do sistema ATP-CP (F = 36,180, p = 0,005) foram significativamente superiores à contribuição do sistema glicolítico (GEE = 9,6 ± 5 %) nessa tarefa. Do

mesmo modo, a contribuição percentual do sistema oxidativo na rota fácil do GER (44,9 ± 7 %) foi semelhante à contribuição do sistema ATP-CP (37,8 ± 6 %) (F = 32,055; p = 0,497), com ambas sendo superiores (F = 32,055) à contribuição do sistema glicolítico (17,3 ± 2 %) (oxidativo: p = 0,001; ATP-CP: p = 0,000) (FIGURA 11).

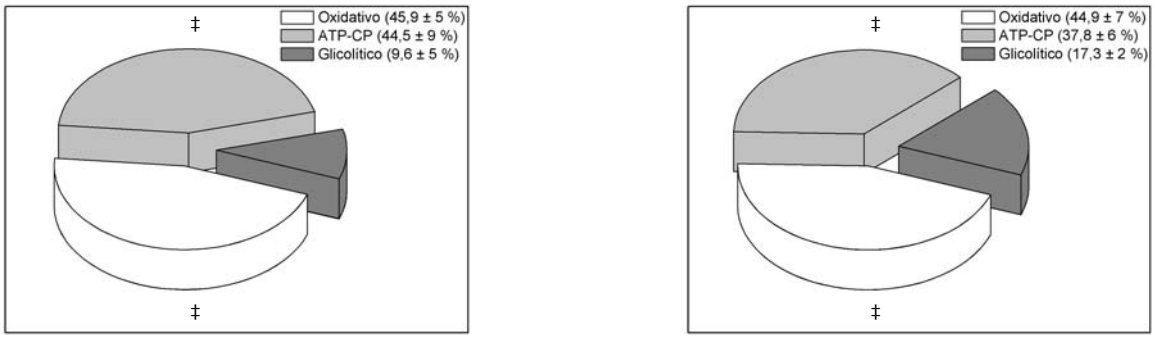

FIGURA 11 – Estimativa das contribuições percentuais dos sistemas bioenergéticos na ascensão da rota fácil. O painel à esquerda refere-se ao grupo de escaladores recreacionais, ao passo que o painel à direita refere-se ao grupo de escaladores de elite. ‡ Estatisticamente superior ao sistema glicolítico ($p \leq 0,05$)

Apesar dos grupos possuírem valores similares do tempo de ascensão da rota fácil ($p > 0,05$), as contribuições absolutas das vias energéticas oxidativa, glicolítica e ATP-CP do GER foram estatisticamente maiores que as do GEE ($p \leq 0,05$). Logo, o gasto energético total dos escaladores recreacionais também foi mais elevado que o dos escaladores de elite (TABELA 21).

Nas demais tarefas realizadas pelo GEE, a contribuição percentual do sistema oxidativo na rota moderada (50,7 ± 5 %) foi estatisticamente superior à do sistema ATP-CP (35,4 ± 3 %) (F = 47,776; p = 0,005) e à do sistema glicolítico (13,9 ± 7 %) (F = 47,776; p = 0,002). Não obstante, a contribuição percentual do sistema ATP-CP também foi mais elevada que a do sistema glicolítico nessa ascensão (F = 47,776; p = 0,007).

Na rota difícil, a contribuição percentual do sistema ATP-CP (38,0 ± 7 %) se

igualou novamente à do sistema oxidativa (48,2 ± 9 %) (F = 24,855, p = 0,476) e ambas foram superiores à via energética glicolitica (13,8 ± 5 %) (oxidativo: F = 24,855, p = 0,003; ATP-CP: F = 24,855; p = 0,002) (FIGURA 12).

TABELA 21 – Estimativa das contribuições absolutas dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total dos grupos durante a ascensão da rota fácil.

Variável	GEE (n = 6)	GER (n = 7)
Tempo (s)	73 ± 18	85 ± 21
Oxidativo (kJ)	28,9 ± 5,6	42,5 ± 13,4*
Glicolítico (kJ)	6,0 ± 3,4	15,9 ± 3,9*
ATP-CP (kJ)	27,6 ± 5,0	34,4 ± 3,3*
G.E. total (kJ)	62,5 ± 6,6	92,8 ± 4,5*

Os valores são médias ± desvios padrão; G.E. = gasto energético total; * estatisticamente superior ao grupo de escaladores de elite ($p \leq 0,05$).

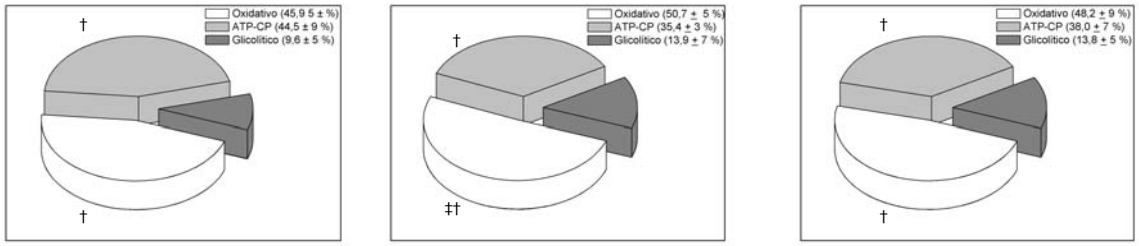

FIGURA 12 – Estimativa das contribuições percentuais dos sistemas bioenergéticos do GEE. Os painéis da esquerda, do centro e da direita referem-se às rotas fácil, moderada e difícil, respectivamente. † Estatisticamente superior ao sistema glicolítico; ‡ estatisticamente superior ao sistema ATP-CP ($p \leq 0,05$).

Quando foram realizadas as comparações dos dados absolutos dos sistemas bioenergéticos do GEE nas diferentes ascensões, a contribuição do sistema oxidativo na rota rota fácil foi similar ao da rota moderada (p = 0,164) e inferior ao da rota difícil (p = 0,009). Além disso, não foi observada diferença estatística da contribuição desse sistema entre a rota moderada e a rota difícil (p = 0,985).

Já a contribuição absoluta do sistema ATP-CP do GEE foi semelhante nas três rotas (F = 3,009; p = 0,095). Apesar da análise de variância detectar diferenças nas contribuições da via energética glicolítica na ascensão das rotas do GEE (F = 6,146; p = 0,018), esse comportamento não foi mantido entre a rota fácil e a moderada (p = 0,228), entre a rota moderada e a difícil (p = 0,493) e entre a rota fácil e a difícil (p = 0,093) após o ajuste do nível de significância promovido pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

O gasto energético total do GEE na rota difícil foi mais elevado quando comparado à rota fácil (p = 0,019), mas sem diferença quando confrontado à rota moderada (p = 0,166). Não obstante, o gasto energético do GEE na rota moderada também foi similar ao da rota fácil (p = 0,150). Além disso, o tempo de ascensão novamente não diferiu entre as rotas fácil, moderada e difícil (F = 1,255; p = 0,326) (TABELA 22).

TABELA 22 – Estimativa das contribuições absolutas dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total do grupo de escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil (n = 6).

Variável	Fácil	Moderada	Difícil
Tempo (s)	73 ± 18	80,8 ± 14	82 ± 16
Oxidativo (kJ)	28,9 ± 5,6	39,1 ± 10,4	43,7 ± 8,1*
Glicolítico (kJ)	6,0 ± 3,4	9,9 ± 3,9	12,7 ± 4,8
ATP-CP (kJ)	27,6 ± 5,0	27,1 ± 6,3	35,1 ± 10,6
G.E. total (kJ)	62,5 ± 6,6	76,1 ± 13,1	91,5 ± 14,0*

Os valores são médias ± desvios padrão; G.E. = gasto energético total; * estatisticamente superior à rota fácil ($p \leq 0,05$).

O nível de associação entre o $\dot{V}O_{2pico}$ obtido pelo teste de potência aeróbia máxima e a contribuição absoluta do sistema oxidativo na rota fácil do GEE não foi estatisticamente significante (r = 0,147; p = 0,781), ao passo que para o GER esse nível de associação foi mais elevado (r = 0,695), mas também sem significância estatística (p = 0,083).

A P_{pico} no teste anaeróbio de Wingate dos grupos apresentou correlações

consideradas estatisticamente insignificantes com o DAO_2 da rota fácil para ambos os grupos (GEE r = 0,160, p = 0,762; GER r = 0,229, p = 0,621). Da mesma forma, a $P_{média}$ do GEE e do GER não teve associação significativa com a contribuição do sistema glicolítico nessa tarefa (r = -0,357, p = 0,487; r = 0,273, p = 0,553; respectivamente). Além disso, o nível de associação do gasto energético total do GEE e do GER com a MCT foi estatisticamente insignificante (r = -0,176, p = 0,739; r = 0,608, p = 0,148; respectivamente), do mesmo modo que o observado com o %GC (r = 0,534, p = 0,275; r = -0,242, p = 0,601; respectivamente).

Na ascensão da rota moderada, o nível de associação entre o $\dot{V}O_{2pico}$ medido no teste de potência aeróbia máxima e a contribuição absoluta do sistema oxidativo do GEE também não foi significativo (r = 0,345; p = 0,503). Da mesma forma, as correlações da $P_{média}$ com contribuição do sistema glicolítico (r = -0,198, p = 0,707) e da P_{pico} com o DAO_2 (r = 0,315, p = 0,543) foram estatisticamente insignificantes nessa tarefa. Adicionalmente, o gasto energético total teve correlação significativa com a MCT (r = 0,865; p = 0,026), diferentemente do observado com o %GC (r = 0,335; p = 0,517).

Similarmente às demais tarefas, as associações tanto do $\dot{V}O_{2pico}$ mensurado pelo teste de potência aeróbia máxima com a contribuição absoluta do sistema oxidativo (r = 0,571; p = 0,237), como da P_{pico} com o DAO_2 (r = 0,261; p = 0,617) e da $P_{média}$ com a contribuição do sistema glicolítico (r = 0,644; p = 0,168) foram insignificantes na rota difícil. Além disso, o gasto energético nessa rota também não se correlacionou significativamente com a MCT (r = 0,241; p = 0,646) ou com o %GC (r = -0,317; p = 0,540).

6 DISCUSSÃO

A seguir serão discutidos os principais resultados obtidos pela presente investigação, os quais foram agrupados em subtópicos de assuntos correlatos.

6.1 Antropometria, composição corporal e força de preensão manual

Até o presente momento, os estudos científicos internacionais que analisaram a relação dos componentes morfológicos com o desempenho na escalada esportiva

indoor, foram realizados mediante a comparação dessas variáveis entre grupos homogêneos (WATTS, MARTIN & DURTSCHI, 1993), entre grupos heterogêneos (GRANT et al., 1996) ou pela sua inclusão em modelos preditivos multivariados (MERMIER et al., 2000).

No trabalho de Watts et al. (1993) foi verificado que entre os semifinalistas e os finalistas do gênero masculino de uma etapa da Copa do Mundo de escalada esportiva *indoor*, apenas a massa livre de gordura e o nível de habilidade na escalada diferiam entre os grupos ($p < 0,05$). Na investigação de GRANT et al. (1996), também não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) da massa corporal total, da estatura, do percentual de gordura corporal, do comprimento do braço e do comprimento da perna entre o grupo de escaladores de elite, recreacional e grupo controle. Todavia, o grupo de escaladores de elite do trabalho de GRANT et al. (1996) foi composto por indivíduos com um variado nível de aptidão nesse esporte.

No presente estudo, entre as variáveis morfológicas analisadas, apenas o percentual de gordura corporal e a somatória de todas as dobras cutâneas do GER eram estatisticamente superiores ao do GEE. Por outro lado, a distribuição da gordura corporal entre esses escaladores era semelhante, já que os grupos não apresentaram diferenças significativas na somatória de dobras de tronco e na somatória de dobras dos membros inferiores ($p > 0,05$). Essas diferenças entre os grupos estão de acordo com os achados de um outro trabalho realizado previamente em nosso laboratório (BERTUZZI et al., 2001). Adicionalmente, quando foram comparados com os atletas finalistas da Copa do Mundo de Escalada Esportiva *Indoor* (WATTS, MARTIN & DURTSCHI, 1993), os escaladores de elite brasileiros eram mais jovens (GEE = 20 ± 4 anos; Finalistas = 26,6 ± 4 anos), mais baixos (GEE = 173,3 ± 4,2 cm; Finalistas = 179,3 ± 5,2 cm), porém com massa corporal total similar (GEE = 62,4 ± 3,3 kg; Finalistas = 62,4 ± 4,5 kg) e com maior percentual de gordura corporal (GEE = 8,1 ± 4,2 %; Finalistas = 4,8 ± 2,3 %).

Supostamente, a menor quantidade de gordura corporal poderia contribuir para o sucesso no esporte em questão, pois com o aumento da dificuldade das rotas existe uma tendência de se elevar a inclinação dos muros de escalada, que por sua vez poderá aumentar a sobrecarga dos principais grupos musculares em virtude da

sustentação adicional desse tecido. Todavia, a relação de causa e efeito entre a quantidade de gordura corporal e o desempenho dos escaladores deve ser contemplada com cautela, visto que o percentual de gordura corporal não teve o nível de associação significativo com as variáveis fisiológicas, sobretudo com o gasto energético total durante as respectivas ascensões do GEE e do GER. Além disso, a estatura, a massa corporal total e a envergadura eram estatisticamente semelhantes entre os grupos.

Esses resultados corroboram parcialmente as conclusões apresentadas na investigação de MERMIER et al. (2000), na qual se observou, por meio de um modelo de regressão múltipla, que o componente morfológico – que nessa ocasião foi representado pela estatura, massa corporal total, envergadura, comprimento da perna e o índice envergadura / estatura – concebia apenas 0,3 % da variação total do desempenho dos escaladores ($p = 0,585$).

Por outro lado, a MCT do GEE correlacionou-se significativamete com o gasto energético total na rota moderada. Diferentemente das demais situações, a dificuldade dessa rota era dada principalmente pela constante inclinação negativa do muro em que estava localizada. Esse resultado poderia indicar que nas rotas onde a inclinação do muro contribui para o estabelecimento da dificuldade, o gasto energético total dos escaladores de elite possui uma relação diretamente proporcional com a MCT. Dessa forma, é muito provável que diferentemente de outros esportes (NORTON & OLDS, 2001) e da crença popular difundida na comunidade montanhista, o componente morfológico, sobretudo a massa corporal total, influencia no desempenho dos escaladores somente em situações específicas das rotas de escalada.

Em relação à importância da força de preensão manual no desempenho dos escaladores, ainda não são conclusivas as informações existentes na literatura científica. FERGUNSON e BROWN (1997) não observaram diferenças significativas dos valores da FMP entre os escaladores de elite e recreacionais ($p > 0,05$). Nessa ocasião, os autores não mensuraram a MCT dos sujeitos que, de certa forma, poderia intervir em seus resultados caso essas variáveis fossem analisadas em conjunto, uma vez que durante a escalada, os músculos flexores dos dedos sustentam parte da MCT do praticante.

Em virtude dessa possível relação casual entre a MCT e a FMP, alguns trabalhos têm analisado o comportamento da FMP de forma relativa à MCT (GRANT et al., 1996, 2001). De qualquer maneira, os resultados presentes na TABELA 14 demonstram que, independentemente da forma de análise, a força máxima de preensão manual dos escaladores de elite é maior que a dos escaladores recreacionais. No estudo anteriormente citado de Watts et al. (1993), foi demonstrado que os atletas de elite possuíam elevados valores de FMP_{rel} quando comparados com valores populacionais. Porém os resultados não diferiam entre os semifinalistas e finalistas do gênero masculino. Semelhantemente aos resultados da presente investigação, GRANT et al. (1996) demonstraram que os escaladores de elite possuíam valores superiores da FMP_{rel} quando comparados com os escaladores recreacionais e o grupo controle. E ainda, foi demonstrado em um outro estudo realizado em nosso laboratório (BERTUZZI, FRANCHINI & KISS, no prelo - a), que além de produzir elevados valores de preensão manual, os escaladores de elite também têm a capacidade de gerar continuamente elevadas tensões com os músculos flexores dos dedos durante contrações consecutivas.

Em suma, quando são realizadas as comparações entre escaladores com distintos níveis de desempenho, apenas as variáveis morfológicas que indicam o acúmulo da gordura corporal (%GC e somatória de todas as dobras) e a força máxima de preensão manual são estatisticamente diferentes entre os grupos. Contudo, as variáveis que indicam o acúmulo de gordura corporal não se associaram significativamente com as principais variáveis fisiológicas que se diferenciaram entre o GEE e o GER. A MCT possui uma relação diretamente proporcional com o gasto energético total somente na situação em que o aumento da inclinação muro contribuiu para o estabelecimento da dificuldade das rotas.

6.2 Potência aeróbia máxima, potência e capacidade anaeróbia de membros superiores

A maior parte dos trabalhos científicos mensuraram a potência aeróbia máxima dos escaladores por meio de cicloergômetro (SHEEL et al., 2003) ou esteira rolante (BILLAT et al., 1995). Esses ergômetros teriam a principal limitação de não recrutarem preferencialmente os membros superiores (WATTS, 2004), deixando de

atender ao princípio da especificidade. Além disso, até o presente momento nenhum desses estudos verificou o comportamento das variáveis associadas à potência aeróbia máxima em indivíduos com diferentes níveis de aptidão na escalada esportiva.

Na presente investigação, os escaladores de elite e recreacionais foram avaliados mediante um protocolo incremental contínuo realizado em um cicloergômetro adaptado para membros superiores (TABELA 15). Diferentemente de outros esportes em que o componente fisiológico tem grande participação no desempenho, sobretudo a corrida (NOAKES, 1988), a maior potência externa gerada no teste ergoespirométrico de membros superiores não foi capaz de distinguir o grupo com maior aptidão na escalada daquele com menor aptidão. De certa forma, esses resultados indicam que o pico de velocidade em esteira, sugerido por NOAKES (1988), não tem a mesma capacidade de discriminar grupos distintos quando o teste é realizado com os membros superiores e/ou quando os atletas avaliados são oriundos de modalidades esportivas em que, além do fator fisiológico, os componentes tático e técnico também são relevantes para o desempenho.

Da mesma maneira, o $\dot{V}O_{2pico}$ (ou o consumo máximo de oxigênio), que tem sido amplamente associado ao sucesso de provas que possuem o predomínio aeróbio (BASSET & HOWLEY, 1997), também foi incapaz de discriminar os sujeitos com diferentes níveis de aptidão no esporte em análise. Adicionalmente, a FC_{pico} que poderia indiretamente sugerir a origem dos eventos fisiológicos que limitariam o máximo do consumo de oxigênio nessa tarefa, também foi estatisticamente semelhante entre o GEE e o GER. Dessa forma, são necessárias mais investigações para se compreender a incapacidade do teste de membros superiores em discriminar sujeitos com diferentes níveis de aptidão e os fatores fisiológicos que limitam o desempenho nesse teste.

Entre as variáveis mensuradas pelo teste anaeróbio de Wingate, apenas a P_{pico} de membros superiores relativa à massa corporal total do GEE foi estatisticamente superior a do GER ($p \leq 0,05$). A P_{pico} relativa do GEE também era aparentemente mais elevada que a reportada na pesquisa de MERMIER et al. (2000) (6,80 ± 0,85 $W \cdot kg^{-1}$), a qual teve em sua amostra um grupo de escaladores com ampla variação de desempenho na escalada (entre 5a e 10b). Adicionalmente, a P_{pico} relativa do

GEE era semelhante à de um outro trabalho que avaliou atletas que praticavam modalidades esportivas com grande solicitação do metabolismo anaeróbio dos membros superiores (HORSWILL et al., 1992). Por outro lado, a potência média relativa à MCT dos atletas do estudo de HORSWILL et al. (1992) era visualmente mais elevada (6,8 ± 0,9 $W \cdot kg^{-1}$) que a do GEE.

Esses resultados poderiam revelar a importância do sistema ATP-CP na prática da escalada esportiva *indoor*. Além das rotas de escalada não possuírem a mesma intensidade nos movimentos que são realizados na sua extensão, os escaladores costumam adotar a estratégia de realizar breves pausas nas agarras que antecedem a passagem dos pontos mais difíceis das rotas, denominados de *crux*. Pode ser que nesses instantes de pausa esteja ocorrendo a ressíntese parcial da CP dos principais grupos musculares utilizados nessas tarefas. Logo, a superioridade da P_{pico} de membros superiores poderia favorecer os escaladores de elite em rotas que possuem os *crux* de elevadas intensidades.

Dessa forma, esses achados possibilitam sugerir que entre as vias anaeróbias, o sistema ATP-CP é o mais relevante para o sucesso na escalada esportiva *indoor* (BERTUZZI, FRANCHINI & KISS, 2004). E ainda, apesar do metabolismo aeróbio contribuir substancialmente para o processo de transferência de energia na escalada (como discutido a seguir), as variáveis indicativas da potência aeróbia máxima de membros superiores têm baixa capacidade de discriminar grupos com diferentes níveis de desempenho na escalada.

6.3 Respostas das variáveis fisiológicas nas rotas de escalada esportiva *indoor*

A similaridade estatística observada entre as [La] de repouso dos grupos ($p > 0,05$) indicam que apesar das intensidades dos aquecimentos adotados antes das ascensões não terem sido padronizadas, não houve diferenças significativas desse metabólito entre o GEE e o GER.

Além do $\dot{V}O_{2pico}$ mensurado na ascensão da rota fácil ter sido estatisticamente similar entre os grupos, os valores do $\dot{V}O_{2pico}$ observados durante a ascensão da rota fácil do GEE e do GER representaram, respectivamente, ≅ 100 % e 101 % do $\dot{V}O_{2pico}$ obtido no teste de potência aeróbia máxima. Adicionalmente, o $\dot{V}O_{2pico}$ de ambos os

grupos foi substancialmente mais elevado que os reportados em estudos científicos que mediram essa variável durante a escalada (BILLAT et al., 1995; BOOTH et al., 1999; MERMIER et al., 1997; SHEEL et al., 2003).

Caso tivesse sido adotada exclusivamente a estratégia empregada em outros estudos em que se verificou o percentual do $\dot{V}O_{2pico}$ do teste laboratorial que era solicitado nas rotas (BILLAT et al., 1995; BOOTH et al., 1999; SHEEL et al., 2003), concluir-se-ia num primeiro momento, que o metabolismo oxidativo é o principal responsável pela transferência de energia na escalada e que a sua contribuição absoluta é independente do nível de aptidão nesse esporte. Contudo, são necessárias algumas considerações importantes sobre essa metodologia. Primeiro, o elevado percentual do $\dot{V}O_{2pico}$ do teste laboratorial solicitado na rota fácil pode ser um mero produto da menor massa muscular envolvida na primeira tarefa quando comparada à segunda (ÅSTRAND & RODAHL, 1970). Segundo, o $\dot{V}O_{2pico}$ mensurado nas rotas representa o máximo de oxigênio captado nos instantes finais de uma determinada tarefa, sem necessariamente contabilizar a contribuição total do sistema oxidativo. Logo, esses aspectos elucidados podem ter influenciado nos resultados dos estudos supracitados que investigaram o perfil metabólico durante a escalada esportiva.

Diferentemente do $\dot{V}O_{2pico}$, os valores da FC_{pico} e dos Δ[La] de pico do GER foram estatisticamente superiores aos do GEE. Classicamente, o monitoramento da freqüência cardíaca é utilizado na estimativa do consumo de oxigênio e no controle e prescrição de exercícios físicos (KARVONEN & VUORIMAA, 1988). Quando comparados com os seus congêneres sedentários, os atletas praticantes de esportes de longa duração tendem a apresentarem menores valores da freqüência cardíaca em exercícios submáximos nas mesmas cargas absolutas. Provavelmente, essa diferença ocorre porque, além do controle autônomo oriundo do sistema nervoso central (ACTHEN & JEUKENDRUP, 2003), o treinamento físico também é capaz de alterar o controle intrínseco da freqüência cardíaca (NEGRÃO, MOREIRA, SANTOS, FARAH & KRIEGER, 1992). No entanto, especificamente na escalada esportiva, é possível que além desses fatores, durante a ascensão da rota fácil, o GER tenha permanecido por mais tempo com os principais grupos musculares em contração isométrica que o GEE, pois esse fenômeno é comumente associado, na escalada,

com a elevação da freqüência cardíaca (MERMIER et al., 1997). Não obstante, essa possível elevação no tempo de contração isométrica dos membros superiores, também poderia contribuir para a superioridade do Δ[La] de pico do GER quando comparado ao GER, pois que essa relação causal já foi descrita anteriormente (BILLAT et al., 1995).

Por outro lado, ao se analisar os resultados presentes na TABELA 18, pode-se observar que o comportamento do $\dot{V}O_{2pico}$ do GEE não acompanhou o da freqüência cardíaca durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil. BILLAT et al. (1995) verificaram que, durante as ascensões de rotas *indoor*, os sujeitos permaneciam cerca de um terço do tempo total com os membros superiores em contração isométrica. Além disso, MERMIER et al. (1997) descreveram que os escaladores comumente permaneciam com os braços acima do nível do coração durante uma boa parte do tempo de escalada. É provável que em virtude da elevação da dificuldade das rotas, esses fatores tenham influenciado de forma combinada para o aumento desproporcional da freqüência cardíaca em relação ao consumo de oxigênio. Entretanto, essa suposição deve ser vista com cautela, pois os tempos de ação isométrica e da elevação dos membros superiores não foram mensurados no presente estudo.

Adicionalmente, quando comparado com os dados do estudo de MERMIER et al. (1997), tanto os valores da FC_{pico} como os do $\dot{V}O_{2pico}$ do GEE foram substancialmente mais elevados nas três rotas, ao passo que os valores do Δ[La] de pico foram aparentemente semelhantes. Uma possível explicação para esse comportamento é a diferença no nível de dificuldade das rotas adotadas, pois no trabalho de MERMIER et al. (1997) elas eram sensivelmente mais fáceis (4a, 5c e 7a) que as escolhidas para a presente investigação (6c, 7c e 8c). Todavia, o nível de aptidão dos indivíduos do estudo de MERMIER et al. (1997) não foi reportado, o que impossibilita a discussão sobre a influência dessa variável nos resultados expostos.

Em suma, assim como em outro estudo (MERMIER et al., 1997), a freqüência cardíaca de pico não tem o comportamento linear com o consumo de oxigênio de pico em resposta ao aumento da dificuldade das rotas. Logo, independentemente dos fatores que levam a essa resposta não linear, esses resultados indicam que a

utilização da freqüência cardíaca pode ser uma forma ineficaz de controle da intensidade, assim como para a estimativa da demanda fisiológica nesse esporte.

6.4 Variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio após as ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*

Semelhantemente ao observado em cicloergômetro (ÖZYENER et al., 2001), a resposta cinética do consumo de oxigênio após a maioria das ascensões foi mais bem representada pelo ajuste monoexpoenencial. E ainda, com exceção do valor da estabilização do processo exponencial, as demais variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio do GER foram estatisticamente similares ao do GEE ($p > 0,05$). Portanto, o tempo de duração do débito alático de oxigênio também não diferiu entre os grupos (TABELA 19).

Sabendo-se que a potência aeróbia máxima está intimamente relacionada à velocidade de ressíntese da CP após o exercício físico (YOSHIDA & WATARI, 1993b), é plausível que os grupos tivessem valores similares da constante de tempo do consumo de oxigênio após a tarefa em questão, pois ambos os grupos também apresentaram similaridade estatística das variáveis indicativas da potência aeróbia máxima. De qualquer forma, as constantes de tempo do consumo de oxigênio do GEE e do GER foram semelhantes às da ressíntese da CP, conforme reportado na literatura científica. Por exemplo, no estudo de ROSSITER et al. (2002) foi verificado, em seis sujeitos saudáveis, que após a realização de uma tarefa de baixa intensidade (42 ± 19,2 W), a constante de tempo da ressíntese da CP era de 51 ± 13,1 s. Adicionalmente, a constante de tempo da resposta *off* do consumo de oxigênio nesse estudo também foi aparentemente similar ao observado na rota fácil (50 ± 12 s). Esses resultados indicam indiretamente a existência da similaridade temporal entre o consumo de oxigênio e a ressíntese da CP após a escalada esportiva *indoor*. Além disso, como os valores do tempo de atraso foram próximos de zero, é provável que diferentemente da reposta *on* nos diversos domínios de intensidade (PATERSON & WHIPP, 1991) e da resposta *off* em exercício de alta intensidade (di PRAMPERO, PEETERS & MARGARIA, 1973), o processo exponencial do $\dot{V}O_2$ após a escalada inicia-se imediatamente ao término da tarefa.

Ao se presumir que o valor de estabilização do processo exponencial seria um indicativo indireto da magnitude do excesso do consumo de oxigênio após o exercício físico (EPOC), pode ser que diferentemente do exercício realizado em cicloergômetro (SHORT & SEDLOCK, 1997), o comportamento do EPOC oriundo das rotas de escalada esportiva *indoor* é dependente principalmente do nível de aptidão no esporte em questão. Na investigação supracitada de SHORT e SEDLOCK (1997) foi detectado que, independentemente da forma utilizada para se estabelecer a intensidade do esforço (absoluta ou relativa), os indivíduos que possuíam maior condição aeróbia tinham a menor magnitude e a menor duração do excesso do consumo de oxigênio que os sujeitos de menor aptidão aeróbia. Nessa ocasião, os autores sugeriram que a variável aeróbia influencia na eficácia do ajuste do gasto energético durante a recuperação. Porém, apesar dos grupos possuírem valores estatisticamente similares das variáveis representativas da potência aeróbia máxima de membros superiores, o GEE teve o valor de estabilização do processo exponencial menor que o GER. Entretanto, por causa da grande quantidade de variáveis que podem intervir nesse fenômeno (GAESSER & BROOKS, 1984), há necessidade de mais estudos para que se possa compreender a causa da possível superioridade do EPOC dos escaladores recreacionais quando comparados aos escaladores de elite.

Com exceção do valor de estabilização do processo exponencial na rota moderada, as demais variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio também não diferiram entre as ascensões da rota fácil, moderada e difícil do GEE (TABELA 20). Comumente, a constante de tempo do processo exponencial representativo do consumo de oxigênio durante a recuperação tem sido reportada na literatura científica como menos sensível à intensidade do esforço que a resposta *on*. No estudo PATERSON e WHIPP (1991) foi verificado que a constante de tempo da resposta *off* foi estatisticamente semelhante entre o exercício de baixa e de alta intensidade. De certa forma, a similaridade estatística observada nas variáveis cinéticas pode ter ocorrido pelo fato das rotas não promoverem mudanças significativas do pH intramuscular. Em situações onde ocorre a diminuição do pH celular, as variáveis cinéticas da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ se tornam mais lentas, provavelmente em decorrência da diminuição da atividade enzimática do sistema

oxidativo (McCREARY et al., 1996).

Além disso, os valores das constantes de tempo da resposta *off* nas ascensões das rotas moderada e difícil também coincidem com as constantes de tempo do consumo de oxigênio (51 ± 6,3 s) e da ressíntese da CP (47 ± 10,6 s) após o exercício intenso de flexão e extensão de joelho (ROSSITER et al., 2002). Novamente, parece que a resposta cinética do consumo de oxigênio após a escalada das rotas moderada e difícil são temporalmente semelhantes ao tempo de ressíntese da CP em exercícios com intensidades mais elevadas.

Em relação aos valores da estabilização do consumo de oxigênio do GEE após as diferentes tarefas, eles foram estatisticamente superiores somente na rota moderada quando comparada à rota fácil. Apesar de existirem evidências indicando que o EPOC possui uma relação curvilínea com a intensidade do esforço (BAHR & SEJERSTED, 1991), esse comportamento não se manteve entre as ascensões. Isso pode ter ocorrido por causa da intensidade das rotas de escalada ser classificada por meio de uma escala ordinal ou pela elevação do desvio padrão dessa variável na rota difícil. E ainda, como os tempos de atraso das rotas moderada e difícil também foram próximos de zero, parece que, independentemente da intensidade das rotas o processo exponencial da resposta *off* do $\dot{V}O_2$ inicia-se imediatamente após o término das ascensões.

Em resumo, com exceção do valor de estabilização, as demais variáveis cinéticas que representam a resposta *off* do $\dot{V}O_2$ em rotas com intensidades submáximas, não são dependentes da dificuldade das ascensões ou do nível de aptidão dos escaladores.

6.5 Estimativa da contribuição dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total nas ascensões das rotas de escalada esportiva *indoor*

Na maioria dos estudos que objetivaram estimar as contribuições dos sistemas bioenergéticos durante a escalada esportiva, isso foi realizado mediante a comparação entre os valores do $\dot{V}O_{2pico}$ mensurados em tarefas laboratoriais e os dados obtidos durante as ascensões de rotas com diferentes níveis de dificuldade (BILLAT et al., 1995; BOOTH et al., 1999; SHEEL et al., 2003). Apesar desses estudos apresentarem contribuições relevantes para a compreensão do perfil

metabólico nesse esporte, a metodologia adotada por eles não atende plenamente ao princípio da especificidade, e como anteriormente descrito, eles consideraram a mensuração do sistema oxidativo apenas nos instantes finais dessas tarefas, que nesses casos, foi representado pelo $\dot{V}O_{2pico}$. Além disso, essas investigações não levaram em conta que o esporte em análise tem, na sua estrutura, períodos de esforços e pausas não sistematizados, característicos das modalidades intermitentes, pois comumente os escaladores escolhem as melhores agarras das rotas para fazerem breves pausas, alternando o uso do membro superior que os mantém à parede. Uma outra observação relevante sobre esses estudos é que até o presente momento, nenhum deles tentou estimar a contribuição das vias anaeróbias de transferência de energia durante a prática da escalada esportiva *indoor*.

Com base nos resultados apresentados na FIGURA 11 pode-se afirmar que, independentemente do nível de aptidão na escalada, os sistemas bioenergéticos solicitados preferencialmente na ascensão da rota fácil foram o oxidativo e o ATP-CP. Durante as ascensões, possivelmente a elevação da contribuição do sistema oxidativo tem por objetivo atender a demanda metabólica imposta por essa tarefa (SPRIET, 1995) e auxiliar na ressíntese parcial da CP durante os breves períodos de pausa realizados pelos escaladores (McMAHON & JENKINS, 2002). Outrora, a relação entre esses dois sistemas bioenergéticos foi apresentada nos estudos clássicos de MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933) e de PIIPER e SPIILER (1974). Pesquisas mais recentes corroboram essa interdependência, porém existem evidências indicando que a ressíntese da CP nos períodos de intervalo pode ser subordinada tanto à capacidade (BOGDANIS et al., 1996) como à potência aeróbia (YOSHIDA & WATARI, 1993b).

Contudo, apesar dos grupos solicitarem similarmente valores percentuais das contribuições dos sistemas bioenergéticos na ascensão da rota fácil, as estimativas absolutas dessas contribuições e, conseqüentemente, do gasto energético total do GEE foram estatisticamente inferiores ao do GER nessa tarefa. No entanto, as estimativas absolutas dos sistemas bioenergéticos não se correlacionaram significativamente com as variáveis morfológicas e funcionais mensuradas por meio dos testes laboratoriais.

Em corredores de fundo altamente treinados, que possuem valores similares

do $\dot{V}O_{2pico}$ (ou do consumo máximo de oxigênio), a menor demanda energética para uma determinada velocidade submáxima (também denominada de economia de corrida) é mais efetiva na predição do desempenho que o próprio consumo máximo de oxigênio (SAUNDERS, PYNE, TELFORD & HAWLEY, 2004). Como anteriormente descrito, no presente estudo os grupos não diferiram em relação à maioria das variáveis fisiológicas mensuradas em laboratório e essas variáveis não se correlacionaram com as contribuições das vias energéticas. Além disso, o GEE teve o gasto energético total inferior ao do GER. Esse conjunto de dados pode indicar que, semelhante o que ocorre na corrida (SAUNDERS et al., 2004), a menor demanda energética na escalada esportiva *indoor* está mais relacionada ao desempenho do que o próprio aprimoramento dos sistemas bioenergéticos.

SAUNDERS et al. (2004) descreveram ainda que em corredores altamente treinados, a economia de corrida pode ser influenciada pelo tipo de treinamento, pelas condições ambientais dos locais onde esses atletas treinam, pelas variáveis antropométricas, por fatores biomecânicos e fisiológicos. Apesar de não ter sido investigado detalhadamente no presente estudo, os escaladores que compuseram o GEE e o GER freqüentemente treinavam nos mesmos locais e utilizando-se de exercícios similares. As principais diferenças em relação à estrutura do treinamento dos dois grupos provavelmente estavam na freqüência semanal, na intensidade e na ordem de execução dos exercícios. Além disso, nenhum dos sujeitos realizava algum tipo de treinamento físico sistematizado que não fosse desenvolvido no próprio muro de escalada.

Dessa forma, esses fatores poderiam sugerir indiretamente que os aspectos relacionados ao controle do movimento humano, ou biomecânicos, são os principais responsáveis pelas diferenças metabólicas apontadas. Durante a fase estática da escalada esportiva, os membros superiores são utilizados prioritariamente na estabilização da postura, ao passo que os membros inferiores sustentam principalmente a massa corporal total dos indivíduos (BOURDIN, TEASDALE & NOUGIER, 1998).

Ao utilizar a análise cinemática do movimento em um protótipo de muro de escalada que permitia a mensuração das forças aplicadas nas agarras por meio de transdutores conectados ao computador, QUAINE, MARTIN e BLANCHI (1997a)

demonstraram que, ao se mudar de uma posição com quatro apoios para uma outra com três apoios, um grupo de escaladores experientes (n = 6) teve a força de contato nas agarras 1,4 vezes menor durante uma posição denominada otimizada quando comparada a uma posição imposta. A principal diferença entre essas duas posições era que, na posição otimizada, os escaladores permaneciam mais próximos do muro de escalada (ombros = 236 ± 29 mm; pélvis = 257 ± 60 mm) do que na imposta (ombros 325 ± 32; pélvis = 374 ± 18 mm). Além disso, foi observado que esses sujeitos reorganizaram as forças aplicadas nas agarras remanescentes, com pouca ou nenhuma mudança na postura. Segundo esses autores, isso possivelmente ocorreu em virtude da facilidade da tarefa requerida, pois poderia haver uma alteração significativa no deslocamento do centro de gravidade desses escaladores no intuito de reorganizar o distúrbio promovido na postura, caso a posição fosse extremamente difícil.

De fato, ao adaptar a metodologia anteriormente descrita utilizando agarras menores para os pés, QUAINE, MARTIN e BLANCHI (1997b) comprovaram, em um grupo de escaladores altamente treinados (n = 6), que esses sujeitos deslocavam o centro de gravidade antes da liberação de um membro na posição estável com quatro apoios, a fim de suportar a nova configuração da postura correspondente com três apoios. Também foi demonstrado no estudo de QUAINE, MARTIN e BLANCHI (1997b) que as mudanças nas forças estavam notadamente relacionadas com o momento preparatório para a mudança na postura. Por causa disso, pode ser que quando comparado ao GER, o GEE teve a capacidade de adotar uma posição semelhante à otimizada ou com tempos diferenciados no momento preparatório para mudança da postura durante a ascensão da rota fácil. Portanto, o fato de se ter estabelecido a dificuldade da rota de forma absoluta pode ter levado o GEE a uma menor solicitação dos sistemas bioenergéticos em virtude das diferentes formas de controle do movimento durante essa tarefa, que conseqüentemente resultou no menor gasto energético total quando comparado ao GER. Contudo, essa relação causal deve ser apreciada com cautela, visto que na presente investigação não houve a mensuração dessas variáveis biomecânicas.

Durante as demais tarefas do GEE, houve a superioridade da contribuição percentual do sistema oxidativo sobre os sistemas ATP-CP e o glicolítico (FIGURA

12) em relação à rota moderada. Considerando-se que houve a elevação da dificuldade das rotas de escalada sem ter ocorrido o aumento dos seus respectivos tempos de duração, é plausível que a demanda metabólica imposta pela intensidade dessa tarefa associada a influência da MCT, era suficientemente atendida por um sistema energético com menor potência.

Contudo, na rota difícil a contribuição percentual das vias energéticas oxidativa e ATP-CP se igualaram, e ambas foram superiores ao da via glicolítica. Ao se considerar que a modalidade esportiva em questão é intermitente, pode ser que os períodos de esforços da rota difícil eram mais intensos e os de pausa mais longos que os da rota moderada, solicitando assim a suplementação energética de uma via metabólica que possuí a potência mais elevada sem necessariamente ter a diminuição percentual do sistema oxidativo.

Em relação às contribuições absolutas, o sistema oxidativo foi superior somente na rota difícil quando comparada à rota fácil, ao passo que o sistema ATP-CP e glicolítico foram estatisticamente similares em todas as tarefas. Similarmente ao sistema oxidativo, o gasto energético total foi mais elevado somente na rota difícil quando comparada à fácil (TABELA 22). Isso poderia indicar que diferentemente das modalidades cíclicas (SPENCER & GASTIN, 2001), tanto o perfil metabólico como o gasto energético total dos escaladores, não possuem uma relação linear com o aumento da dificuldade nesse esporte. Porém é preciso considerar que a classificação das rotas segue uma escala ordinal e não uma escala contínua, o que pode indicar que o aumento da dificuldade de uma rota para outra não é linear (BERTUZZI, FRANCHINI & KISS, no prelo – b).

Novamente, as participações absolutas dos sistemas bioenergéticos e o gasto energético total na rota difícil não se correlacionaram significativamente com as variáveis fisiológicas mensuradas pelos testes laboratoriais ou com as variáveis antropométicas. Logo, as respostas fisiológicas observadas na escalada podem estar mais uma vez associadas ao controle do movimento humano durante a prática desse esporte. BOURDIN, TEASDALE e NOUGIER (1998) verificaram, por análise cinemática, que ao se utilizar agarras pequenas para as mãos, um grupo de escaladores experientes (n = 7) teve o tempo de reação estatisticamente superior antes de se iniciar um movimento similar ao realizado na escalada (581 ms) quando

comparado à mesma situação com agarra maiores (553 ms) ($p < 0,05$). Portanto, pode ser que por causa da rota difícil ter uma quantidade superior de agarras pequenas quando comparada à rota fácil, o GEE teve o aumento do tempo destinado à fase inicial da programação, necessário para identificar a direção e a amplitude dos movimentos que compunham essa rota (BOURDIN, TEASDALE & NOUGIER, 1998). Isso presumivelmente elevaria o tempo de contração isométrica na escalada, que por sua vez é considerado como um dos principais fatores para os ajustes fisiológicos nesse esporte (BILLAT et al., 1995).

Em suma, os principais sistemas bioenergéticos solicitados durante a escalada esportiva *indoor* são o oxidativo e o ATP-CP. Todavia, a solicitação desses sistemas não está estatisticamente correlacionada com o nível de condicionamento aeróbio e anaeróbio dos escaladores, assim como o gasto energético total nem sempre está associado às variáveis antropométricas.

7 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados e nas limitações da presente investigação, pôde-se concluir que:

(a) independentemente do nível de aptidão dos indivíduos, os sistemas oxidativo e ATP-CP são os prioritários na transferência de energia durante a ascensão de uma rota fácil na escalada *indoor*;

(b) o perfil metabólico e o gasto energético total não apresentam relação linear com o incremento da dificuldade das ascensões, o que dificulta a prescrição da intensidade do treinamento baseando-se apenas no sistema de graduação das rotas de escalada;

(c) o menor gasto energético total na ascensão de rotas está mais relacionado ao desempenho dos escaladores do que o aprimoramento dos sistemas bioenergéticos;

(d) a relação usualmente estabelecida em outros esportes entre a freqüência cardíaca e o consumo de oxigênio não é similar na escalada, o que inviabiliza a utilização da freqüência cardíaca no monitoramento da intensidade do esforço ou na estimativa da demanda metabólica nessas tarefas;

(e) o $\dot{V}O_2$ durante a recuperação na escalada esportiva tem o comportamento

monoexponencial independentemente da dificuldade das rotas ou do nível de aptidão dos escaladores,

(f) é provável que independentemente da forma de análise (absoluta ou relativa à massa corporal total), a força máxima de preensão manual constitui-se numa variável importante para o sucesso nesse esporte;

(g) dentre os componentes morfológicos estudados, somente o percentual de gordura corporal e a somatória de dobras cutâneas são diferentes entre os grupos. Todavia, essas variáveis devem ter participação secundária no desempenho dos escaladores, visto que somente a massa corporal se correlaciou significativamente com o gasto energético total apenas quando houve alteração na inclinação do muro de escalada.

Sugere-se que em novas pesquisas sejam investigadas as possíveis relações entre as variáveis indicativas do controle da postura durante a escalada e o gasto energético total na ascensão de rotas estruturadas em diferentes ângulos de inclinação, tendo as intensidades estabelecidas de forma relativa e absoluta ao desempenho dos indivíduos.

REFERÊNCIAS

ACHTEN, J.; JEUKENDRUP, A.E. Heart rate monitoring: applications and limitations. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, n.7, p. 517-537, 2003.

ARNOLD, D.L.; MATTHEWS, P.M.; RADDA, G.K. Metabolic recovery after exercise and the assessment of mitochondrial function *in vivo* in human skeletal muscle by means of ^{31}P NMR. **Magnetic Resonance in Medicine**, Duluth, v.1, p.307-315, 1984.

ÅSTRAND, P.O.; RODAHL, K. **Textbook of work physiology**. New York: McGraw-Hill, 1970.

BAHR, R.; INGNES, I.; VAAGE, O.; SEJERSTED, O.M.; NEWSHOLME, E.A. Effect of duration of exercise on excess postexercise O_2 consumption. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.62, n.2, p. 485-490, 1987.

BAHR, R.; SEJERSTED, O.M.; Effect of intensity of exercise on excess postexercise O_2 consumption. **Metabolism**, Philadelphia, v.40, n.8, p.836-841, 1991.

BALLOR, D.L.; BECQUE, M.D.; KATCH, V.L. Metabolic responses during hydraulic resistive simulated climbing. **Research Quarterly for Exercise and Sport,** Washington, v.59, n.2, p.165–168, 1988.

BANGSBO, J. Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.30, n.1, p.47-52, 1998.

BAR-OR, O. The Wingate anaerobic test: an update on methodology, reliability and validity. **Sports Medicine**, Auckland, v.4, p.381-394, 1987.

BARSTOW, T.J.; MOLÉ, P.A. Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.7, n.6, p.2099-2106, 1991.

BASSET, D.R. Correcting the Wingate test for chances in kinetics energy of the ergometer flywheel. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 10, p.446-449, 1989.

BASSET, D.R.; HOWLEY, E.T. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.29, n.5, p. 591–603, 1997.

_____. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.32, n.1, p.70-84, 2000.

BEARDEN, S.E.; MOFFATT, R.J. $\dot{V}O_2$ kinetics and the O_2 deficit in heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.88, n.4, p.1407-1412, 2000.

BENEKE, R.; BEYER, T.; JACHNER, C.; ERASMUS, J; HÜTLER, M. Energetics of karate kumite. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, 2004. [Epub ahead of print].

BENEKE, R.; POLLMANN, C.; BLEIF, I.; LEITHÄUSER, R.M.; HÜTLER, M. How anaerobic is the Wingate anaerobic test for humans? **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.87, n.4-5, p.388-392, 2002.

BERGH, U.; EKBLOM, B.; ASTRAND, P.O. Maximal oxygen uptake "classical" versus "contemporary" viewpoints. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.32, n.1, p.85-88, 2000.

BERTUZZI, R.C.M.; FRANCHINI, E.; KISS, M.A.P.D. Análise temporal de uma rota de competição na escalada esportiva *indoor*: implicações práticas. In: Simpósio Internacional de Ciências do Esporte, 25., 2002, São Paulo. **Anais...** São Caetano do Sul: [s.n.], 2002. p.138.

_____. Upper body anaerobic performance and handgrip strength in the elite and recreational indoor rock climbing. In: ANNUAL CONGRESS EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE, 9., 2004, Clermont Ferrand. **Annals...** European College of Sport Science, 2004. p. 222.

_____. Análise da força e da resistência de preensão manual e as suas relações com variáveis antropométricas em escaladores esportivos. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, no prelo - a.

_____. Ajustes agudos da freqüência cardíaca e da preensão manual na prática da escalada esportiva *indoor*. **Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte**, Barueri, no prelo – b.

BERTUZZI, R.C.M.; GAGLIARDI, J.F.L.; FRANCHINI, E.; KISS, M.A.P.D; Características antropométricas e desempenho motor de escaladores esportivos brasileiros de elite e intermediários que praticam predominantemente a modalidade *indoor*. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento,** Brasília, v.9, n.1, p. 7-12, 2001.

BILLAT, L.V. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and control of training. Recommendations for long-distance running. **Sports Medicine**, Auckland, v.22, n.3, p.157-175, 1996.

BILLAT, L.V.; PALLEJA, P.; CHARLAIX, T.; RIZZARD, P.; JANEL, N. Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness,** Turin, v.35, n.1, p. 20-24, 1995.

BOGDANIS, G.C.; NEVILL, M.E.; BOOBIS, L.H.; LAKOMY, H.K.A. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.80, n.3, p.876-884, 1996.

BOOTH, J.; MARINO, F.; HILL, C.; GWINN, T. Energy cost of sport rock climbing in elite performers. **British of Journal Sports Medicine,** London, v.33, n.1, p.14-18, 1999.

BØRSHEIM, E.; KNARDDAHL, S.; HØSTAMARK, A.T.; BAHR, R. Adrenergic control of post-exercise metabolism. **Acta Physiological Scandinavia**, Stockholm, v.162, n.3, p.313-323, 1998.

BOURDIN, C.; TEASDALE, N.; NOUGIER, V. Attentional demands and the organization of reaching movements in rock climbing. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.69, n.4, p.406-410, 1998.

BRAHLER, C.J.; BLANK, S.E. VersaClimbing elicits higher VO_2max than does treadmill running or rowing ergometry. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.27, n.2, p.249-254, 1995.

BROOKS, G.A. The lactate shuttle during exercise and recovery. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.18, n.3, p.360-368, 1986.

_____. Lactate doesn't necessarily cause fatigue. Why are we surprised? **The Journal of Physiology**, Cambridge, v.536, p.1, 2001.

BUNTING, C.J.; LITTLE, M.J.; TOLSON, H.; JESSUP, G. Physical fitness and eustress in the adventure activities of rock climbing and rapelling. **Journal of Sports Medicine,** Columbus, v.26, n.1, p.11-20, 1986.

CARTER, H.; JONES, A.M.; BARSTOW, T.J.; BURNLEY, M.; WILLIANS, C.A.; DOUST, J.H. Oxygen uptake kinetics in treadmill running an cycle ergometry: a comparison. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 89, n.3, p. 899-907, 2000.

CERRETELLI, P.; PENDERGAST, D.; PAGANELLI, W.C; RENNIE, D.W. Effects of specific muscle training on VO_2 on-response and early blood lactate. **Journal of Applied Physiology: Respiration Environment Exercise Physiology**, Washington, v.47, n.4, p.761-769, 1979.

CRAIG, N.P.; PYKE, F.S.; NORTON, K.I. Specificity of test duration when assessing the anaerobic lactacid capacity of high-performance track cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.10, n.4, p.237-242, 1989.

DAVIS, C.M. **A comparison of training methods for enhancing climbing performance**. 2004. Thesis (Master of Science in Exercise Physiology) – Montana State University, Bozemam.

DAY, J.H.; ROSSITER, HB.; COATS, E.M.; SKASICK, A.; WHIPP, B.J. The maximally attainable VO_2 during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.95, n.5, p.1901-1907, 2003.

DELP, M.D.; LAUGHLIN, M.H. Regulation of skeletal muscle perfusion during exercise. **Acta Physiological Scandinavia**, Stockholm, v.162, n.3, p.411-419, 1998.

DIAMOND, L.B.; CASABURI, R.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B.J. Kinetics of gas exchange and ventilation in transitions rest or prior exercise. **Journal of Applied Physiology: Respiration Environment Exercise Physiology**, Washington, v.43, n.4, p.704-708, 1977.

di PRAMPERO. P.E. Energetics of muscular exercise. **Review Physiology, Biochemistry and Pharmacology**, London, v.89, p.143-222, 1981.

di PRAMPERO, P.E.; FERRETTI, G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. **Respiration Physiology**, Amsterdam, v.1, n.118, p.10-115, 1999.

di PRAMPERO, P.E.; MAHLER, P.B.; GIEZENDANNER, D.; CERRETELLI, P. Effects of priming exercise on VO_2 kinetics and O_2 deficit at the onset of stepping and cycling. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.66, n.5, p.2023-2031, 1989.

di PRAMPERO, P.E.; PEETERS, I.; MARGARIA, R. Alactic O_2 debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.34, n.5, p.628-632, 1973.

ENGELEN, M.; PORSZASZ, J.; RILEY, M.; WASSERMAN, K.; MAEHARA, K.; BARSTOW, T. Effects of hypoxic hypoxia on O_2 uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.81, n.6, p.2500-2508, 1996.

FAVERO, T.G. Sarcoplasmic reticulum Ca^+ release and muscle fatigue**. Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.87, n.2, p.471–483, 1999.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Oxygen uptake kinetics response to exercise in children. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, n.9, p.651-669, 2003.

FERGUSON, R.A.; BROWN, M.D. Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. **European Journal of Applied Physiology,** Berlin, v.76, n.2, p.174-180, 1997.

FITTS, R.H. Cellular mechanisms of fatigue muscle. **Physiological Reviews**, Baltimore, v.74, n.1, p.49-94, 1994.

FRANCESCATO, M.P.; TALON, T.; di PRAMPERO, P.E. Energy cost and energy sources in karate. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology,** Berlin, v.71, n.4, p.355-361, 1995.

FRANCHINI, E. **Tipo de recuperação após a luta, diminuição do lactato e desempenho posterior: implicações para o judô**. 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. Teste anaeróbio de Wingate: conceitos e aplicação. **Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte**, Barueri, n.1, p.11-27, 2002.

FRANCHINI, E.; MATSUSHIGUE, K.A.; KISS, M.A.P.D.M.; STERKOWICZ, S. Estudo de caso das mudanças fisiológicas e de desempenho de judocas do sexo feminino em preparação para os jogos Pan-Americanos. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, v.9, n.2, p-21-27, 2001.

FRANCHINI, E.; TAKITO, M.Y.; BERTUZZI, R.C.M.; KISS, M.A.P.D.M. Solicitação fisiológica e metabólica do exercício intermitente anaeróbio com membros superiores. **Motriz**, Rio Claro, v.9, n.1, p.33-40, 2003.

FRANKLIN, B.A. Exercise testing, training and arm ergometry. **Sports Medicine**, Auckland, v.2, n.2, p.100-119, 1985.

GAESSER, A.G., BROOKS, G.A. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.16, n.1, p.29-43, 1984.

GAESSER, A.G.; POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sport Science Review**, Koln, v.24, p.35-71, 1996.

GASTIN, P. B. Quantification of anaerobic capacity. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Copenhagen, v.4, p.91-112, 1994.

_____. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.31, n.10, p.725-741, 2001.

GLADDEN, L.B. Lactate uptake by skeletal muscle. **Exercise and Sport Science Review**, Koln, v.17, p.115-155, 1989.

GLADDEN, L.B.; STAINSBY, W.N.; MacINTOSH, B.R. Norepinephrine increases canine skeletal muscle $\dot{V}O_2$ during recovery. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.14, n.6, p.471-476, 1982.

GLEESON, T.T. Metabolic recovery from exhaustive activity by a large lizard. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.48, n.4, p.689-694, 1980.

GRANIER, P.; DUBOUCHAUD, H.; MERCIER, B.; MERCIER, J. AHMAIDI, S.; PRÉFAUT, Ch. Lactate uptake by forearm skeletal muscles during repeated periods of short-term intense leg exercise in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.72, n.3, p.209-214, 1996.

GRANT, S.; HASLER, T; DAVIES, C.; AITCHISON, T.C; WILSON, J.; WHITTAKER, A. A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. **Journal of Sports Sciences,** London, v.19, n.7, p.499-505, 2001.

GRANT, S.; HYNES, V.; WHITTAKER, A.; AITCHISON, T. Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. **Journal of Sports Sciences,** London, v.14, n.4, p.301-309, 1996.

GRANT, S.; SHIELDS, C.; FITZPATRICK, V.; MING LOH, W.; WHITAKER, A.; WATT, I.; KAY, J.W. Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. **Journal of Sports Sciences**, London, v.21, n.8, p.621-630, 2003.

GREEN, S.; DAWSON, B. Measurement of anaerobic capacities in humans: definitions, limitations and unsolved problems. **Sports Medicine**, Auckland, v.15, n.5, p.312-327, 1993.

GUEDES, D.P. **Estudo da gordura corporal através da mensuração dos valores de densidade corporal e da espessura de dobras cutâneas em universitários**. 1985. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HAGBERG, J.M; HICKSON, R.C.; EHSANI, A.A.; HOLLOSZY, J.O. Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.48, n.2, p.218-224, 1980.

HAGBERG, J.M.; NAGLE, F.J.; CARLSON, J.L. Transient O_2 uptake response at the onset of exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.44, n.1, p.90-92, 1978.

HAMANN, J.J.; KELLEY, K.M., GLADDEN, L.B. Effect of epinephrine on net lactate uptake by contracting skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.91, n.6, p.2635-2641, 2001.

HARMS, C.A. Effects of skeletal muscle demand on cardiovascular function. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.32, n.1, p.94-99, 2000.

HASELER, L.J.; HOGAN, M.C.; RICHARDSON, R.S. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O_2 availability. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.86, n.6, p. 2013-2018, 1999.

HAUSSWIRTH, C.; BIGARD, A.X.; ARSAC, L.M; BITANGA, E.; THIRIET, P.; LACOUR, J.P. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. **International Journal of Sports Science**, Stuttgart, v.18, p. 449 – 453, 1997.

HEBESTREIT, H.; MIMURA, K.I; BAR-OR, O. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.74, n.6, p. 2875-2880, 1993.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G., MUCKE, S; MULLER, R.; HOLLMANN, W.; Justification of 4 mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.6, n.3, p.117-130, 1985.

HILL, A.V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen, **Quarterly Journal of Medicine**, Oxford, v.16, p.135-171, 1923.

HORSWILL, C.A.; MILLER, J.E.; SCOTT, J.R.; SMITH, C.M. WELK, G.; HANDEL, P.V. Anaerobic and aerobic power in arms and legs of elite senior wrestlers. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.13, n.8, p.558-561, 1992.

HUGHSON, R.L.; MORRISEY, M.A. Delayed kinetics of VO_2 in the transition from prior exercise. Evidence for O_2 transport limitation of VO_2 kinetics: a review. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.4, n.1, p.31-39, 1983.

IDSTRÖM, J.P.; SUBRAMANIAN, V.H.; CHANCE, B.; SCHERSTEN, T.; BYLUND-FELLENIUS, A.C. Oxygen dependence of energy metabolism in contracting and recovering rat skeletal muscle. **American Journal of Physiology**, Bethesda, 248 (Heart Circulation Physiology 17), p.H40-H48, 1985.

INBAR, O.; BAR-OR, O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. **Medicine and Science and Sports and Exercise**, Madison, v.18, n.3, p.264-269, 1986.

JACOBS, I. Lactate concentrations after short, maximal exercise at various glycogen levels. **Acta Physiological Scandinavian**, Stockholm, v.111, n.4, p.465-469, 1981.

_____. Blood lactate: implications for training and sports performance. **Sports Medicine**, Auckland, v.3, p.10-25, 1986.

JANNOT, J.M.; STEFFEN, J.P.; PORCARI, J.P.; MAHER, M.A. Heart rate responses and perceived exertion for beginner and recreational sport climbers during indoor climbing. **Journal of Exercise Physiology online**, v.3, n.1, p.1-8, 2000. Disponível em: <http://www.css.edu/users/tboone2/asep/JEPjeff.html> Acesso em: set.2002.

JANSSON, E.; DUDLEY, G.A.; NORMAN, B.; TESCH, P.A. Relationship of recovery from intense exercise to the oxidative potential of skeletal muscle. **Acta Physiological Scandinavia**, Stockholm, v.139, n.1, p.147-152, 1990.

KACZKOWSKI, W.; MONTGOMERY, D.L.; TAYLOR, A.W.; KLISSOURAS, V. The relationship between muscle fiber composition and maximal anaerobic power and capacity. **Journal of Sports Medicine Physical Fitness**, Turin, v.22, n.4, p.407-413, 1982.

KARVONEN, J.; PELTOLA, E.; HÄRKÖNEN, H.N. Lactate and phosphagen in muscle immediately after a maximum 300 m run at sea level. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.61, n.1, p.108-110, 1990.

KARVONEN, J.; VUORIMAA, T. Heart rate and exercise intensity during sports activities: practical application. **Sports Medicine**, Auckland, v. 5, p.303-312, 1988.

KEYSER, R.E.; MOR, D., ANDRES, F.F. Cardiovascular responses and anaerobic threshold for bicycle and arm ergometer exercise. **Achieves of Physical Medicine and Rehabilitation**, Chicago, v.70, n.9, p.687-691, 1989.

KLAUSER, A.; BODNER, G.; FRAUSCHER, F.; GABL, M.M.; NEDDEN, D.Z. Finger injuries in extreme rock climbers: assessment of high-resolution ultrasonography. **American Journal of Sports Medicine**, Columbus, v.27, n.6, p.733-737, 1999.

KNUTTGEN, H.G. Oxygen debt after submaximal physical exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.29, n.5, p.651-657, 1970.

LAMARRA, N.; WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; WASSERMAN, K. Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.62, n.5, p.2003-2012, 1987.

LIMA E SILVA, A.; BERTUZZI, R.C.M.; LOTUFO, R.F.; DE OLIVEIRA, F.R. Comportamento do VO_2 em diferentes níveis de aptidão aeróbia e tempos de análise. In: CONGRESSO SUL-BRASILEIRO DE MEDICINA ESPORTIVA, 4., 2002, Blumenau. **Anais...**, Blumenau, [s.n.], 2002.

McCULLY, K.K.; IOTTI, S.; KENDRICK. K.; WANG, Z.; POSNER, J.D.; LEIGH, J.; CHANCE, B. Simultaneous in vivo measurements of HbO_2 saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.77, n.1, p.5-10, 1994.

McKENZIE, D.C.; FOX, E.L.; COHEN. K. Specificity of metabolic and circulatory responses to arm or leg interval training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology,** Berlin, v.39, n.4, p.241-248, 1978.

McMAHON, S.; JENKINS, D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.32, n.12, p. 761-784, 2002.

MAGNUSSON, I.; SHULMAN, G.I. Pathways of hepatic glycogen synthesis in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.23, n.8, p.939-943, 1991.

MARGARIA, R.; EDWARDS, H.T.; DILL, D.B. The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v.106, p.689-715, 1933.

MARZZOCO, A.; TORRES, B.B. **Bioquímica básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.

MAUD, P.J.; SHULTZ, B.B. Norms for the Wingate anaerobic test with comparison to another similar test. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.60, n.2, p.144-151, 1989.

McCREARY, C.R.; CHILIBECK, P.D.; MARSH, G.D.; PATERSON, D.H.; CUNNINGHAM, D.A., THOMPSON, R.T. Kinetics of pulmonary oxygen uptake and muscle phosphates during moderate-intensity calf exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.81, n.3, p.1331-1338, 1996.

MEDBØ, J.I.; MOHN, A.C.; TABATA, I.; BAHR, R.; VAAGE, O.; SEJERSTED, O.M Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O_2 deficit. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.64, n.1, p.50-60, 1988.

MERMIER, C.M.; JANNOT, J.M.; PARKER, D.L.; SWAN, J.G. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. **British Journal of Sports Medicine**, London, v.34, p.359-366, 2000.

MERMIER, C.M.; ROBERGS, R. A.; McMINN, S.M.; HEYWARD, V.H. Energy expenditure and physiological responses during rock climbing**. British Journal of Sports Medicine**, London, v.31, n.3, p.224-228, 1997.

MEYER, R.A. A linear model of muscle respiration explains monoexponential phospohocreatine changes. **American Journal of Physiology,** Bethesda, 254 (Cell Physiology 23): p.C548-C553, 1988.

MIRANDA, J.; LACASA, E.; MURO, I. Actividades físicas en la naturaleza: un objeto a investigar. Dimensiones científicas. **Apunts: Educación Fisica y Deportes**, Barcelona, v. 41, p. 53-69, 1995.

NEGRÃO, C.E.; MOREIRA, E.D.; SANTOS, M.C.; FARAH, V.M.; KRIEGER, E.M. Vagal function impairment after exercise training. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 72, n.5, p.1749-53, 1992

NOAKES, T.D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.20, n.4, p.319-330, 1988.

_____. Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.29, n.5, p.571-590, 1997.

_____. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints: a rebuttal. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.30, n.9, p. 1381-1398, 1998.

_____. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports,** Denmark, v.10, n.3, p.123-145, 2000.

NOAKES, T.D.; PELTONEN, J.E.; RUSKO, H.K. Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. **The Journal of Experimental Biology,** Cambridge, v.204, p.3225-3234, 2001.

NORTON, K.; OLDS, T. **Antropometrica**. Rosário: Biosystem, 1996. p. 23-69.

NORTON, K.; OLDS, T. Morphological evolution of athletes over the 20th century: causes and consequences. **Sports Medicine**, Auckland, v.31, n.11, p.763-783, 2001.

OLASO, S.; PLANAS, A.; FUSTER, J.; BADIA, E.; CAZCARRO, S. El control de la potencia en la preparación de un grupo de escaladores de competición**. Apunts: Educación Fisica y Deportes**, Barcelona,v.70, p.34-40, 2003.

ÖZYENER, F.; ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **Journal of Physiology**, London, v.533, n.3, p.891-902, 2001.

PAAVOLAINEN, L.; HÄKKINEN, K.; HÄMÄLÄINEN, I.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of Applied Physiology,** Bethesda, v.86, n. 5, p.1527-1533, 1999.

PAGANINI, A.T.; FOLEY, J.M.; MEYER, R.A. Linear dependence of muscle phosphocreatine kinetics on oxidative capacity. **American Journal of Physiology**, Bethesda, 272 (Cell Physiol. 41), p.C501-C510, 1997.

PATERSON, D.H; WHIPP, B.J. Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, v.443, p.575-586, 1991.

PATTON, J.F.; MURPHY, M.M; FREDERICK, F.A. Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.6, n.2, p.82-85, 1985.

PIIPER, J.; SPILLER, P. Repayment of O_2 debt and resynthesis of high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 28, n.5, 657-662, 1970.

PLISK, S.S. Anaerobic metabolic conditioning: a brief review of theory, strategy and practical application. **Journal of Sport Science Research**, v.5, n.1, p.22-34, 1991.

QUAINE, F.; MARTIN, L.; BLANCHI, J.P. The effect of body position and number of supports on wall reaction forces in rock climbing. **Journal of Applied Biomechanics**, New York, v.13, p.14-23, 1997a.

_____. Effect of leg movement on the organization of the forces at the holds in climbing position 3-D kinetic analysis. **Human Movement Science**, Berlin, v.16, p.337-346, 1997b.

QUAINE, F. VIGOUROUX, L. MARTIN, L. Finger flexors fatigue in trained rock climbing and untrained sedentary subjects. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.24, n.6, p.424-427, 2003.

RICHARDSON, R. S. What governs skeletal muscle VO_{2max}? New evidence. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.32, n.1, p.100-107, 2000.

RICHARDSON, R. S.; GRASSE, B.; HEPPLE, R.T. Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system? **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.32, n.1, p.89-93, 1999.

REHUNEN, S.; NÄVERI, H.; KUOPPASALMI, K.; HÄRKÖNEN, M. High-energy phosphate compounds during exercise in human slow-twitch and fast-twitch muscle fibers. **Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation**, Oslo, v.42, n.6, p.499-506, 1982.

ROBERGS, R.A.; An exercise physiologist's "contemporary" interpretations of the "ugly and creaking edifices" of the VO_{2max} concept. **Journal of Exercise Physiology online,** v.4, n.1, p.01–44, 2001. Disponível em: <http://www.jep.org> Acesso em: fev. de 2002.

ROSSITER, H.B; WARD, S.A.; DOYLE, V.L.; HOWE, F.A.; GRIFFITHS, J.R.; WHIPP, B.J. Inferences from pulmonary O_2 uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, v.1, n.518.3, p.921-932, 1999.

ROSSITER, H.B; WARD, S.A.; KOWALCHUCK, J.M.; HOWE, F.A.; GRIFFITHS, J.R.; WHIPP, B.J. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O_2 uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. **Journal of Physiology**, London, n.15, n.541.3, p.991-1002, 2002.

RUSSEL, M.L. Cellular adaptations of the heart muscle to exercise training**. Annals of Medicine,** Helsinki, v.30, p.46-53, 1998. Supplement 1.

SALTIN, B.; STRANGE, S. Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.24, n.1, p.30-37, 1992.

SAUNDERS, P.U.; PYNE, D.B.; TELFORD, R.D.; HAWLEY, J.A.; Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, Auckland, v.34, n.7, p.465-485, 2004.

SAWKA, M.N. Physiology of upper body exercise. **Exercise Sports Science Review**, Boston, v.14, p.175-212, 1986.

SCHEUERMANN, B.W.; KOWALCHUCK, J.M.; PATERSON, D.H.; CUNNINGHAM, D.A. O_2 uptake kinetics after acetazolamide administration during moderate- and heavy-intensity exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.85, n.4, p.1384-1393, 1998.

SCOTT, C.B. Energy expenditure of heavy to severe exercise and recovery. **Journal of Theoretical Biology**, London, v.21, n.207, p.293-297, 2000.

SEALS, D.R.; MULLIN, J. VO_2 Max in variable type exercise among well-trained upper body athletes. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.53, n.1 , p.58-63, 1982.

SEDLOCK, D.A. Postexercise energy expenditure following upper body exercise. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.62, n.2, p.213-216, 1991.

SHEEL, A.W.; SEDDON, N.; KNIGTH, A.; MCKENZIE, D.C.; WARBURTON, D.E.R. Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.35, n.7, p.1225-1231, 2003.

SHORT, K.R.; SEDLOCK, D.A. Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.83, n.1, p.153-159, 1997.

SOUISSI, N.; GAUTHIER, A.; SESBOÜER, B.; LARUE, J.; DAVENNE, D. Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. **Journal of Sports Sciences**, London, v.20, n.11, p.929-937, 2002.

SPARLING, P.B. A meta-analysis of studies comparing maximal oxygen uptake in men and women. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.51, n.3, p.542-552, 1980.

SPENCER, M.R.; GASTIN, P.B. Energy system contribuition during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.33, n.1, p.157-162, 2001.

SPRIET, L.L. Anaerobic metabolism during high-intensity exercise. In: HARGREAVES, M., ed. **Exercise metabolism**. Champaign: Humans Kinetics, 1995. p.1-39.

STAINSBY, W.N. Biochemical and physiological bases for lactate production, **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.18, n.3, p.341-343, 1986.

STAINSBY, W.N.; BRECHUE, W.F.; O´DROBINAK, D.M. Regulation of muscle lactate production. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.23, n.8, p.907-911, 1991.

STAINSBY, W.N.; BROOKS, G.A. Control of lactic acid metabolism in contracting muscle and during exercise. **Exercise and Sports Science Review**, Koln, v.18, p.29-63, 1990.

STANLEY, W.C. Myocardial lactate metabolism during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.23, n.8, p.920-924, 1991.

SUTTON, J.R. VO_{2max} – New concepts on an old theme. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.24, n.1, p.26-29, 1992.

TAYLOR, H.L.; BUSKIRK, E.; HENSCHEL, A. Maximal oxygen uptake as an objective measure of cardiorespiratory performance. **Journal of Applied Physiology,** Bethesda, v.8, p.73-80, 1955.

TOMLIN D.L.; WENDER, H.A. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.31, n.1, p.1-11, 2001.

VANDEWALLE, H.; PÉRÈS, G.; MONOD, H. Standard anaerobic exercise tests, **Sports Medicine**, Auckland, v. 4, p.268-289, 1987.

WAGNER, T.D. New ideas on limitations to VO_2max. **Exercise and Sports Science Reviews,** Hagerstown, v.28, n. 1, p. 10-14, 2000.

WATTS, P.B. Physiology of difficult rock climbing. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.91, n.4, p.361-372, 2004.

WATTS, P.B; DAGGET, M.; GALLAGHER, P.; WILKINS, B. Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.21, n.3, p.185-190, 2000.

WATTS, P.B.; DROBISH, K.M. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.30, n.7, p.1118-1122, 1998.

WATTS, P.B.; MARTIN, D.T.; DURTSCHI, S. Anthropometric profiles of elite male and female competitive rock climbers. **Journal Sports Sciences**, London, v.11, n.2, p.113-117, 1993.

WATTS, P.B.; NEWBURY, V.; SULENTIC, J. Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. **Journal Sports Medicine and Physical Fitness**, Turin, v.36, n.4, p.255-60, 1996.

WEINSTEIN, Y.; BEDIZ C.; DOTAN, R.; FALK, B. Reliability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the Wingate test. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.30, n.9, p.1456-60, 1998.

WERNSTEDT, P.; SJÖSTEDT, C.; EKMAN, I.; DU, H.; THUOMAS,-A.K.; ARESKOG, N.H.; NYLANDER, E. Adaptations of cardiac morphology and function to endurance in strength training. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports,** Denmark, v.12, n.1, p.17-25, 2002.

WESTERBLAD, H; ALLEN, D.E.; LÄNNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? **News in Physiological Science,** Bethesda, v.17, p.17-21, 2002.

WHIPP, B.J.; CASABURI, R. Characterizing O_2 uptake response kinetics during exercise. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.3, n.2, p.97-99, 1982.

WHIPP, B.J.; ÖZYENER, F. The kinetics of exertional oxygen uptake: assumptions and inferences. **Medicina Dello Sport**, Torino, v.51, p.139-149, 1998.

WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; LAMARRA, N.; DAVIS, J.A.; WASSERMAN, K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology: Respiration Environment Exercise Physiology**, Washington, v.52, n.6, p. 1506-1513, 1982.

WHIPP, B.J. WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.33, n.3, p.351-356, 1972.

XU, F.; RHODES, E. C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v.27, n.5, p. 313-327, 1999.

YOSHIDA, T. The rate of phosphocreatine hydrolysis and resynthesis in exercise muscle in humans using ^{31}P-MRS. **Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science**, v.21, n.5, p. 247-255, 2002.

YOSHIDA, T.; WATARI, H. ^{31}P-Nuclear magnetic resonance spectroscopy study of the time course of energy metabolism during exercise and recovery. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.66, p.494-499, 1993a.

_____. Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.67, p.261-265, 1993b.

ZHOU, B.; CONLEE, R.K.; JENSEN, R.; FELLINGHAM, G.W.; GEORGE, J.D.; FISHER, G. Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** Madison, v.33, n.11, p.1849-1854, 2001.

ANEXO I – Tabela de equivalência entre os diferentes sistemas de graduação das rotas de escalada esportiva.

FRANCÊS	E.U.A.	BRASILEIRO
III	5.6	4
IV	5.7	5
V	5.8	
V+	5.9	5sup
	5.10a	6
6a	5.10b	
6a+	5.10c	6sup
6b	5.10d	
6b+	5.11a	7a
6c	5.11b	7b
6c+	5.11c	
7a	5.11d	7c
7a+	5.12a	8a
7b	5.12b	8b
7b+	5.12c	8c
7c	5.12d	9a
7c+	5.13a	9b
8a	5.13b	9c
8a+	5.13c	10a
8b	5.13d	10b
8b+	5.14a	10c
8c	5.14b	11a
8c+	5.14c	11b
9a	5.14d	11c
9a+	5.15a	12a
9b	5.15b	12b

ANEXO II – Termo de consentimento informado.

Termo de consentimento informado para participação no estudo

Eu _____, portador do documento de identidade nº _____, concordo voluntariamente em participar do estudo "**ESTIMATIVA DA CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS BIOENERGÉTICOS E DO GASTO ENERGÉTICO TOTAL NA ESCALADA ESPORTIVA *INDOOR***". Declaro estar ciente que este estudo será desenvolvido na Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo e no Ginásio 90 Graus de Escalada Esportiva *Indoor*, que terá por objetivo geral verificar as respostas dos sistemas bioenergéticos durante a prática da escalada esportiva *indoor*.

Compreendo que serei solicitado a:

1. submeter-me a um conjunto de medidas antropométricas (massa corporal total, estatura, envergadura, perímetros, dobras cutâneas e diâmetros ósseos) e da força de preensão manual para a caracterização do grupo do qual farei parte.
2. submeter-me a dois testes de caráter máximo de membros superiores (ergoespirométrico e Wingate), os quais podem causar desconforto.
3. escalar uma ou duas rotas (se for do grupo de escaladores intermediário ou de elite, respectivamente) com diferentes níveis dificuldades técnicas: fácil (6sup) e difícil (8c); sendo que essas serão realizadas no mesmo dia com intervalo mínimo de dez minutos.

Estou ciente que:

4. durante todas as atividades que envolvem o ato de escalar estarei a uma distância aproximada de nove metros de altura do solo, fato que poderá eventualmente causar acidentes;
5. realizarei estas atividades somente utilizando equipamentos de segurança adequados para a escalada esportiva *indoor*, e que esses são devidamente homologados pelos órgãos competentes;

ANEXO II – Termo de consentimento informado (continuação).

6. todas as técnicas ou equipamentos de segurança que utilizarei neste estudo fazem parte da minha rotina de escalada, assim como, os procedimentos preventivos adotados pelo ginásio de escalada onde será realizado este estudo;
7. durante todas as atividades que envolvem o ato de escalar a minha orelha será perfurada, após ter sido colocada a pomada vasodilatadora *Finalgon*® ocasionando sensação de queimação na região.
8. a perfuração realizada em minha orelha será feita com material invasivo (lanceta), e descartável, sendo que a embalagem será aberta na minha presença;
9. Este procedimento tem por objetivo realizar a coleta de 25 µl de sangue para analisar a concentração sangüínea de lactato;
10. terei acesso a todos os meus dados em cada um dos procedimentos, sem qualquer custo, dentro de um prazo de três meses a partir da minha solicitação ou cópia do relatório final juntamente com meus dados quinze dias após o término das análises da pesquisa;
11. todos os dados obtidos durante o decorrer da pesquisa serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, incluindo publicação em revista e livros especializados;
12. terei total liberdade de desistir da minha participação no estudo em qualquer fase, e não precisarei prestar nenhum tipo de esclarecimento sobre os motivos que me fizeram optar por essa decisão, bastando para isso informar minha desistência. Contudo, tenho consciência de que os dados colhidos, até então, serão utilizados pelos pesquisadores conforme o exposto nos item 11;
13. em nenhum momento serei identificado (nome ou inicial) em qualquer publicação conseqüente deste estudo;

São Paulo,_____ de _____ de _____.

Participante

Nome completo:_____

Assinatura:_____

ANEXO III – Cópia digitalizada da aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Of.CEP/02703/EEFE/061003

Prezado Senhor

Pelo presente, informo que o Comitê de Ética em Pesquisa da EEFE-USP **aprovou o "ad referendum"** aposto no projeto de pesquisa intitulado **Evidências de validação do teste específico para a escalada esportiva *indoor", protocolo CEP nº 22,*** de Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi, em reunião realizada no dia 26/09/03.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Carlos Eduardo Negrão
Presidente do CEP
EEFE-USP

Ao
Ilmo. Sr.
Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
C/C Profª Drª Maria Augusta Peduti Dal´Molin Kiss

AV. PROF. MELLO MORAES, 65 - CID. UNIVERSITÁRIA - 05508-900 - SÃO PAULO - SP - TEL.: (011) 3091-3097 - FAX.: (011) 3812.4141

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas.

Análise descritiva dos resultados das medidas antropométricas e da estimativa do percentual de gordura corporal dos escaladores recreacionais e de elite.

Valores Extremos.

Variável	Grupo		Sujeito	Valor
Massa corporal total (kg)	GER	Maior	1	70,90
		Menor	2	52,40
	GEE	Maior	4	65,60
		Menor	5	55,70
Estatura (cm)	GER	Maior	2	179,90
		Menor	5	158,30
	GEE	Maior	5	180,00
		Menor	6	168,00
Envergadura (cm)	GER	Maior	4	186,60
		Menor	5	157,40
	GEE	Maior	6	173,50
		Menor	7	173,00
Σ de todas as dobras (mm)	GER	Maior	3	122,00
		Menor	1	57,20
	GEE	Maior	7	94,60
		Menor	5	40,60
Σ das dobras do tronco (mm)	GER	Maior	3	87,60
		Menor	4	43,20
	GEE	Maior	7	72,60
		Menor	5	30,20
Σ das dobras dos membros inferiores (mm)	GER	Maior	6	25,40
		Menor	1	12,80
	GEE	Maior	2	23,00
		Menor	5	10,40
Percentual de gordura corporal (%)	GER	Maior	7	18,2
		Menor	1	7,0
	GEE	Maior	7	14,1
		Menor	5	1,4

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

	Estatística	gl	Sig.
Massa corporal total (kg)	,892	7	,339
	,857	7	,183
Estatura (cm)	,951	7	,707
	,946	7	,661
Envergadura (cm)	,964	7	,826
	,868	7	,233
Somatória de todas as dobras (mm)	,928	7	,500
	,988	7	,990
Somatória das dobras do tronco (mm)	,883	7	,299
	,948	7	,683
Somatória das dobras dos membros inferiores (mm)	,989	7	,990
	,947	7	,670
Percentual de gordura corporal (%)	,870	7	,242
	,995	7	,990

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da força máxima de preensão manual dos escaladores recreacionais e de elite.

Valores Extremos.

Variável	Grupo		Sujeito	Valor
Preensão manual relativa do lado dominante (kgf · kg^{-1})	GEE	Maior	6	1,11
		Menor	7	,71
	GER	Maior	2	,86
		Menor	6	,59
Preensão manual relativa do lado não dominante (kgf · kg^{-1})	GEE	Maior	5	,99
		Menor	7	,71
	GER	Maior	5	,72
		Menor	6	,59
Preensão manual absoluta do lado dominante (kgf)	GEE	Maior	6	70,26
		Menor	3	41,78
	GER	Maior	2	60,97
		Menor	5	37,73
Preensão manual absoluta do lado não dominante (kgf)	GEE	Maior	5	61,88
		Menor	3	41,22
	GER	Maior	2	50,30
		Menor	5	37,70

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Grupo	Estatística	gl	Sig.
Preensão manual relativa do lado dominante (kgf · kg^{-1})	GEE	,884	7	,305
	GER	,913	7	,434
Preensão manual relativa do lado não dominante (kgf · kg^{-1})	GEE	,846	7	,134
	GER	,864	7	,215
Preensão manual absoluta do lado dominante (kgf)	GEE	,944	7	,642
	GER	,746	7	,015
Preensão manual absoluta do lado não dominante (kgf)	GEE	,943	7	,633
	GER	,883	7	,300

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados das variáveis funcionais dos escaladores recreacionais e de elite mensuradas por meio do teste ergoespirométrico.

Valores Extremos.

Variável	Grupo		Sujeito	Valor
Potência aeróbia absoluta (W)	GER	Maior	3	150
		Menor	7	100
	GEE	Maior	3	150
		Menor	4	125
Potência aeróbia relative ($W \cdot kg^{-1}$)	GER	Maior	3	2,47
		Menor	6	1,41
	GEE	Maior	3	2,69
		Menor	4	1,90
VO_{2pico} ergoespirométrico ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	GER	Maior	4	44,01
		Menor	6	30,45
	GEE	Maior	3	47,62
		Menor	4	29,05
FC_{pico} ergoespirométrico (bpm)	GER	Maior	3	188
		Menor	2	157
	GEE	Maior	3	189
		Menor	1	171

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Grupo	Estatística	gl	Sig.
Potência aeróbia absoluta (W)	GER	,728	7	,010
	GEE	,598	7	,010
Potência aeróbia relativa ($W \cdot kg^{-1}$)	GER	,880	7	,289
	GEE	,785	7	,038
VO_{2pico} ergoespirométrico ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	GER	,868	7	,234
	GEE	,924	7	,480
FC_{pico} ergoespirométrico (bpm)	GER	,947	7	,669
	GEE	,964	7	,823

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados das variáveis funcionais dos escaladores recreacionais e de elite mensuradas por meio do teste anaeróbio de Wingate.

Valores Extremos.

Variável	Grupo		Sujeito	Valor
P_{pico} relative ($W \cdot kg^{-1}$)	GER	Maior	1	8,15
		Menor	7	5,96
	GEE	Maior	5	8,67
		Menor	7	6,87
P_{pico} absoluta (W)	GER	Maior	4	514,85
		Menor	5	361,56
	GEE	Maior	5	541,88
		Menor	3	422,76
$P_{média}$ relativa ($W \cdot kg^{-1}$)	GER	Maior	1	6,22
		Menor	7	4,74
	GEE	Maior	5	6,62
		Menor	7	4,37
$P_{média}$ absoluta (W)	GER	Maior	4	370,91
		Menor	5	282,96
	GEE	Maior	4	418,53
		Menor	7	283,18
I_{fadiga} Wingate (%)	GER	Maior	3	59,30
		Menor	7	33,30
	GEE	Maior	7	65,60
		Menor	1	36,80

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
P_{pico} relativa Wingate ($W \cdot kg^{-1}$)	,979	7	,952
	,953	7	,727
P_{pico} absoluta Wingate (W)	,969	7	,872
	,944	7	,643
$P_{média}$ relativa Wingate ($W \cdot kg^{-1}$)	,881	7	,292
	,863	7	,209
$P_{média}$ absoluta (W)	,929	7	,505
	,856	7	,181
Ifadiga Wingate (%)	,912	7	,427
	,903	7	,389

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados das respostas fisiológicas e do tempo total dos escaladores recreacionais na ascensão da rota fácil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
VO_{2pico} (ml · kg^{-1} · min^{-1})	Maior	1	44,98
	Menor	3	30,88
FC_{pico} (bpm)	Maior	4	181
	Menor	7	161
[La] de pico após a ascensão (mM)	Maior	3	5,10
	Menor	7	2,40
Tempo de ascensão (s)	Maior	6	120
	Menor	1	60

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
VO_{2pico} (ml · kg^{-1} · min^{-1})	,874	7	,262
FC_{pico} (bpm)	,956	7	,757
[La] de pico após a ascensão (mM)	,954	7	,735
Tempo de ascensão (s)	,940	7	,605

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados das contribuições absolutas dos sistemas bioenergéticos e do gasto energético total dos escaladores recreacionais na ascensão da rota fácil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Oxidativo (kJ)	Maior	3	64,53
	Menor	2	22,37
ATP-CP (kJ)	Maior	6	39,09
	Menor	2	30,75
Glicolítico (kJ)	Maior	3	22,02
	Menor	7	9,11
Gasto energético total (kJ)	Maior	3	120,70
	Menor	2	69,10

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatistica	gl	Sig.
Oxidativo (kJ)	,976	7	,932
ATP-CP (kJ)	,916	7	,445
Glicolítico (kJ)	,932	7	,538
Gasto energético total (kJ)	,954	7	,740

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva das variáveis cinéticas da resposta *off* do consumo de oxigênio dos escaladores recreacionais após a ascensão da rota fácil.

Valores Extremos

Variável		Sujeito	Valor
Tempo do débito alático de O_2 na rota fácil (s)	Maior	6	138
	Menor	7	92
A_1 da rota fácil ($ml \cdot min^{-1}$)	Maior	1	2648,16
	Menor	7	1891,26
τ da rota fácil (s)	Maior	6	64,52
	Menor	1	40,25
Valor de estabilização do consumo de oxigênio na rota fácil ($ml \cdot min^{-1}$)	Maior	1	637,99
	Menor	6	512,46

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
Tempo do débito alático de O_2 na rota fácil (segundos)	,892	7	,338
A_1 da rota fácil ($ml \cdot min^{-1}$)	,906	7	,403
τ da rota fácil (s)	,897	7	,364
Valor de estabilização do consumo de oxigênio na rota fácil ($ml \cdot min^{-1}$)	,833	7	,093

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva da estimativa da contribuição percentual dos sistemas oxidativo, ATP-CP e glicolítico dos escaladores recreacionais durante a ascensão da rota fácil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Contribuição percentual do sistema oxidativo (%)	Maior	3	53,45
	Menor	2	32,37
Contribuição percentual do sistema ATP-CP (%)	Maior	2	44,50
	Menor	3	28,31
Contribuição percentual do sistema glicolítico (%)	Maior	2	23,13
	Menor	7	10,94

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatistica	gl	Sig.
Contribuição percentual do sistema oxidativo (%)	,938	7	,591
Contribuição percentual do sistema ATP-CP (%)	,946	7	,661
Contribuição percentual do sistema glicolítico (%)	,898	7	,365

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa da contribuição percentual dos sistemas oxidativo, ATP-CP e glicolítico dos escaladores recreacionais durante a ascensão da rota fácil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,436	4,148	2	,126

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	Gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	2882,239	2	1441,120	32,055	,000

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Oxidativo	ATP-CP	7,094	4,495	,497	-7,683	21,871
	Glicolítico	27,628	3,816	,001	15,082	40,174
ATP-CP	Oxidativo	-7,094	4,495	,497	-21,871	7,683
	Glicolítico	20,533	1,941	,000	14,153	26,914
Glicolítico	Oxidativo	-27,628	3,816	,001	-40,174	-15,082
	ATP-CP	-20,533	1,941	,000	-26,914	-14,153

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados do consumo de oxigênio de pico dos escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
VO_{2pico} na rota fácil (ml · kg^{-1} · min^{-1})	Maior	3	45,62
	Menor	4	27,12
VO_{2pico} na rota moderada (ml · kg^{-1} · min^{-1})	Maior	3	49,67
	Menor	2	31,34
VO_{2pico} na rota difícil (ml · kg^{-1} · min^{-1})	Maior	3	45,99
	Menor	1	32,66

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
VO_{2pico} na rota fácil (ml · kg^{-1} · min^{-1})	,896	6	,376
VO_{2pico} na rota moderada (ml · kg^{-1} · min^{-1})	,888	6	,345
VO_{2pico} na rota difícil (ml · kg^{-1} · min^{-1})	,874	6	,290

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas do consumo de oxigênio de pico dos escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,552	2,379	2	,304

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	6,063	2	3,032	,186	,833

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-,882	2,002	1,000	-7,955	6,192
	Rota Difícil	-1,407	3,007	1,000	-12,033	9,220
Rota Moderada	Rota Fácil	,882	2,002	1,000	-6,192	7,955
	Rota Difícil	-,525	1,802	1,000	-6,893	5,843
Rota Difícil	Rota Fácil	1,407	3,007	1,000	-9,220	12,033
	Rota Moderada	,525	1,802	1,000	-5,843	6,893

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da freqüência cardíaca de pico dos escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
FC_{pico} na rota fácil (bpm)	Maior	5	174
	Menor	3	155
FC_{pico} na rota moderada (bpm)	Maior	1	182
	Menor	4	170
FC_{pico} na rota difícil (bpm)	Maior	1	189
	Menor	4	168

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
FC_{pico} na rota fácil (bpm)	,837	6	,143
FC_{pico} na rota moderada (bpm)	,885	6	,335
FC_{pico} na rota difícil (bpm)	,936	6	,579

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da freqüência cardíaca de pico dos escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Gl	Sig.
FATOR 1	,458	3,120	2	,210

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	1109,333	2	554,667	37,477	,000

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença	
(I) FATOR 1	(J) FATOR 1				Limite inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-13,333	1,994	,003	-20,382	-6,285
	Rota Difícil	-18,667	2,906	,004	-28,937	-8,397
Rota Moderada	Rota Fácil	13,333	1,994	,003	6,285	20,382
	Rota Difícil	-5,333	1,542	,054	-10,783	,116
Rota Difícil	Rota Fácil	18,667	2,906	,004	8,397	28,937
	Rota Moderada	5,333	1,542	,054	-,116	10,783

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos valores das concentrações sangüíneas de lactato de pico do grupo de escaladores de elite após as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
[La] de pico após a rota fácil (mM)	Maior	1	2,98
	Menor	6	,73
[La] de pico após a rota moderada (mM)	Maior	6	3,64
	Menor	4	,97
[La] de pico após a rota difícil (mM)	Maior	6	4,71
	Menor	5	1,80

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	gl	Sig.
[La] de pico após a rota fácil (mM)	,866	6	,260
[La] de pico após a rota moderada (mM)	,860	6	,236
[La] de pico após a rota difícil (mM)	,895	6	,372

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas das concentrações sangüíneas de lactato de pico dos escaladores de elite após as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Df	Sig.
FATOR 1	,894	,449	2	,799

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	8,710	2	4,355	5,950	,020

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR 1	(J) FATOR 1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-1,033	,459	,223	-2,656	,590
	Rota Difícil	-1,690	,568	,093	-3,699	,319
Rota Moderada	Rota Fácil	1,033	,459	,223	-,590	2,656
	Rota Difícil	-,657	,445	,600	-2,229	,916
Rota Difícil	Rota Fácil	1,690	,568	,093	-,319	3,699
	Rota Moderada	,657	,445	,600	-,916	2,229

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados do tempo utilizado pelo grupo de escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Tempo de ascensão na rota fácil (s)	Maior	4	92
	Menor	6	48
Tempo de ascensão na rota moderada (s)	Maior	2	103
	Menor	6	64
Tempo de ascensão na rota difícil (s)	Maior	2	105
	Menor	6	60

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	gl	Sig.
Tempo de ascensão na rota fácil (s)	,881	6	,319
Tempo de ascensão na rota moderada (s)	,951	6	,705
Tempo de ascensão na rota difícil (s)	,950	6	,697

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas do tempo utilizado pelo grupo de escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Gl	Sig.
FATOR 1	,781	,990	2	,610

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
IFator 1	301,444	2	150,722	1,255	,326

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	95% intervalo de confiança para a diferença	
(I) FATOR 1	(J) FATOR 1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-7,833	7,409	1,000	-34,018	18,351
	Rota Difícil	-9,333	6,515	,634	-32,358	13,691
Rota Moderada	Rota Fácil	7,833	7,409	1,000	-18,351	34,018
	Rota Difícil	-1,500	4,766	1,000	-18,344	15,344
Rota Difícil	Rota Fácil	9,333	6,515	,634	-13,691	32,358
	Rota Moderada	1,500	4,766	1,000	-15,344	18,344

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa da contribuição absoluta do sistema oxidativo dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Aeróbio na rota fácil (kJ)	Maior	4	33,62
	Menor	6	18,26
Aeróbio na rota moderada (kJ)	Maior	3	52,12
	Menor	5	25,82
Aeróbio na rota difícil (kJ)	Maior	3	52,94
	Menor	6	31,04

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatistica	gl	Sig.
Aeróbio na rota fácil (kJ)	,822	6	,095
Aeróbio na rota moderada (kJ)	,935	6	,569
Aeróbio na rota difícil (kJ)	,924	6	,489

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da contribuição absoluta do sistema oxidativo dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,777	1,011	2	,603

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
FATOR 1	686,038	2	343,019	8,101	,008

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervlo de confiança de 95% para a diferença	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-10,148	4,060	,164	-24,496	4,199
	Rota Difícil	-14,783	2,744	,009	-24,482	-5,085
Rota Moderada	Rota Fácil	10,148	4,060	,164	-4,199	24,496
	Rota Difícil	-4,635	4,281	,985	-19,766	10,496
Rota Difícil	Rota Fácil	14,783	2,744	,009	5,085	24,482
	Rota Moderada	4,635	4,281	,985	-10,496	19,766

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa da contribuição percentual do sistema oxidativo dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

		Sujeito	Valor
Contribuição aeróbia percentual na rota fácil (%)	Maior	4	50,80
	Menor	6	36,37
Contribuição aeróbia percentual na rota moderada (%)	Maior	3	57,53
	Menor	6	42,97
Contribuição aeróbia percentual na rota difícil (%)	Maior	5	57,01
	Menor	6	32,99

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

	Estatística	gl	Sig.
Contribuição aeróbia percentual na rota fácil (%)	,884	6	,328
Contribuição aeróbia percentual na rota moderada (%)	,962	6	,800
Contribuição aeróbia percentual na rota difícil (%)	,891	6	,358

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa da contribuição percentual dos sistemas oxidativo, ATP-CP e glicolítico dos escaladores de elite durante a ascensão da rota fácil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR1	,436	3,318	2	,190

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	Gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	5082,577	2	2541,288	36,180	,000

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Aeróbio	ATP-CP	1,393	5,655	1,000	-18,592	21,379
	Glicolítico	36,322	2,416	,000	27,785	44,860
ATP-CP	Aeróbio	-1,393	5,655	1,000	-21,379	18,592
	Glicolítico	34,929	5,694	,005	14,805	55,053
Glicolítico	Aeróbio	-36,322	2,416	,000	-44,860	-27,785
	ATP-CP	-34,929	5,694	,005	-55,053	-14,805

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa da contribuição absoluta do sistema glicolítico dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Glicolítico na rota fácil (kJ)	Maior	1	11,43
	Menor	6	2,86
Glicolítico na rota moderada (kJ)	Maior	6	14,28
	Menor	4	3,99
Glicolítico na rota difícil (kJ)	Maior	6	18,47
	Menor	5	6,29

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	gl	Sig.
Glicolítico na rota fácil (kJ)	,849	6	,189
Glicolítico na rota moderada (kJ)	,908	6	,426
Glicolítico na rota difícil (kJ)	,900	6	,392

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa da contribuição absoluta do sistema glicolítico dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Gl	Sig.
FATOR	,856	,623	2	,732

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	309182,406	2	154591,203	6,146	,018

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-188,408	84,406	,228	-486,709	109,893
	Rota Difícil	-319,309	107,361	,093	-698,737	60,118
Rota Moderada	Rota Fácil	188,408	84,406	,228	-109,893	486,709
	Rota Difícil	-130,901	80,389	,493	-415,004	153,201
Rota Difícil	Rota Fácil	319,309	107,361	,093	-60,118	698,737
	Rota Moderada	130,901	80,389	,493	-153,201	415,004

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa da contribuição percentual do sistema glicolítico dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

		Sujeito	Valor
Contribuição percentual glicolítica na rota fácil (%)	Maior	1	18,39
	Menor	3	5,70
Contribuição percentual glicolítica na rota fácil (%)	Maior	6	21,35
	Menor	4	4,51
Contribuição percentual glicolítica na rota fácil (%)	Maior	6	19,64
	Menor	5	7,72

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

	Estatistica	gl	Sig.
Contribuição percentual glicolítica na rota fácil (%)	,762	6	,032
Contribuição percentual glicolítica na rota fácil (%)	,903	6	,404
Contribuição percentual glicolítica na rota fácil (%)	,909	6	,429

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa da contribuição percentual dos sistemas oxidativo, ATP-CP e glicolítico dos escaladores de elite durante a ascensão da rota moderada.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR1	,526	2,569	2	,277

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
FATOR1	4091,683	2	2045,842	47,776	,000

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Oxidativo	ATP-CP	15,212	2,427	,005	6,635	23,788
	Glicolítico	36,750	4,786	,002	19,837	53,663
ATP-CP	Oxidativo	-15,212	2,427	,005	-23,788	-6,635
	Glicolítico	21,538	3,746	,007	8,301	34,776
Glicolítico	Oxidativo	-36,750	4,786	,002	-53,663	-19,837
	ATP-CP	-21,538	3,746	,007	-34,776	-8,301

.

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa da contribuição absoluta do sistema ATP-CP dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
ATP-CP na rota fácil (kJ)	Maior	3	34,00
	Menor	1	19,61
ATP-CP na rota moderada (kJ)	Maior	4	36,66
	Menor	5	19,06
ATP-CP na rota difícil (kJ)	Maior	3	51,79
	Menor	1	25,08

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatistica	gl	Sig.
ATP-CP na rota fácil (kJ)	,956	6	,750
ATP-CP na rota moderada (kJ)	,963	6	,809
ATP-CP na rota difícil (kJ)	,848	6	,185

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa da contribuição absoluta do sistema ATP-CP dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,642	1,775	2	,412

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrado	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	241,872	2	120,936	3,009	,095

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	,480	2,978	1,000	-10,044	11,004
	Rota Difícil	-7,525	3,151	,188	-18,661	3,611
Rota Moderada	Rota Fácil	-,480	2,978	1,000	-11,004	10,044
	Rota Difícil	-8,005	4,625	,432	-24,350	8,340
Rota Difícil	Rota Fácil	7,525	3,151	,188	-3,611	18,661
	Rota Moderada	8,005	4,625	,432	-8,340	24,350

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa da contribuição percentual do sistema ATP-CP dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

		Sujeito	Valor
Contribuição percentual alática na rota fácil (%)	Maior	6	57,92
	Menor	1	31,55
Contribuição percentual alática na rota moderada (%)	Maior	4	41,43
	Menor	2	31,14
Contribuição percentual alática na rota difícil (%)	Maior	6	47,37
	Menor	1	29,10

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

	Estatistica	gl	Sig.
Contribuição percentual alática na rota fácil (%)	,988	6	,985
Contribuição percentual alática na rota moderada (%)	,904	6	,409
Contribuição percentual alática na rota difícil (%)	,946	6	,659

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa da contribuição percentual dos sistemas oxidativo, ATP-CP e glicolítico dos escaladores de elite durante a ascensão da rota difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,612	1,965	2	,374

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	3738,969	2	1869,484	24,855	,000

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Oxidativo	ATP-CP	10,253	6,190	,476	-11,621	32,128
	Glicolítico	34,382	5,063	,003	16,489	52,275
ATP-CP	Oxidativo	-10,253	6,190	,476	-32,128	11,621
	Glicolítico	24,129	3,357	,002	12,263	35,995
Glicolítico	Oxidativo	-34,382	5,063	,003	-52,275	-16,489
	ATP-CP	-24,129	3,357	,002	-35,995	-12,263

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos resultados da estimativa do gasto energético do grupo de escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Gasto energético total na rota fácil (kJ)	Maior	5	67,81
	Menor	6	50,20
Gasto energético total na rota moderada (kJ)	Maior	3	90,60
	Menor	5	55,92
Gasto energético total na rota difícil (kJ)	Maior	3	115,75
	Menor	4	76,04

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatistica	gl	Sig.
Gasto energético total na rota fácil (kJ)	,815	6	,086
Gasto energético total na rota moderada (kJ)	,937	6	,587
Gasto energético total na rota difícil (kJ)	,933	6	,548

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas da estimativa do gasto energético dos escaladores de elite durante as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,948	,212	2	,899

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	2525,553	2	1262,776	11,683	,002

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença	
(I) FATOR 1	(J) FATOR 1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-13,613	5,299	,150	-32,342	5,115
	Rota Difícil	-28,997	6,460	,019	-51,826	-6,167
Rota Moderada	Rota Fácil	13,613	5,299	,150	-5,115	32,342
	Rota Difícil	-15,383	6,187	,166	-37,248	6,481
Rota Difícil	Rota Fácil	28,997	6,460	,019	6,167	51,826
	Rota Moderada	15,383	6,187	,166	-6,481	37,248

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva do tempo de duração do débito alático de oxigênio dos escaladores de elite após as ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Tempo de duração do débito alático de O_2 após a rota fácil (s)	Maior	5	132
	Menor	4	85
Tempo de duração do débito alático de O_2 após a rota moderada (s)	Maior	1	128
	Menor	6	97
Tempo de duração do débito alático de O_2 após a rota difícil (s)	Maior	3	138
	Menor	4	103

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatistica	gl	Sig.
Tempo de duração do débito alático de O_2 após a rota fácil (s)	,914	6	,447
Tempo de duração do débito alático de O_2 após a rota moderada (s)	,812	6	,081
Tempo de duração do débito alático de O_2 após a rota difícil (s)	,832	6	,123

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância a um fator (rota) com medidas repetidas do tempo de duração do débito alático de oxigênio dos escaladores de elite nas ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	gl	Sig.
FATOR 1	,820	,796	2	,672

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	648,778	2	324,389	1,284	,319

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-3,667	7,762	1,000	-31,097	23,764
	Rota Difícil	-14,167	10,919	,753	-52,756	24,423
Rota Moderada	Rota Fácil	3,667	7,762	1,000	-23,764	31,097
	Rota Difícil	-10,500	8,559	,823	-40,747	19,747
Rota Difícil	Rota Fácil	14,167	10,919	,753	-24,423	52,756
	Rota Moderada	10,500	8,559	,823	-19,747	40,747

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva da amplitude do consumo de oxigênio dos escaladores de elite ao final das ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
A_1 da rota fácil (ml · min^{-1})	Maior	3	2534,01
	Menor	2	1613,03
A_1 da rota moderada (ml · min^{-1})	Maior	4	2399,25
	Menor	5	1430,99
A_1 da rota difícil (ml · min^{-1})	Maior	3	2513,33
	Menor	1	1657,30

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
A_1 da rota fácil (ml · min^{-1})	,817	6	,088
A_1 da rota moderada (ml · min^{-1})	,926	6	,498
A_1 da rota difícil (ml · min^{-1})	,909	6	,427

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância da amplitude do consumo de oxigênio dos escaladores de elite ao final das ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Gl	Sig.
FATOR 1	,580	2,181	2	,336

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	Gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator	94355,633	2	47177,816	,905	,435

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR 1	(J) FATOR 1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	172,072	105,195	,488	-199,698	543,841
	Rota Difícil	48,855	111,555	1,000	-345,393	443,103
Rota Moderada	Rota Fácil	-172,072	105,195	,488	-543,841	199,698
	Rota Difícil	-123,217	169,136	1,000	-720,962	474,528
Rota Difícil	Rota Fácil	-48,855	111,555	1,000	-443,103	345,393
	Rota Moderada	123,217	169,136	1,000	-474,528	720,962

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva da constante de tempo do consumo de oxigênio dos escaladores de elite durante a recuperação das ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
τ da rota fácil (s)	Maior	5	66
	Menor	3	42
τ da rota moderada (s)	Maior	1	57
	Menor	6	43
τ da rota difícil (s)	Maior	6	63
	Menor	2	44

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	Gl	Sig.
τ da rota fácil (s)	,914	6	,449
τ da rota moderada (s)	,941	6	,619
τ da rota difícil (s)	,910	6	,434

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância da constante de tempo do consumo de oxigênio dos escaladores de elite durante a recuperação das ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Gl	Sig.
FATOR 1	,676	1,566	2	,457

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Intercepto	29,319	2	14,659	,218	,808

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença.	
(I) FATOR 1	(J) FATOR 1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	1,730	3,233	1,000	-9,697	13,157
	Rota Difícil	-1,390	5,678	1,000	-21,457	18,677
Rota Moderada	Rota Fácil	-1,730	3,233	1,000	-13,157	9,697
	Rota Difícil	-3,120	4,957	1,000	-20,637	14,397
Rota Difícil	Rota Fácil	1,390	5,678	1,000	-18,677	21,457
	Rota Moderada	3,120	4,957	1,000	-14,397	20,637

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise descritiva dos valores de estabilização do consumo de oxigênio dos escaladores de elite durante a recuperação das ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Valores Extremos.

Variável		Sujeito	Valor
Valor de estabilização do consumo de oxigênio após a rota fácil (ml · min^{-1})	Maior	3	580,45
	Menor	4	352,55
Valor de estabilização do consumo de oxigênio após a rota moderada (ml · min^{-1})	Maior	3	627,27
	Menor	5	456,11
Valor de estabilização do consumo de oxigênio após a rota difícil (ml · min^{-1})	Maior	1	749,06
	Menor	5	461,03

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

Variável	Estatística	gl	Sig.
Valor de estabilização do consumo de oxigênio após a rota fácil (ml · min^{-1})	,959	6	,769
Valor de estabilização do consumo de oxigênio após a rota moderada (ml · min^{-1})	,935	6	,570
Valor de estabilização do consumo de oxigênio após a rota difícil (ml · min^{-1})	,922	6	,481

ANEXO IV – Resumo das análises estatísticas (continuação).

Análise de variância dos valores de estabilização do consumo de oxigênio dos escaladores de elite durante a recuperação das ascensões das rotas fácil, moderada e difícil.

Teste de Esfericidade de Mauchly.

	Mauchly's W	Aprox. Qui-Quadrado	Gl	Sig.
FATOR 1	,381	3,859	2	,145

Análise de Variância.

	Soma dos Quadrados	Gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Fator 1	42865,179	2	21432,589	7,389	,011

Nível de significância ajustado pelo teste de Bonferroni para comparações múltiplas.

		Diferença Média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de confiança de 95% para a diferença	
(I) FATOR 1	(J) FATOR1				Limite Inferior	Limite Superior
Rota Fácil	Rota Moderada	-69,805	14,834	,016	-122,229	-17,381
	Rota Difícil	-118,937	38,281	,080	-254,225	16,352
Rota Moderada	Rota Fácil	69,805	14,834	,016	17,381	122,229
	Rota Difícil	-49,132	34,860	,653	-172,332	74,069
Rota Difícil	Rota Fácil	118,937	38,281	,080	-16,352	254,225
	Rota Moderada	49,132	34,860	,653	-74,069	172,332