

MATEMÁTICA DA CINÉTICA DO VO₂ E DA CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA DURANTE O EXERCÍCIO: UM ESTUDO DE REVISÃO

Nelson Kautzner Marques Junior

RESUMO

Este artigo apresenta como objetivo uma revisão sobre os cálculos matemáticos da cinética do consumo de oxigênio (VO₂) e da contribuição dos sistemas de energia durante o exercício. Foram explicados os mecanismos fisiológicos da cinética do VO₂ durante o esforço físico e após o exercício com os seus respectivos cálculos matemáticos. O artigo utilizou um exemplo fictício de dois sujeitos que correram em máxima velocidade por 80 segundos, sendo utilizados os valores do VO₂ para o leitor entender as contas da cinética do VO₂. Nas fases (fase I a III) do VO₂ e nos dois momentos do EPOC (rápido e lento), são resolvidas equações exponenciais para determinar o melhor modelo no ajuste da curva do VO₂. Após esses cálculos, foi estabelecida a participação do sistema de energia durante a corrida de velocidade no metabolismo anaeróbio alático, no sistema anaeróbio láctico e no metabolismo aeróbio com suas contas. Em conclusão, conhecer a matemática do VO₂ e da contribuição do sistema de energia durante o exercício facilita o entendimento desse conteúdo da fisiologia do exercício.

Palavras-chave: Consumo de oxigênio, Cinética do consumo de oxigênio, Fisiologia, Fisiologia do exercício.

ABSTRACT

Mathematics of the VO₂ kinetics and the contribution of the energy systems during exercise: a review study

This article presents a review about mathematical calculations of the oxygen uptake (VO₂) kinetics and the contribution of the energy systems during exercise. The article taught the physiological mechanisms of the VO₂ kinetics during the physical effort and after of the exercise with their respective mathematical calculations. The article used a fictitious example of two subjects that ran at maximum velocity during 80 seconds, being used VO₂ values for the reader to understand the calculations of VO₂ kinetics. During the VO₂ phases (phase I to III) and during the EPOC (fast and slow), are resolved exponential equations for determine the best model to fit the curve of VO₂. After these calculations, was established to participation of the energy system during the running speed in alactic anaerobic metabolism, in lactic anaerobic metabolism and in aerobic metabolism with the respective calculations. In conclusion, know the mathematics of VO₂ and contribution of the energy system during the exercise facilitates the understanding of the content of the exercise physiology.

Key words: Oxygen uptake, Oxygen uptake kinetics, Physiology, Exercise physiology.

1-Mestre em Ciência da Motricidade Humana pela UCB do RJ.

E-mail:
nk-junior@uol.com.br

INTRODUÇÃO

A partir da publicação de Hill e Lupton (1923) em um periódico internacional sobre o consumo de oxigênio (VO_2) durante o exercício e após o esforço físico, (denominado na época de débito de oxigênio, atualmente é chamado de consumo excessivo de O_2 pós-exercício, tendo abreviação da língua inglesa de EPOC), diversos cientistas da fisiologia do exercício passaram estudar esse fenômeno no esporte e na atividade física (Artioli e colaboradores, 2012; Marwood e colaboradores, 2010; Mezzani e colaboradores, 2010).

É conclusivo na literatura que o VO_2 durante o exercício pode ter um comportamento monoexponencial, biexponencial ou triexponencial, depende da intensidade do esforço físico e do nível de treinamento do praticante (Lima, 2009).

Essa crescente resposta exponencial do VO_2 no momento do exercício costuma ser subdividida na literatura como fase I ou cardiodinâmica, fase II ou componente rápido e fase III ou componente lento (Burnley e Jones, 2007).

Enquanto que o EPOC, constituído pelo rápido e pelo lento, possuindo um comportamento monoexponencial ou biexponencial, depende do melhor ajuste da curva exponencial proveniente da resposta respiratória após o exercício (Bertuzzi e colaboradores, 2010a).

Para o pesquisador determinar em que fase do VO_2 ou do EPOC se encontra o atleta ou praticante do exercício durante a avaliação, basta se orientar no tempo indicado na literatura, por exemplo, a fase 1 ocorre entre 10 a 25 segundos (Bell e colaboradores, 2001) ou verificar a cada 5 segundos ou 10 segundos (depende do protocolo) se no testado a razão de troca respiratória ($R = \text{VCO}_2/\text{VO}_2$) e a pressão parcial de O_2 (PO_2) ocorre um decréscimo dessas respostas fisiológicas, então, durante a atividade física é determinada a passagem de uma fase para outra (fase 1, 2 e 3) ou acontece a mudança do EPOC rápido para o EPOC lento (Murias e colaboradores, 2011).

Porém, para o cientista averiguar a mudança das fases e do EPOC com precisão, ele precisa realizar diversos cálculos matemáticos elaborados por Whipp e colaboradores (1982) após o teste. Portanto, a

segunda maneira de determinar a fase e o momento do EPOC é mais adequada porque torna-se individualizada a avaliação da resposta fisiológica da cinética do VO_2 .

Atualmente pesquisadores da fisiologia do exercício que investigam a cinética do VO_2 durante o exercício e após a atividade, realizam seus cálculos matemáticos através de pacotes estatísticos (Hirai e colaboradores, 2008; Bertuzzi e colaboradores, 2010b). Esses cálculos da resposta do VO_2 e/ou do EPOC também permitem determinar a contribuição do sistema de energia em uma determinada atividade (Hanon e Thomas, 2011).

Entretanto, alguns cientistas desconhecem como esses cálculos são efetuados se forem realizados através de uma calculadora. Por causa do pouco conhecimento sobre esse assunto, torna-se interessante escrever um artigo sobre esse tema.

O objetivo da revisão foi explicar os cálculos matemáticos da cinética do VO_2 e da contribuição do sistema de energia durante o exercício.

CARACTERÍSTICAS E CÁLCULOS DA CINÉTICA DO VO_2

Quando é realizado um exercício ou essa tarefa é interrompida, o VO_2 é alterado de acordo com a intensidade e com o volume da tarefa efetuada (Damasceno e colaboradores, 2011).

Isso acontece no ser humano porque ocorrem adaptações respiratórias, cardiovasculares e metabólicas provenientes daquela atividade (Murgatrouyd e colaboradores, 2011).

O modelo matemático que expressa essa modificação do VO_2 durante e depois do esforço físico é uma função exponencial (DiMenna e colaboradores, 2010).

Na literatura existem três fases do ajuste do VO_2 durante o exercício e dois momentos do VO_2 após a atividade física, eles serão explicados nos parágrafos a seguir com os seus respectivos cálculos.

A fase I ou fase cardiodinâmica acontece nos primeiros segundos do aumento da resposta do VO_2 ao exercício (Kemps e colaboradores, 2009), esta resposta está relacionada principalmente com o aumento da frequência cardíaca, com um maior fluxo

sanguíneo nos músculos e da maior resposta respiratória (Wilmore e Costill, 2001).

Na fase I é evidenciado o primeiro tempo de atraso (time delay), ou seja, nos pulmões acontece um rápido consumo de oxigênio (O_2) e o mesmo não ocorre de maneira tão eficaz na musculatura (Whipp, 2009).

Portanto, os pulmões não acompanham a necessidade de O_2 da musculatura envolvida na atividade física, ocasionando um déficit de O_2 .

Segundo Powers e Howley (2000), no começo do exercício os estoques de mioglobina (proteína que se liga ao O_2) atua como uma “reserva de O_2 ” para a musculatura envolvida no esforço físico, o O_2 ligado a mioglobina atua como um tampão (composto que resiste a alteração da potência do íon hidrogênio) intracelular do O_2 do músculo, evitando que a pressão parcial de O_2 nunca chegue à zero, mesmo com uma demanda insuficiente de O_2 para a musculatura. Isso é terminado quando o sistema cardiopulmonar consegue fornecer O_2 suficiente para os músculos. A fase I pode ser ajustada através de uma equação monoexponencial (Gurd e colaboradores, 2009).

A fase II ou componente rápido inicia logo após o término da fase I, ela pode durar a partir de alguns segundos até uns poucos minutos (Bailey e colaboradores, 2009).

Nessa fase o VO_2 continua com um aumento exponencial, não permitindo ao indivíduo um equilíbrio estável (steady state), para isso acontecer é necessária uma intensidade abaixo do limiar de lactato (Barstow, 1994).

A fase II os músculos envolvidos no exercício utilizam uma maior quantidade de O_2 oriundo dos pulmões, enquanto que os pulmões recebem uma maior quantidade de sangue venoso da musculatura do exercício, isso permite uma menor participação da mioglobina (Murias, Kowalchuk e Peterson, 2010).

Tem sido evidenciado na fase I e na fase II, que o maior uso energético é através do metabolismo creatinofasfato, seguido do glicolítico e em menor proporção do aeróbio (Fawcner e Armstrong, 2003). A fase II é representada por uma equação biexponencial (Stirling e Zakynthinaki, 2009).

Caso o exercício continue, o indivíduo tende praticar a atividade na fase III ou fase

lenta do VO_2 . Quando a intensidade é moderada, mas precisamente abaixo do limiar de lactato, numa duração entre 2 e 3 minutos, acontece o estado estável do VO_2 (Cannon e colaboradores, 2011).

Conforme prossegue o esforço físico e o praticante começa com uma ligeira fadiga, ele tende recrutar as fibras de contração rápida com o intuito de manter os níveis de força da atividade (Querido, 2006).

Esse trabalho das fibras rápidas permite um “auxílio” para as fibras lentas durante a tarefa.

Segundo Lima Silva e Oliveira (2004), a fase III pode ter uma curva ajustada da cinética do VO_2 por uma equação biexponencial ou triexponencial, a escolha do melhor modelo matemático depende da inclusão ou não da fase I na investigação.

Porém, esses mesmos autores informaram que algumas investigações da cinética do VO_2 o modelo triexponencial pode não ser o melhor cálculo do ajuste da curva do VO_2 na fase III porque pode acontecer da constante tempo ser menor em cargas mais altas, o que deveria ser o contrário.

A Tabela 1 apresenta a duração aproximada das fases do VO_2 baseada em diversas referências (Bertuzzi, 2005; Figueira, 2007; Gaesser e Poole, 1996; Stirling, Zakynthinaki e Saltin, 2005; Vivier, 2005).

A figura fornece um exemplo de como o VO_2 é apresentado em um exercício de carga constante com uma curva ajustada por um modelo triexponencial.

Nos parágrafos anteriores foram apresentados os conteúdos teóricos sobre as fases do VO_2 , agora será ensinado como calcular essa resposta fisiológica durante o exercício.

Atualmente existem diversos pacotes estatísticos que tornam essa tarefa desnecessária, porém, torna-se interessante do pesquisador conhecer como esses dados são calculados com intuito de compreender os resultados da sua análise estatística (Marques Junior, 2012a).

A cinética do VO_2 possui um padrão linear e não linear nas suas três fases (Lamarra e colaboradores, 1987). Essa resposta do VO_2 está de acordo com o nível de treino do indivíduo, com a intensidade da tarefa e com a duração da atividade (Sousa e colaboradores, 2011).

Então, o VO_2 costuma apresentar um aumento exponencial e decréscimo exponencial durante o teste, ou seja, ele possui uma curva linear e não linear durante o esforço físico (Guidetti e colaboradores, 2008).

Por esse motivo ela é caracterizada por uma função exponencial decrescente ($1 - \exp^{-t/\tau}$) (Bertuzzi e Rumenig-Souza, 2009). A função exponencial decrescente é

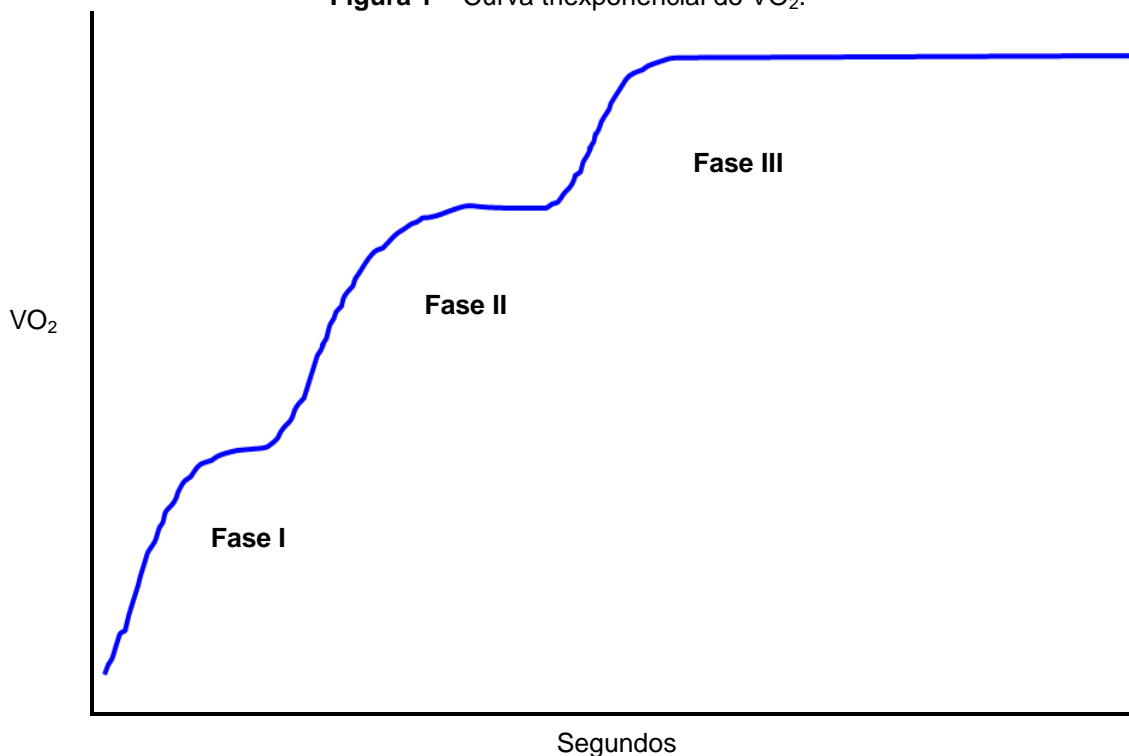
apresentada por um sinal negativo do número elevado (Morettin, Hazzan e Bussab, 2010).

Mas se a cinética do VO_2 tivesse um aumento linear, a função exponencial seria crescente ($1 - \exp^{t/\tau}$), não tendo nenhum valor no número elevado, correspondendo aos dados positivos.

Tabela 1 - Duração Aproximada das fases do VO_2 durante o exercício.

Fase	Duração em Segundos
1	10 a 25
2	25 a 80 (1 min e 20 seg)
3	80 (1 min e 20 seg) ou mais

Figura 1 – Curva triexponencial do VO_2 .



Para entender o cálculo de uma função exponencial decrescente que determina a cinética do VO_2 durante o exercício, primeiro é importante apresentar os seus componentes e como descobrir seus valores, sendo:

- A: amplitude da cinética do VO_2 para o termo exponencial da fase, sendo calculado da seguinte maneira: $A = \text{VO}_2$ da fase – $\text{VO}_{2\text{repouso}}$ (Vivier, 2005).

- t: tempo em segundos da fase (Lima Silva e Oliveira, 2004).

- σ : tempo de atraso em segundos da fase, metade do déficit de O_2 é compensado, sendo representado pela letra grega sigma (Fleck e Kraemer, 1999).

- τ : ajustamento da constante tempo em segundos da fase, isso acontece por causa do déficit de O_2 , sendo calculado da seguinte maneira: $\tau = 0,693 \times \text{segundos} = ? \text{ segundos} - 30$ (para evitar erro) = ? seg (Vivier, 2005). Sendo representado pela letra grega tau.

Então vamos calcular esses valores para depois realizar a função exponencial. Por exemplo, dois sujeitos foram selecionados

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

para um experimento, ficaram em pé por 5 minutos com o analisador de gases portátil Cosmed K4 b² para coletar o VO₂. A média do VO₂ nos últimos 30 segundos (seg) antes do exercício foi utilizada na equação que determina o VO₂ de repouso, sendo a seguinte:

VO₂ repouso = Média do VO₂ nos últimos 30 seg antes do exercício . duração do exercício em seg = ? ml/kg/seg

Após esse procedimento, os dois sujeitos correram numa velocidade máxima

por um período de 1 minuto e 20 segundos (80 segundos) e o Cosmed K4 b² coletou o VO₂ do esforço físico em cada 5 segundos. A Figura 2 mostra como os dados se comportaram durante a coleta através de uma curva do VO₂ não ajustada (Obs.: Esses dados não são reais).

Em seguida, os resultados do teste foram calculados, sendo identificada a média e o desvio padrão do VO₂ de repouso e do VO₂ de cada fase. A Tabela 2 mostra esses resultados.

Figura 2 - VO₂ do teste de corrida.

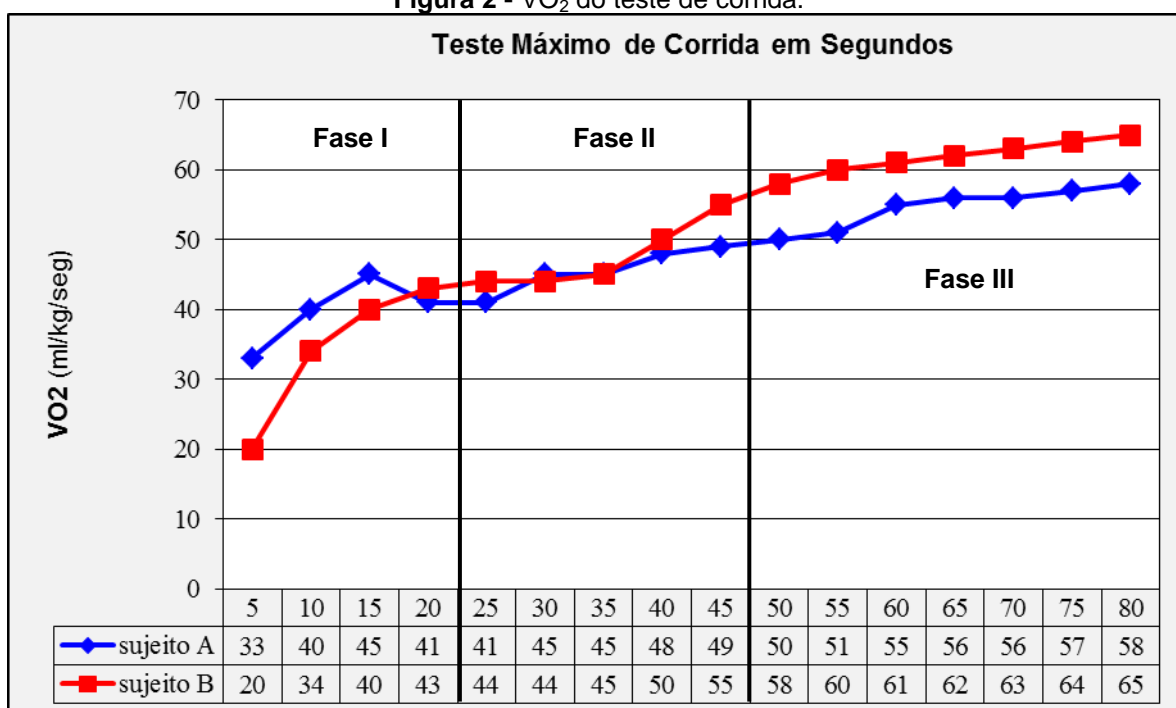


Tabela 2 - Resultados do teste fictício.

Sujeito	Fase em Segundos	VO ₂ repouso (ml/kg/seg)	VO ₂ nas Fases (ml/kg/seg)
A	Fase I = 20	20±0,2	Fase I = 39,75±4,99
	Fase II = 45		Fase II = 45,60±3,13
	Fase III = 80		Fase III = 54,71±3,03
B	Fase I = 20	25	Fase I = 34,25±10,21
	Fase II = 45		Fase II = 47,60±4,82
	Fase III = 80		Fase III = 61,86±2,41

Agora utilize os tempos das fases, a médias do VO_2 de repouso e do VO_2 das fases para calcular os componentes da função exponencial decrescente. Faça as seguintes contas:

$$\text{Amplitude} = VO_2 \text{ da fase} - VO_{2\text{repouso}} = ? \text{ ml/kg/seg}$$

$$\tau_{(\text{constante tempo})} = 0,693 \times \text{segundos (seg) da fase} = ? \text{ seg} - 30 \text{ (para evitar erro)} = ? \text{ seg}$$

Na fase I o sujeito A obteve os resultados apresentados pelo exemplo e os mesmos cálculos foram efetuados nas outras fases e nos dados do sujeito B, sendo:

$$\text{Amplitude na Fase I} = 39,75 - 20 = \mathbf{19,75} \text{ ml/kg/seg}$$

$$\tau_{(\text{constante tempo})} \text{ na Fase I} = (0,693 \times 20) - 30 = \mathbf{16,14} \text{ seg}$$

Baseado em Huettenmueller (2011) é possível calcular o tempo de atraso (σ), basta fazer uma divisão do tempo da fase pelo valor 0,69315. Em matemática essa conta identifica o decaimento radioativo, sendo usada a meia

vida dessa substância radioativa com o intuito de averiguar o seu decaimento (0,69315 : meia vida). Continuando utilizar a fase I do sujeito A como exemplo, o resultado é o seguinte:

$$\text{Tempo de Atraso } (\sigma) = 0,69315 : \text{seg da fase} = ? \text{ seg}$$

$$\text{Tempo de Atraso da Fase I } (\sigma) = 0,69315 : 20 = \mathbf{0,034} \text{ seg}$$

Os resultados dos componentes da função exponencial decrescente são apresentados na Tabela 3, sendo:

Tabela 3 - Resultados dos cálculos.

Sujeito	Amplitude (A) (ml/kg/seg)	Constante Tempo (τ) seg	Tempo de Atraso (σ) seg
A	Fase I = 19,75	Fase I = 16,14	Fase I = 0,034
	Fase II = 25,6	Fase II = 1,18	Fase II = 0,015
	Fase III = 34,71	Fase III = 25,44	Fase III = 0,008
B	Fase I = 9,25	Fase I = 16,14	Fase I = 0,034
	Fase II = 22,6	Fase II = 1,18	Fase II = 0,015
	Fase III = 36,86	Fase III = 25,44	Fase III = 0,008
Média±Desvio Padrão	Fase I = 14,5±7,42	Fase I = 16,14	Fase I = 0,034
	Fase II = 24,1±2,12	Fase II = 1,18	Fase II = 0,015
	Fase III = 35,78±1,52	Fase III = 25,44	Fase III = 0,008

Agora aplique a média da amplitude, da constante tempo e do tempo de atraso na equação da função exponencial decrescente. Através da consulta em diversas referências

(Dowling, 1981; Huettenmueller, 2011; Spiegel e Lipschutz, 2011), foi possível calcular a função exponencial decrescente das fases do VO_2 , sendo da seguinte maneira:

a) Fase I, modelada por uma equação monoexponencial

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma) : \tau}]$$

$VO_{2(t)}$: consumo de O_2 no tempo t

$VO_{2\text{repouso}} = 22,5$ ml/kg/seg (média)

$A_1 = 14,5$ ml/kg/seg

exp: componente cinético do processo exponencial

t = 20 seg

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

$$\sigma = 0,034 \text{ seg}$$

$$\tau = 16,14 \text{ seg}$$

Aplice os valores destacados na equação de função exponencial decrescente e resolva o que está elevado (está em amarelo).

$$b) \text{VO}_{2(t)} = 22,5 + 14,5 \cdot [1 - \exp^{-\frac{(20 - 0,034) : 16,14}{}}]$$

$$-(20 - 0,034) : 16,14 = 1,23$$

Aplice o resultado na equação

$$\text{VO}_{2(t)} = 22,5 + 14,5 \cdot [1 - \exp^{-1,23}]$$

c) Sabendo que **exp** está elevado a **-1,23**, consulte a tabela de função exponencial decrescente para achar o valor correspondente (e^{-x}). Veja esse procedimento a seguir:

Valor Calculado = -1,23

1) Veja 1,2 na coluna do X.

2) Depois veja 3 na linha para achar o resultado correspondente de exp.

	0	1	2	3
0,0	1,00000	0,99005	0,98020	0,97045
0,1	0,90484	0,89583	0,88692	0,87810
0,2	0,81873	0,81058	0,80252	0,79453
0,3	0,74082	0,73345	0,72615	0,71892
0,4	0,67032	0,66365	0,65705	0,65051
0,5	0,60653	0,60050	0,59452	0,58860
0,6	0,54881	0,54335	0,53794	0,53259
0,7	0,49659	0,49164	0,48675	0,48191
0,8	0,44933	0,44486	0,44043	0,43605
0,9	0,40657	0,40252	0,39852	0,39455
1,0	0,36788	0,36422	0,36060	0,35701
1,1	0,33287	0,32956	0,32628	0,32303
1,2	0,30119	0,29820	0,29523	0,29229

Resultado
-1,23 calculado = 0,29229 tabelado

d) Colocar o valor tabelado na equação e depois calcular.

$$\exp = 0,29229$$

$$\text{VO}_{2(t)} = 22,5 + 14,5 \cdot [1 - \exp]$$

$$\text{VO}_{2(t)} = 22,5 + 14,5 \cdot [1 - 0,29229] = 26$$

$$\text{VO}_{2(t)} = 22,5 + 14,5 \cdot 0,70771$$

$$\text{VO}_{2(t)} = 22,5 + 10,261795 = 32,76 \text{ ml/kg/seg}$$

Equação similar é calculada na Fase II, sendo modelada por uma equação biexponencial.

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_2 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

$VO_{2(t)}$: consumo de O_2 no tempo t

$A_2 = 24,1$ ml/kg/seg

exp: componente cinético do processo exponencial

$t = 45$ seg

$\sigma = 0,015$ seg

$\tau = 1,18$ seg

Aplice os valores destacados na equação de função exponencial decrescente da fase II e calcule.

$$a) VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_2 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

Calculado na Fase 1 = 32,76 ml/kg/seg

$$VO_{2(t)} = 32,76 + A_2 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

Calcule o que está em amarelo, os procedimentos das contas são iguais ao da Fase 1.

$$24,1 \cdot [1 - \exp^{-(45 - 0,015) : 1,18}]$$

$$VO_{2(t)} = 32,76 + 23,566185 = 56,32 \text{ ml/kg/seg}$$

Equação similar é calculada na Fase III, sendo modelada por uma equação triexponencial.

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_2 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_3 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

$VO_{2(t)}$: consumo de O_2 no tempo t

$A_3 = 35,78$ ml/kg/seg

exp: componente cinético do processo exponencial

$t = 80$ seg

$\sigma = 0,008$ seg

$\tau = 25,44$ seg

Aplice os valores destacados na equação de função exponencial decrescente da fase III e calcule igual ao que foi explicado anteriormente.

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_2 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_3 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

Calculada na Fase 1 = 32,76 ml/kg/seg

Calculada na Fase 2 = 56,32 ml/kg/seg

$$VO_{2(t)} = 22,81 + 23,80 + A_3 \cdot [1 - \exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

Calcule o que está em amarelo, os procedimentos das contas são iguais ao da Fase 1.

$$35,78 \cdot [1 - \exp^{-(80 - 0,008) : 25,44}]$$

$$VO_{2(t)} = 32,76 + 56,32 + 32,2314416 = 121,31 \text{ ml/kg/seg}$$

Agora coloque os valores calculados do $VO_{2(t)}$ na tabela 4 para ter melhor organização nos futuros cálculos que você vai fazer.

Tabela 4 - Resultados do $VO_{2(t)}$.

Fase	$VO_{2(t)}$ (ml/kg/seg)
1	32,76
2	56,32
3	121,31

Os mesmos cálculos feitos nas fases do VO_2 merecem ser realizados no EPOC para identificar a amplitude, a constante tempo, o tempo de atraso e o $VO_{2(t)}$. A equação exponencial decrescente do EPOC é idêntica aos da fase do VO_2 , torna-se desnecessário calcular passo a passo, somente serão fornecidos os resultados.

Após a interrupção da atividade física o VO_2 diminui de maneira exponencial tendo valores superiores ao antes do esforço físico (Kriatselis e colaboradores, 2012), estando relacionado com o tipo de atividade, a carga da sessão e o nível de condicionamento físico do indivíduo (Campos e colaboradores, 2012).

O EPOC é constituído por duas fases, o EPOC rápido e o EPOC lento (Stupnicki e colaboradores, 2010), também existe o EPOC ultralento que merece mais estudos para identificar com precisão as reações fisiológicas desse componente (Castinheiras Neto e Farinatti, 2009).

É sabido que, durante o EPOC o VO_2 está elevado com o intuito de restaurar o processo metabólico pós-exercício, ou seja, ajuda no retorno do equilíbrio da homeostase (Oliveira, 2007).

O EPOC rápido possui valores de VO_2 superiores ao EPOC lento e ultralento porque ele acontece poucos segundos após o exercício. Os mecanismos responsáveis pelo EPOC rápido são constituídos pela restauração dos fosfagênios e o

reabastecimento dos estoques de oxihemoglobina (hemoglobina combinada ao O_2) e oximioglobina (miglóbina combinada ao O_2) (Bahnke e colaboradores, 2009). O EPOC rápido é representado por uma equação monoexponencial.

Durante o EPOC lento ocorre significativa remoção do lactato, regulação da temperatura corporal, retorno dos níveis de catecolaminas para valores próximos do repouso e diminuição da ventilação pulmonar (Castinheiras Neto, Silva e Farinatti, 2009). O decaimento do VO_2 nessa fase caracteriza-se por uma equação biexponencial. Enquanto que o EPOC ultralento, parece que ele acontece em exercícios intensos com alto demanda de ação muscular excêntrica, onde gera alto índice de mialgia e distúrbio significativo na homeostase do ser humano (Matsuura, Meirelles e Gomes, 2006).

A duração aproximada do EPOC é apresentada na tabela 5 com embasamento em diversas referências (Bertuzzi, 2005; Bertuzzi e colaboradores, 2010b; Castinheiras Neto e Farinatti, 2009; Oliveira, 2007; Stirling, Zakyntinaki e Saltin, 2005; Vivier, 2005).

Continuando o exemplo, após o teste máximo de corrida o sujeito A e o sujeito B cessaram a avaliação, imediatamente ocorreu o EPOC. A Figura 3 mostra como os dados se comportaram durante a coleta do equipamento Cosmed K4 b² através de uma curva do VO_2 não ajustada.

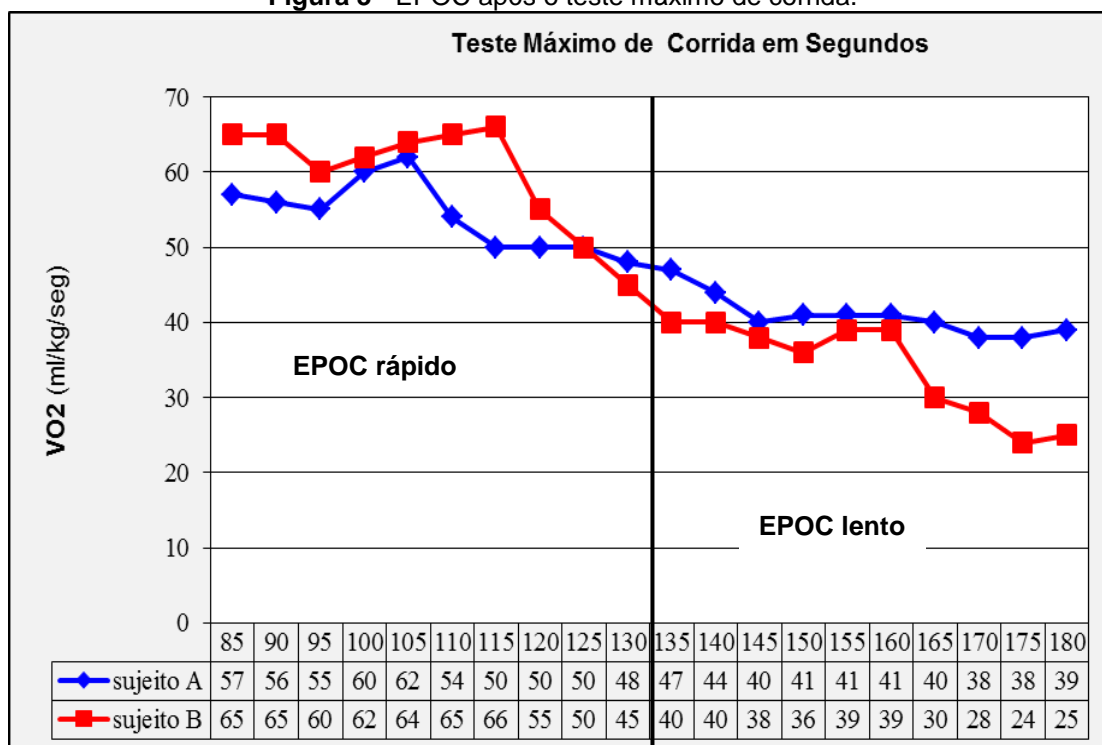
Tabela 5 - Duração Aproximada do EPOC.

EPOC	Duração
Rápido	10 a 180 seg (3 min)
Lento	180 seg (3 min) até muitas horas
Ultralento	Mais de 24 horas

Tabela 6 - Resultados do teste fictício.

Sujeito	EPOC em Segundos	VO ₂ repouso (ml/kg/seg)	EPOC (ml/kg/seg)
A	Rápido = 130 seg	20±0,2	Rápido = 54,20±4,68
	Lento = 180 seg		Lento = 40,90±2,76
B	Rápido = 130 seg	25	Rápido = 59,70±7,30
	Lento = 180 seg		Lento = 33,90±6,45

Figura 3 - EPOC após o teste máximo de corrida.



Imediatamente, os resultados do VO₂ após o teste foram analisados, sendo identificada a média e o desvio padrão do EPOC rápido e do EPOC lento. A tabela 6 mostra esses resultados.

Agora utilize os tempos das fases, a médias do VO₂ de repouso e do EPOC para

calcular os componentes da função exponencial decrescente. Os resultados dos componentes da função exponencial decrescente do EPOC são apresentados na tabela 7, sendo:

Tabela 7 - Resultados dos cálculos.

Sujeito	Amplitude (A) (ml/kg/seg)	Constante Tempo (τ) seg	Tempo de Atraso (σ) seg
A	EPOC rápido = 34,2	EPOC rápido = 60,09	EPOC rápido = 0,0053
	EPOC lento = 20,9	EPOC lento = 94,74	EPOC lento = 0,0038
B	EPOC rápido = 34,7	EPOC rápido = 60,09	EPOC rápido = 0,0053
	EPOC lento = 8,9	EPOC lento = 94,74	EPOC lento = 0,0038
Média ± Desvio Padrão	EPOC rápido = 34,45±0,34	EPOC rápido = 60,09	EPOC rápido = 0,0053
	EPOC lento = 14,90±8,48	EPOC lento = 94,74	EPOC lento = 0,0038

Agora aplique a média da amplitude, da constante tempo, do tempo de atraso e 22,5 ml/kg/seg do VO₂ de repouso (é a média do VO₂ de repouso) na equação da função exponencial decrescente do EPOC. Os cálculos realizados na equação do EPOC rápido e do EPOC lento são iguais aos da fase do VO₂. A única diferença da equação do

A Tabela 8 mostra os resultados do VO_{2(t)} do EPOC, sendo o seguinte:

EPOC	VO_{2(t)} (ml/kg/seg)
rápido	26,47
lento	28,72

A escolha do melhor modelo exponencial permite do pesquisador determinar nas fases do VO₂ ou do EPOC, qual equação gera um melhor ajuste da curva da cinética do VO₂. Segundo Guimarães (2001), “ajustar uma curva a um conjunto de pontos obtidos num experimento é encontrar a função matemática que mais se aproxima do comportamento daquele conjunto de dados obtidos no laboratório” (p. 49).

Inicialmente calcule a média e o desvio padrão do VO₂ na fase I, fase II, na fase III, no

EPOC é que não precisa subtrair por menos 1 quando os resultados elevados forem substituídos pelo tabelado. O EPOC rápido é modelado por uma equação monoexponencial, sendo: $VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [\exp^{-(t-\sigma):T}]$. Enquanto que o EPOC lento é expresso por uma equação biexponencial: $VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [\exp^{-(t-\sigma):T}] + A_2 \cdot [\exp^{-(t-\sigma):T}]$.

A Tabela 8 mostra os resultados do VO_{2(t)} do EPOC, sendo o seguinte:

EPOC rápido e no EPOC lento (Fase I = 37±8 ml/kg/seg, Fase II = 46,60±3,97 ml/kg/seg, Fase III = 58,29±4,54 ml/kg/seg, EPOC rápido = 56,95±6,60 ml/kg/seg, EPOC lento = 37,40±6,02 ml/kg/seg). Em seguida, baseado em Artioli e colaboradores (2012), determine qual o melhor modelo exponencial para ajustar a curva. Continuando utilizar o sujeito A como exemplo, é resolvido um dos cálculos, sendo feito o mesmo no sujeito B.

$$\text{Resíduo do VO}_2 = (\text{VO}_2 \text{ medido} - \text{VO}_{2(t)})^2$$

VO₂ na Fase I = 37 ml/kg/seg

VO_{2(t)} na Fase I = 32,76 ml/kg/seg

$$\text{Resíduo do VO}_2 \text{ na Fase I} = (37 - 32,76)^2 = 17,97 \text{ ml/kg/seg}$$

Após identificar o resíduo do VO₂, veja qual é o melhor modelo exponencial pelo teste F (Artioli e colaboradores, 2012). Sabendo que os resultados do resíduo do VO₂ foram os seguintes: Fase II = 94,47 ml/kg/seg, Fase III =

3969 ml/kg/seg, EPOC rápido = 929 ml/kg/seg e EPOC lento = 75,34 ml/kg/seg. O teste F foi resolvido conforme os ensinamentos de Quilici (2006).

$$F = S \text{ maior} : S \text{ menor}$$

S maior: é o maior resíduo do VO₂

S menor: é o menor resíduo do VO₂

S maior: graus de liberdade (gl) do numerador = (n - 1)

S menor: gl do denominador = (n - 1)

n: é a quantidade de sujeitos da amostra

Por exemplo, sabendo que o teste F é uma divisão, é resolvido um dos cálculos para o leitor ter melhor compreensão. As demais divisões foram feitas igual a esse exemplo.

Fase I (equação monoexponencial) x Fase II (equação biexponencial)

Resíduo do VO₂ da Fase I = 17,97 ml/kg/seg

Resíduo do VO₂ da Fase II = 94,47 ml/kg/seg

$$F = 94,47_{\text{fase II}} : 17,97_{\text{fase I}} = 5,25 \text{ ml/kg/seg}$$

n = 2, logo gl = 2 - 1 = 1

numerador denominador

↓ ↓

F (1,1) = 5,25 ml/kg/seg (resultado do teste F)

Através dos gl, identifique o valor crítico (tabelado) do teste F.

F (1,1) = 5,25	Denominador	Numerador	
		1	2
→	1	161,45	199,50
	2	18,51	19,00
	3	10,13	9,55
	4	7,71	6,94
	5	6,61	5,79

Resultado no Teste F

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$: os valores comparados **não** possuem diferença significativa ($p > 0,05$).

$F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$: os valores comparados **possuem diferença** significativa ($p \leq 0,05$).

Então temos: $F_{\text{calculado}} = 5,25 > F_{\text{tabelado}} = 161,45$, existe diferença significativa ($p \leq 0,05$), Fase II maior do que a Fase I.

Os resultados do teste F são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do teste F.

Comparação	Resultado
Fase I (monoexponencial) x Fase II (biexponencial) $F_{\text{calculado}} = 5,25 > F_{\text{tabelado}} = 161,45$	Diferença significativa ($p \leq 0,05$) Fase I maior do que a Fase II
Fase I (monoexponencial) x Fase III (triexponencial) $F_{\text{calculado}} = 220,86 < F_{\text{tabelado}} = 161,45$	Não possuem diferença significativa ($p > 0,05$)
Fase II (biexponencial) x Fase III (triexponencial) $F_{\text{calculado}} = 42 > F_{\text{tabelado}} = 161,45$	Diferença significativa ($p \leq 0,05$) Fase III maior do que a Fase II
EPOC rápido (monoexponencial) x EPOC lento (biexponencial) $F_{\text{calculado}} = 12,33 > F_{\text{tabelado}} = 161,45$	Diferença significativa ($p \leq 0,05$) EPOC rápido maior do que o EPOC lento

Artioli e colaboradores (2012) estabeleceram a seguinte regra para escolher o melhor modelo exponencial para ajustar a curva do VO_2 nas fases e no EPOC, ela é a seguinte:

Teste F

- . Diferença Significativa ($p \leq 0,05$): escolha o **maior** resultado.
- . Não possui Diferença Significativa ($p > 0,05$): escolha o **menor resíduo**.

Baseado nos valores apresentados na tabela 9, sobre o teste F, os resultados foram: como a fase I e a fase III obtiveram diferença significativa ($p \leq 0,05$) em relação a fase II, a escolha do melhor modelo exponencial no ajuste da curva ficou entre a fase I e a fase III.

O teste F não determinou diferença significativa ($p > 0,05$) entre a fase I e a fase III, logo, deve-se escolher o menor resíduo, sendo da fase I. O pesquisador merece fazer o ajuste da curva por um modelo monoexponencial.

Enquanto que no EPOC, deve-se realizar o ajuste da curva por um modelo monoexponencial porque o EPOC rápido apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) em relação ao EPOC lento.

Após todos esses cálculos, é possível do professor entender como o pacote estatístico realiza suas equações. Caso o professor queira resolver esses cálculos pelo Excel, basta consultar um bom livro que dá para calcular (Frye, 2012). Exceto o gráfico com a curva ajustada da função exponencial

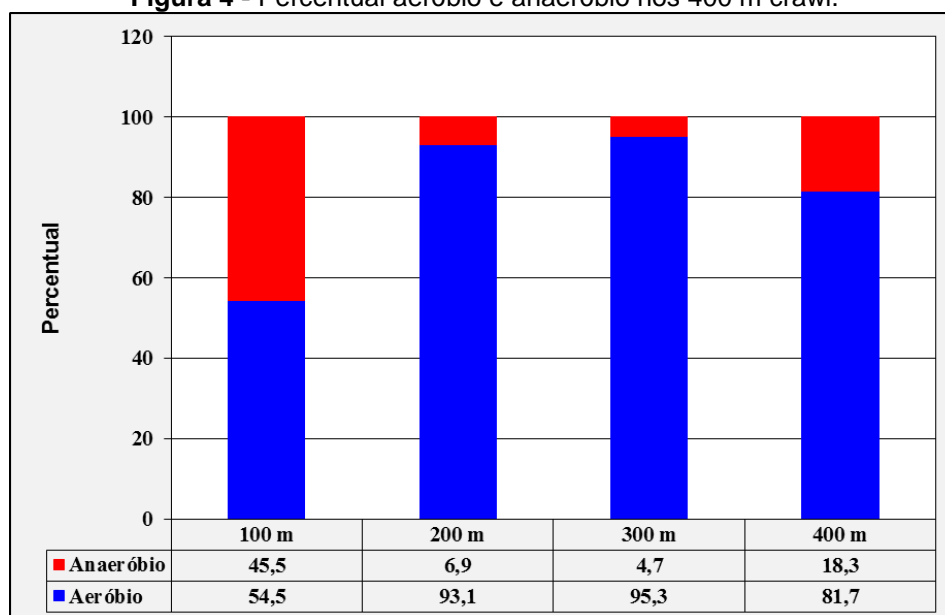
não é possível efetuar de maneira similar no Excel, o ideal é fazer pelo pacote estatístico.

Quando o professor fizer o gráfico da função exponencial no pacote estatístico, ele deve avaliar a qualidade do ajuste da curva através do cálculo do coeficiente de determinação (R^2) (Schmidt Junior, 2010). Quanto mais próximo de 1 estiver o R^2 , melhor será a ajuste da reta dos mínimos quadrados aos pontos da tabela (Guidorizzi, 2012).

CÁLCULOS PARA DETERMINAR A CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS DE ENERGIA DURANTE O EXERCÍCIO

As referências recentes (Laursen, 2010; Hanon e Thomas, 2011) e antigas (Bangsbo, 1996; Nummela e Rusko, 1995) são conclusivas, durante qualquer esporte e atividade física os sistemas de energia atuam em conjunto. Conforme a intensidade e a duração do exercício a solicitação metabólica pode possuir um percentual maior ou menor anaeróbio ou aeróbio (Ferreira, 2010).

Figura 4 - Percentual aeróbio e anaeróbio nos 400 m crawl.



Por exemplo, na prova de 200 metros (m) do atletismo ocorre 29 por cento (%) de contribuição aeróbia e 71% solicitação anaeróbia (Spencer e Gastin, 2001).

Enquanto que na corrida de 400 m, o percentual energético é de 43% aeróbio e 57% anaeróbio, na prova de 800 m a demanda aeróbia aumenta para 66% e a anaeróbia reduz para 34% e na corrida de meio fundo de 1500 m, o componente aeróbio é bem alto, 84%, e o anaeróbio atua em menor proporção, 16%.

Porém, conforme a metragem da disputa esse percentual aeróbio e anaeróbio se modifica em cada trecho da prova, sendo evidenciado no estudo de Laffite e colaboradores (2004) sobre os 400 m nado crawl. A figura 4 mostra a solicitação energética a cada 100 m da prova de 400 m.

Quando pesquisador determina a solicitação metabólica de um esporte ou de uma atividade física, é possível de estabelecer na mesma investigação o custo energético da atividade (Peinado e colaboradores, 2011).

Segundo Reis (2011), o custo energético é a quantidade de energia para o ser humano praticar alguma tarefa, tendo um componente aeróbio e anaeróbio.

O custo energético na maioria dos estudos é expresso em quilocaloria (kcal), joule (J) ou quilojoule (kJ) (Reis e colaboradores, 2011).

O joule e o quilojoule são unidades internacionais para expressar a energia (MaArdle, Katch e Katch, 1998).

A vantagem de saber a solicitação metabólica de um esporte serve para nortear a prescrição do treino conforme a exigência energética da modalidade (Barbanti, 2010).

Enquanto que determinar o custo energético de um esporte e de uma atividade física, é importante para identificar o quanto de energia é solicitada naquele esforço físico, permitindo uma orientação na reposição nutricional do indivíduo (Maughan, Burke e Coyle, 2004) e também, é possível do professor elaborar o treinamento através de cálculos com o intuito de atingir o emagrecimento do praticante (Amorim e Gomes, 2003).

Existem vários modelos matemáticos para estabelecer o custo energético e a contribuição metabólica de uma técnica esportiva, de um esporte e de alguma

atividade física (Beneke e colaboradores, 2004; Scott e colaboradores, 2006).

Pela facilidade do cálculo, a maioria das contas para determinar o custo energético e a contribuição dos sistemas de energia durante o exercício foi baseada na investigação de Artioli e colaboradores (2012).

Após a coleta de dados do custo energético e da demanda energética do esporte e da atividade física, é preciso que o pesquisador esteja atento em alguns quesitos que podem alterar os resultados, sendo indicado que no material e método do artigo, essas variáveis sejam explicadas.

Por exemplo, o tipo de piso que ocorreu a investigação pode ocasionar um maior ou menor custo energético (Kerdok e colaboradores, 2002).

Quando o custo energético é maior por causa do piso, a sistema de energia mais atuante tende ser o anaeróbio por causa do maior esforço.

Na investigação de Moreira (2001), foi comparado no teste vai e vem de 20 m com o gramado molhado versus o seco, sendo evidenciada uma maior percepção subjetiva do esforço quando a grama estava molhada.

Em outro estudo similar, jogadores de voleibol fizeram saltos na areia e na quadra, sendo observado um maior custo energético no salto na areia (Shigeru Muramatsu e colaboradores, 2006).

A natação também pode acontecer um menor custo energético, caso os nadadores realizem o teste com os trajes de nado (a partir de 2010 foram proibidos) (Borges dos Santos e colaboradores, 2010) e/ou depilado (Vilas-Boas, 2001) que diminuem a resistência de fricção (Zatsiorsky, 2004).

A roupa bem justa e extremamente lisa também pode diminuir a resistência fricção em 10% na patinação de velocidade e em 6% no ciclismo (Hall, 1993).

A menor resistência do ar pode ocasionar um menor custo energético, isso é evidenciado nas provas de velocidade e de lançamento do atletismo quando disputada na altitude (Marques Junior, 2012b).

Também, quando uma amostra realiza uma atividade cíclica no laboratório (ciclismo estacionário ou corrida na esteira) e no dia seguinte faz o mesmo na rua, a resistência do ar tende ser menor no laboratório, gerando num menor custo energético (Pugh, 1970).

A velocidade do vento é outro fenômeno da natureza que causa um maior custo energético se o indivíduo estiver correndo ou pedalando contra a esse evento (Davies, 1980).

Outros fatores também afetam o custo energético e a demanda energética durante o exercício, merecendo atenção do professor, como a temperatura e a umidade relativa do ar que é feito o teste (Capelli e di Prampero, 2001).

Portanto, todos esses fatores merecem atenção do pesquisador quando vai realizar uma investigação sobre custo energético e a solicitação metabólica durante o esporte ou sobre a atividade física.

Todos os cálculos ensinados a seguir, podem ser feitos perfeitamente numa planilha do Excel, por causa da sua simplicidade. Inicialmente é feito o cálculo para determinar o

metabolismo anaeróbio aláctico presente no esforço físico (Artoli e colaboradores, 2012).

Lembrando o exemplo utilizado no capítulo anterior, dois sujeitos correram em máxima velocidade por um período de 1 minuto e 20 segundos (80 segundos) e estando com o Cosmed K4 b² para coletar o VO₂ e depois do esforço físico, os testados ficaram com esse equipamento por 10 minutos para coletar os valores do EPOC.

Para calcular o sistema dos fosfagênicos, o professor precisa verificar qual é o melhor ajuste da curva do EPOC, ou seja, pelo modelo monoexponencial ou biexponencial. Então, o cálculo deve ser pelos valores do melhor modelo exponencial.

A equação do metabolismo aláctico é formada por dois componentes da equação do VO₂(t) que estão em amarelo ou em azul. Sendo:

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [\exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

Equação monoexponencial (utilizar os valores em amarelo)

$$\text{Aláctico} = A_1 \cdot \tau = ? \text{ seg}$$

- **A**: amplitude da cinética do VO₂ para o termo exponencial do EPOC.
- **τ**: ajustamento da constante tempo em segundos do EPOC, isso acontece por causa do déficit de O₂.

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{repouso}} + A_1 \cdot [\exp^{-(t-\sigma):\tau}] + A_2 \cdot [\exp^{-(t-\sigma):\tau}]$$

Equação biexponencial (utilizar os valores em azul)

$$\text{Aláctico} = A_2 \cdot \tau = ? \text{ seg}$$

Consultando o capítulo anterior, foi calculado que o melhor ajuste de curva do EPOC é por um modelo monoexponencial, ou seja, pelo EPOC rápido. Agora, utilize os valores do sujeito A (amplitude = 34,2 ml/kg/seg e da constante tempo = 60,09 seg) e

do sujeito B (amplitude = 34,7 ml/kg/seg e da constante tempo = 60,09 seg) do EPOC rápido no cálculo que estabelece a participação do metabolismo anaeróbio aláctico no exercício. Os resultados foram o seguinte:

$$\text{Aláctico} = A_1 \cdot \tau = ? \text{ seg}$$

$$\text{Aláctico do Sujeito A} = 34,2 \cdot 60,09 = \mathbf{2055,07} \text{ ml/kg/seg}$$

O resultado do sujeito B foi de 2085,12 ml/kg/seg. Agora converta o resultado do metabolismo anaeróbio aláctico de mililitro (ml) para litro (l) de acordo com os ensinamentos de McArdle, Katch e Katch (1992).

$$\text{Converter de ml para litro} = \text{Aláctico ml/kg/seg} \cdot 0,001 = ? \text{ l/kg/seg}$$

$$\text{Converter de ml para litro} = 2055,07 \cdot 0,001 = \mathbf{2,055} \text{ l/kg/seg}$$

Segundo Gastin (2001), 1 litro de O₂ é igual a 20,92 kJ, logo realize o cálculo que converte litros em quilojoule (kJ). Faça isso com o resultado do sistema ATP-CP.

Converter de litros para quilojoule (kJ) = Aláctico em l/kg/seg . 20,92 = ? kJ

Converter de litros para quilojoule (kJ) = 2,055 . 20,92 = ~ 43 kJ

O sujeito B teve os seguintes resultados na conversão: 2,085 l/kg/seg e ~ 44 kJ. Agora determine a média e o desvio padrão do metabolismo anaeróbio aláctico baseado no sujeito A e B, sendo 43,50±0,70 kJ.

O uso do lactato [La] tem sido utilizado para avaliar o condicionamento aeróbio ou prescrever o treino nesse metabolismo através dos limiares de lactato (Kiss, 2003; Mader, 1991, Stegman, Kindermann e Schabel, 1981).

Segundo Di Prampero e Ferretti (1999), através de cálculos matemáticos eles assumiram que é possível mensurar o metabolismo glicolítico através do [La]. Esses autores determinaram que 1 mmol/l de [La] é

igual a 3 ml/O₂/kg, merecendo que o [La] colhido seja multiplicado por três na equação que estabelece o sistema anaeróbio láctico.

Porém, existem alguns pesquisadores a favor e contra desse método (Bertuzzi e colaboradores, 2009; Scott, 2005), mas recentemente foi evidenciado em estudo que mensurar o metabolismo láctico por esse procedimento é eficaz (Bertuzzi, 2008; Bertuzzi e colaboradores, 2010).

Por esse motivo Artioli e colaboradores (2012) recomendaram o [La] para mensurar o sistema glicolítico. Os procedimentos são os seguintes:

a) Em repouso, o avaliador deve coletar o [La] no lóbulo da orelha do testado.

b) Após o exercício, o pesquisador precisa coletar o [La] no período de 3 minutos (min), 5 min e 7 min para achar o pico do [La]. O maior valor achado em um desses tempos é o pico do [La].

O Cosmed K4 b² possui peso de 1 quilo e 100 gramas (g) (550 g do aparelho e 550 g da bateria) (McLaughlin e colaboradores, 2001), sendo recomendável que o peso do equipamento seja acrescido a equação do sistema anaeróbio láctico que utiliza a massa corporal total quando o avaliado carrega o

instrumento no teste (Reis, 2006). Caso isso não aconteça, por exemplo, no uso da bicicleta estacionária no laboratório, não utilize o peso do equipamento na equação.

A equação que estabelece o sistema anaeróbio láctico é simples, sendo a seguinte:

$$\text{Láctico} = [(\text{Pico [La]} - \text{Pausa [La]}) \cdot 3] \cdot [\text{massa corporal total em kg} + \text{peso do Cosmed}] = ? \text{ ml/kg/seg}$$

$$\uparrow$$

$$1 \text{ mmol/l de [La]} = 3 \text{ ml/O}_2/\text{kg}$$

$$\text{Láctico do Sujeito A} = [(10 - 1,5) \cdot 3] \cdot [85 + \text{peso do Cosmed}] = ? \text{ ml/kg/seg}$$

O Cosmed possui 1 quilo e 100 gramas, então, iguale as unidades de medida conforme os ensinamentos de McArdle, Katch e Katch (1992).

Converter de gramas (g) para quilogramas (kg) = gramas . 0,001 = kg

Converter de gramas (g) para quilogramas (kg) = 100 . 0,001 = 0,1 kg

Some os valores do Cosmed para aplicar na equação, sendo o seguinte:

Valores em quilogramas = kg do equipamento + valor convertido = ? kg

Valores em quilogramas = 1 + 0,1 = 1,1 kg

Agora resolva a equação do sistema anaeróbio láctico.

$$\text{Láctico do Sujeito A} = [(10 - 1,5) \cdot 3] \cdot [85 + 1,1]$$

$$\text{Láctico do Sujeito A} = [8,5 \cdot 3] \cdot 86,1$$

$$\text{Láctico do Sujeito A} = 25,5 \cdot 86,1 = \mathbf{2195,55 \text{ ml/kg/seg}}$$

No cálculo que determina o sistema anaeróbio láctico o sujeito B teve o resultado de 3162,9 ml/kg/seg. Imediatamente realize a mesma conversão que praticou anteriormente (no metabolismo alático), mas agora no sistema anaeróbio láctico, de mililitro (ml) para litro (l) e depois de litro para quilojoule (kJ).

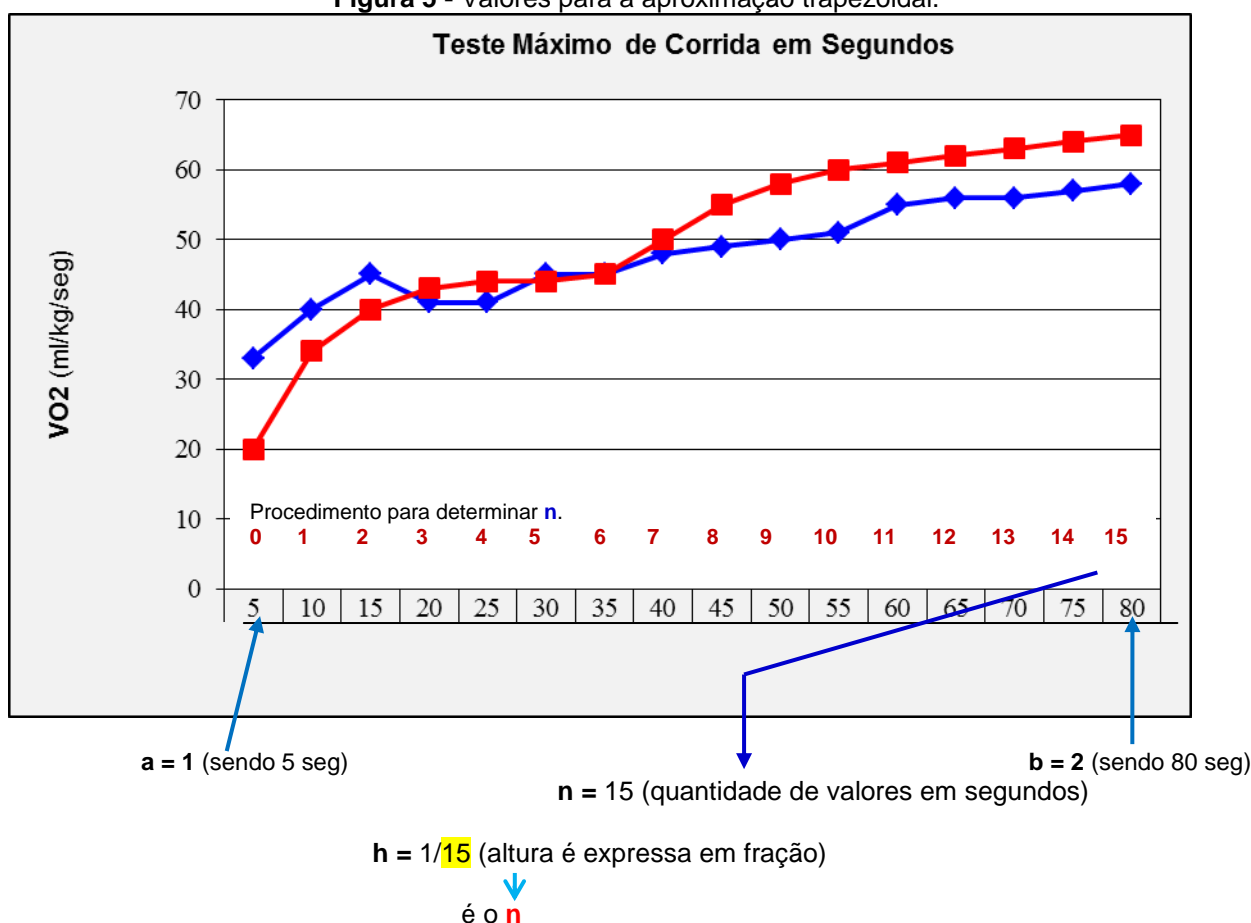
Os resultados da conversão foram os seguintes: sujeito A com 2,19 l/kg/seg e 46 kJ e sujeito B com 3,1629 l/kg/seg e 66,16 kJ. Agora determine a média e o desvio padrão do metabolismo anaeróbio láctico, sendo $56,08 \pm 14,25$ kJ.

O cálculo do metabolismo aeróbio é mais trabalhoso, iniciando as contas através do método trapezoidal. A resolução do método trapezoidal foi baseada em várias referências (Munem e Foulis, 1982; Thomas e Finney, 1982; Weber, 1976), ele calcula a melhor aproximação da área sob a curva do VO_2 durante o exercício. Portanto, os resultados do EPOC não entram nessa conta. Inicialmente você deve consultar o gráfico das fases do VO_2 e destacar os seguintes números para fazer a aproximação trapezoidal, sendo o seguinte:

- **a:** É o primeiro valor do eixo das abcissas ou da horizontal (eixo x), correspondendo no gráfico o tempo em segundos. Tendo 1 como valor pré-determinado.
- **b:** É o último valor do eixo das abcissas ou da horizontal (eixo x), correspondendo no gráfico o tempo em segundos. Tendo 2 como valor pré-determinado de 1.
- **n:** É a quantidade de segundos da horizontal (x), o primeiro valor sempre é iniciado por zero.
- **h:** É a altura, sendo expresso por uma fração, ou seja, o numerador será 1 e o denominador corresponde o n dos segundos.

A figura 5 apresenta os seguintes números para a aproximação trapezoidal, sendo:

Figura 5 - Valores para a aproximação trapezoidal.



Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

Agora aplique esses valores ($a = 1$, $b = 2$, $n = 15$ e $h = 1/15$) na fórmula X e Y.

$$X_0 = a = 1$$

$$Y_0 = 1^2 \longrightarrow n = 15, a = 1 \longrightarrow 15 \cdot 1 = 15$$

15/15 (o denominador é 15 porque $h = 1/15$, sempre o resultado de Y é expresso em fração)

$$(15/15)^2 = 225/225 \text{ (como 1 de } Y_0 \text{ está elevado ao quadrado, deve-se fazer esta conta)}$$

Depois de resolver X_0 e Y_0 , agora calcule X_1 e Y_1 .

$$X_1 = a + h \longrightarrow a = 15 \text{ (calculado no } Y_0), h = 1/15, \text{ agora coloque em } X_1 \text{ os valores de } a \text{ e } h \text{ para somar}$$

$$X_1 = a + h \longrightarrow 15 + 1/15 = 16/15, \text{ depois resolva } Y_1$$

$$Y_1 = (X_1)^2 \longrightarrow (16/15)^2 = 256/225$$

Agora calcule X_2 e Y_2 .

$$X_2 = a + 2h \longrightarrow a = 15, h = 1/15, \text{ agora resolva o cálculo } 2h$$

$$2h = 2 \cdot 1/15 = 2/15, \text{ Sabendo os valores de } a \text{ e } h, \text{ calcule em } X_2.$$

$$X_2 = a + 2h \longrightarrow 15 + 2/15 = 17/15, \text{ depois resolva } Y_2$$

$$Y_2 = (X_2)^2 \longrightarrow (17/15)^2 = 289/225$$

O cálculo de X_3 e Y_3 é igual ao de X_2 e Y_2 , somente muda o valor da multiplicação de $2h$ para $3h$.

$$X_3 = a + 3h \longrightarrow a = 15, h = 1/15, \text{ agora resolva o cálculo } 3h$$

$$3h = 3 \cdot 1/15 = 3/15, \text{ Sabendo os valores de } a \text{ e } h, \text{ calcule em } X_3.$$

$$X_3 = a + 3h \longrightarrow 15 + 3/15 = 18/15, \text{ depois resolva } Y_3$$

$$Y_3 = (X_3)^2 \longrightarrow (18/15)^2 = 324/225$$

Conforme é calculado X e Y, o número da multiplicação aumenta. Por exemplo, $X_4 = a + 4h$, $X_5 = a + 5h$ e assim por diante, mas os demais cálculos são iguais ao que foi explicado em X_2 e Y_2 ou em X_3 e Y_3 . Então, a partir de Y_4 , somente o leitor vai ter acesso aos resultados. Os valores calculados foram

os seguintes: $Y_4 = 361/225$, $Y_5 = 400/225$, $Y_6 = 441/225$, $Y_7 = 484/225$, $Y_8 = 529/225$, $Y_9 = 576/225$, $Y_{10} = 625/225$, $Y_{11} = 676/225$, $Y_{12} = 729/225$, $Y_{13} = 784/225$ e $Y_{14} = 841/225$.

Sempre o último cálculo difere dos demais, nesse exemplo é X_{15} e Y_{15} .

$$X_{15} = b = 2$$

$$Y_{15} = 2^2 \longrightarrow n = 15, b = 2 \longrightarrow 15 \cdot 2 = 30$$

30/15 (o denominador é 15 porque $h = 1/15$, sempre o resultado de Y é expresso em fração)

$$(30/15)^2 = 900/225 \text{ (como 2 de } Y_{15} \text{ está elevado ao quadrado, deve-se fazer esta conta)}$$

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpex.com.br

Aplice os valores calculados na fórmula do trapezoidal para determinar a melhor aproximação da área sob a curva do VO₂ durante o exercício.

$$T = (b - a/2.n) \cdot (Y_0 + 2Y_1 + 2Y_2 + 2Y_3 + \dots + Y_{15})$$

Resolva essas contas

$$b = 2, a = 1, n = 15$$

$$T = 2 - 1/2.15 = \mathbf{0,033}$$

Calcule o resto da fórmula do trapezoidal, somente o que está em azul e em amarelo.

$$T = (b - a/2.n) \cdot (Y_0 + 2Y_1 + 2Y_2 + 2Y_3 + \dots + Y_{15})$$

Já foi calculado anteriormente

$$T = 0,033 \cdot (Y_0 + 2Y_1 + 2Y_2 + 2Y_3 + \dots + Y_{15})$$

a) Utilize Y no cálculo, foi a 2ª conta do trapezoidal.

b) O Y₀ e o Y₁₅ são mesmos valores das contas anteriores.

$$Y_0 = 225/225$$

$$Y_{15} = 900/225$$

c) Multiplique o numerador de Y por 2 (2Y₁ + 2Y₂ ... + 2Y₁₄)

$$\left. \begin{aligned} 2Y_1 &= 2 \cdot 256/225 = 512/225 \\ 2Y_2 &= 2 \cdot 289/225 = 578/225 \\ 2Y_3 &= 2 \cdot 324/225 = 648/225 \end{aligned} \right\}$$

d) Essas multiplicações foram feitas até o Y₁₄.

e) Os **resultados** foram o seguintes: Y₄ = 722/225, Y₅ = 800/225, Y₆ = 882/225, Y₇ = 968/225, Y₈ = 1058/225, Y₉ = 1152/225. Y₁₀ = 1250/225, Y₁₁ = 1352/225, Y₁₂ = 1458/225, Y₁₃ = 1568/225 e Y₁₄ = 1682/225.

Após essas multiplicações, some todos esses valores do numerador e também deve incluir os números de Y₀ (225/225) e Y₁₅ (900/225) que não foram multiplicados.

$$T = 0,033 \cdot \frac{(225 + 512 + 578 + 648 + 722 + 800 + 882 + 968 + 1058 + 1152 + 1250 + 1352 + 1458 + 1568 + 1682 + 900)}{225}$$

a) Resultados da Soma = $15755/225$

b) Divida o resultado da soma por Y_0 (15/15) **sem estar elevado ao quadrado**.

$$\frac{15755}{225} \cdot \frac{15}{15} = \frac{1050,33}{15}$$

c) **Multiplique** apenas **numerador** por **numerador** e **denominador** por **denominador**.

$$T = 0,033 \cdot \frac{1050,33}{15}$$

d) **Divida** os resultados da multiplicação para determinar a **Aproximação Trapezoidal**.

$$T = \frac{34,66}{15} = 2,31$$

e) Aplique os resultados da **aproximação trapezoidal** no cálculo do **Metabolismo Aeróbio**.

Para iniciar o cálculo do metabolismo aeróbio, determine a média do VO_2 durante o exercício nas três fases. Isso você merece realizar com o sujeito A e depois com o sujeito B. O resultado foi o seguinte: sujeito A com

$48,13 \pm 7,23$ ml/kg/seg e sujeito B com $50,38 \pm 12,94$ ml/kg/seg. Agora resolva a conta do metabolismo aeróbio através de uma subtração dos valores do sujeito A e arme o cálculo do maior número para o menor.

$VO_{2\text{ exercício}} = 48,13 \pm 7,23$ ml/kg/seg (média)

$VO_{2\text{ repouso}} = 20 \pm 0,2$ ml/kg/seg (média)

Aproximação Trapezoidal = **2,31**

Duração Total do Exercício = **80** seg

$$\text{Aeróbio do Sujeito A} = 80 - 48,13 - 20 - 2,31 = \sim 10 \text{ ml/kg/seg}$$

O mesmo cálculo do metabolismo aeróbio foi efetuado com o sujeito B, sendo $2,31$ ml/kg/seg. Fazer a mesma conversão que no metabolismo anaeróbio láctico, mas agora pratique no sistema aeróbio, de mililitro (ml) para litro (l) e depois de litro para quilojoule (kJ). Os resultados foram os seguintes no metabolismo aeróbio: sujeito A com $0,01$ l/kg/seg e $\sim 0,21$ kJ e sujeito B com $0,0023$ l/kg/seg e $\sim 0,05$ kJ. A média e o desvio padrão do metabolismo aeróbio foi de $0,13 \pm 0,11$ kJ.

Os resultados dos cálculos sobre a solicitação metabólica estiveram de acordo com a literatura (Janssen, 2001; Marques

Junior, 2001), um esforço máximo no período de 1 minuto e 20 segundos a maior demanda energética e do anaeróbio láctico ($56,08 \pm 14,25$ kJ), seguido do metabolismo anaeróbio alático ($43,50 \pm 0,70$ kJ) e tendo menor participação do componente aeróbio ($0,13 \pm 0,11$ kJ).

Sabendo os valores em kJ do sujeito A e do sujeito B do sistema anaeróbio alático, do sistema anaeróbio láctico e do sistema aeróbio, calcule o total de energia expendida (Artioli e colaboradores, 2012) no teste de corrida de máxima velocidade por 1 minuto e 20 segundos (80 segundos).

$$\text{Total de Energia Expendida} = \text{aláctico em kJ} + \text{láctico em kJ} + \text{aeróbio em kJ} = ? \text{ kJ}_{(\text{total})}$$

$$\text{Total de Energia Expendida do Sujeito A} = 43 + 46 + 0,21 = 89,21 \text{ kJ}_{(\text{total})}$$

O sujeito B teve um total de energia expendida de 110,21 kJ. A média e o desvio padrão do total de energia expendida foi de $99,71 \pm 14,84$ kJ.

Caso queira saber o total de energia expendida por minuto basta realizar uma conversão indicada por Marques Junior (2012).

$$\text{Converter os segundos para minutos} = \text{segundos do teste} : 60 = ? \text{ minutos}$$

$$\text{Converter os segundos para minutos} = 80 : 60 = \mathbf{1,33} \text{ minutos}$$

Agora passe o resultado do total de energia expendida (está em kJ) para quilojoule por minuto (kJ/min) e depois determine a média e desvio padrão desse cálculo.

$$\text{Total de energia expendida em kJ/min} = \text{kJ} : \text{minutos do teste} = ? \text{ kJ/min}$$

$$\text{Total de energia expendida em kJ/min do Sujeito A} = 89,21 \text{ kJ} : 1,33 = \mathbf{67,07} \text{ kJ/min}$$

O sujeito B obteve um total de energia expendida de 82,86 kJ/min e a média e o desvio padrão desses dois sujeitos foi de $74,96 \pm 11,16$ kJ/min.

Portanto, através desses cálculos o leitor conseguiu entender como se resolve as contas da demanda energética durante o exercício, podendo ser facilmente calculada por excel.

CONCLUSÃO

O artigo de revisão explicou os mecanismos fisiológicos da cinética do VO₂ durante o exercício e após essa atividade. Mas ensinou a matemática que interpreta o funcionamento do VO₂ no esforço físico e depois do exercício. Também o leitor tomou conhecimento em como determinar a solicitação metabólica do esporte e do exercício através de cálculos matemáticos.

Em conclusão, conhecer a matemática do VO₂ e da contribuição do sistema de energia durante o exercício facilita o entendimento desse conteúdo da fisiologia do exercício.

AGRADECIMENTOS

Aos bibliotecários da biblioteca de estatística, matemática e engenharia da UGF Piedade do RJ pela excelente atenção prestada.

REFERÊNCIAS

- 1-Amorim, P.; Gomes, T. Gasto energético na atividade física. Rio de Janeiro. Shape. 2003. p. 57-139.
- 2-Artioli, G.; Bertuzzi, R.; Roschel, H.; Mendes, S.; Lancha Junior, A.; Franchini, E. Determining the contribution of the energy systems during exercise. Journal of Visualized Experiments. Núm. 61. p. 1-5. 2012.
- 3-Bahnke, B.; Ferreira, L.; McDonough, P.; Misch, T.; Poole, D. Recovery dynamics of skeletal muscle oxygen uptake during the exercise off-transient. Respiratory, Physiology and Neurobiology. Vol. 168. Núm. 3. p. 254-260. 2009.
- 4-Bailey, S.; Vanhatalo, A.; Wilkerson, D.; DiMenna, F.; Jones, A. Optimizing the "priming" effect: influence of prior exercise intensity and recovery duration on O₂ uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. Journal of Applied Physiology. Vol. 107. Núm. 6. p. 1743-1750. 2009.
- 5-Bangsbo, J. Oxygen deficit: a measure of the anaerobic energy production during intense exercise? Canadian Journal of Applied Physiology. Vol. 21. Núm. 5. p. 350-363. 1996.
- 6-Barbanti, V. Treinamento esportivo: as capacidades motoras dos esportistas. Barueri. Manole. p. 76-79. 208-233. 2010.

- 7-Barstow, T. Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 26. Núm. 11. p. 1327-1334. 1994.
- 8-Bell, C.; Paterson, D.; Kowalchuk, J.; Padilla, J.; Cunningham, D. A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Experimental Physiology*. Vol. 8. Núm. p. 667-676. 2001.
- 9-Bertuzzi, R. Estimativa das contribuições dos sistemas energéticos e do gasto energético total na escalada esportiva indoor. Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo. 2005.
- 10-Bertuzzi, R. Estimativa dos metabolismos anaeróbios no déficit acumulado de oxigênio. Tese de Doutorado. USP. São Paulo. 2008.
- 11-Bertuzzi, R.; Rumenig-Souza, E. Resposta da cinética do consumo de oxigênio: relações entre metabolismo aeróbio e ATP-CP. *Arquivos e Movimento*. Vol. 5. Núm. 1. p. 99-118. 2009.
- 12-Bertuzzi, R.; Lima Silva, A.; Abad, C.; Pires, F. Metabolismo do lactato: uma revisão sobre a bioenergética e a fadiga muscular. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. Vol. 11. Núm. 2. p. 226-234. 2009.
- 13-Bertuzzi, R.; Franchini, E.; Ugrinowitsch, C.; Kokubun, E.; Lima Silva, A.; Pires, F. Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 31. Núm. p. 477-481. 2010a.
- 14-Bertuzzi, R.; Lima Silva, A.; Pires, F.; Kiss, M. Determinação visual do componente rápido do excesso de consumo de oxigênio após o exercício. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 16. Núm. 2. p. 139-143. 2010b.
- 15-Beneke, R.; Beyer, T.; Jachner, C.; Erasmus, Hütler, J. Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 92. p. 518-523. 2004.
- 16-Borges dos Santos, K.; Bento, P.; Souza, B.; Rodacki, A. O efeito de diferentes trajes de natação sobre a performance durante duas intensidades de nado. *Revista de Educação Física/UEM*. Vol. 21. Núm. 4. p. 611-616. 2010.
- 17- Burnley, M.; Jones, A. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*. Vol. 7. Núm. 2. p. 63-79. 2007.
- 18- Campos, E.; Bastos, F.; Papoti, M.; Freitas Junior, I.; Gabatto, C.; Balikian Junior, P. The effects of physical fitness and body composition on oxygen consumption and heart rate recovery after high-intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 33. p. 1-6. 2012.
- 19-Cannon, D.; White, A.; Andriano, M.; Kolkhorst, F.; Rossiter, H. Skeletal muscle fatigue precedes the slow component of oxygen uptake kinetics during exercise in humans. *Journal Physiology*. Vol. 589. Núm. 3. p. 727-739. 2011.
- 20-Capelli, C.; Di Prampero, P. Physiological factors affecting running performance. In: Bangsbo, J.; Larsen, H. (Eds.). *Running and science*. Copenhagen: University of Copenhagen. p. 67-83. 2001.
- 21-Castinheiras Neto, A.; Farinatti, P. Consumo de O₂ após o exercício resistido: uma abordagem crítica sobre os fatores determinantes de sua magnitude e duração. *Brazilian Journal of Biomotricity*. Vol. 3. Núm. 2. p. 96-110. 2009.
- 22-Castinheiras Neto, A.; Silva, N.; Farinatti, P. Influência das variáveis do treinamento contra-resistência sobre o consumo de oxigênio em excesso após o exercício: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 15. Núm. 1. p. 70-78. 2009.
- 23-Damasceno, M.; Bertuzzi, R.; Pires, F.; Oliveira, C.; Barros, R.; Gagliardi, J.; Silva, T.; Kiss, M.; Lima Silva, A. Relação entre cinética do consumo de oxigênio e a estratégia de corrida em uma prova de 10 km. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 17. Núm. 5. p. 354-357. 2011.
- 24-Davies, C. Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *Journal of Applied Physiology: respiratory*,

Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbpfex.com.br

- environmental and exercise physiology. Vol. 48. Núm. 4. p. 702-709. 1980.
- 25-DiMenna, F.; Wilkerson, D.; Burnley, M.; Bailey, S.; Jones, A. Priming exercise speeds pulmonary O₂ uptake kinetics during supine "work-to-work" high-intensity cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 108. Núm. 3. p. 283-292. 2010.
- 26-Di Prampero, P.; Ferretti, G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration Physiology*, Vol. 118. p. 103-115. 1999.
- 27-Dowling E. Matemática aplicada à economia e administração. São Paulo: McGraw-Hill. p. 127-128. 1981.
- 28-Fawkner, S.; Armstrong, N. Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. *Sports Medicine*. Vol. 33. Núm. 9. p. 651-659. 2003.
- 29-Ferreira, R. Demanda fisiológica do handebol. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*. Vol. 9. Núm. 2. p. 73-82. 2010.
- 30-Figueira, T. Efeito do exercício prévio sobre os parâmetros da cinética do VO₂ durante o exercício moderado em ciclistas e indivíduos sedentários. Dissertação de Mestrado. UNESP. Rio Claro. 2007.
- 31-Fleck, S.; Kraemer, W. Fundamentos do treinamento de força muscular. 2ª edição. Porto Alegre. Artmed. p. 62. 1999.
- 32-Frye, C. Microsoft Excel 2010: passo a passo. Porto Alegre. Bookman. p. 60-81. 2012
- 33-Gaesser, G.; Poole, D. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise Sport Science Review*. Vol. 24. p. 35-70. 1996.
- 34-Gastin, P. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*. Vol. 31. Núm. 10. p. 725-741. 2001.
- 35-Guidetti, L.; Emerenziani, G.; Gallotta, M.; Gregorio Da Silva, S.; Baldari, C. Energy cost and energy sources of a ballet dance exercise in female adolescents with different technical ability. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 103. p. 315-321. 2008.
- 36-Guidorizzi, H. Um curso de cálculo. 5ª edição. Vol. 2. Rio de Janeiro. LTC. p. 340-64. 409-411. 2012.
- 37-Guimarães, P. Ajuste de curvas experimentais. Santa Maria. Editora UFSM. p. 31, 49. 2001.
- 38-Gurd, B.; Peters, S.; Heigenhauser, G.; LeBlanc, P.; Doherty, T.; Paterson, D.; John M. Kowalchuk, J. Prior heavy exercise elevates pyruvate dehydrogenase activity and muscle oxygenation and speeds O₂ uptake kinetics during moderate exercise in older adults. *American Journal of Physiology - regulatory, integrative and comparative physiology*. Vol. 297. Núm. 3. p. R877-R884. 2009.
- 39-Hall, S. Biomecânica Básica. Rio de Janeiro. Guanabara. 1993. p. 272.
- 40-Hanon, C.; Thomas, C. Effects of optimal pacing strategies for 400-, 800-, and 1500 m races on the VO₂ response. *Journal of Sports Sciences*. Vol. 29. Núm. 9. p. 905-912. 2011.
- 41-Hill, A.; Lupton, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Quarterly Journal of Medicine*. Vol. 16. Núm. p. 135-171. 1923.
- 42-Hirai, D.; Okuno, N.; Perandini, L.; Puga, G.; Simões, H.; Nakamura, F. Cinética do consumo de oxigênio durante exercício supra-máximos: aplicação de modelos matemáticos. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. Vol. 10. Núm. 1. p. 43-49. 2008.
- 43-Huettenmueller, R. Pré-cálculo sem mistério. Rio de Janeiro. Alta Books. p. 201-205. 254-257. 2011.
- 44-Janssen, P. Lactate threshold training. Champaign. Human Kinetics. p. 1-24. 2001.
- 45-Kerdok, A.; Biewener, A.; McMahon, T.; Weyand, P.; Herr, H. Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 92. Núm. 2. p. 469-478. 2002.

- 46-Kiss, M. Esporte e exercício. São Paulo. Roca. p. 144-152. 2003.
- 47-Kriatselis, C.; Nedios, S.; Kelle, S.; Helbig, S.; Gottwik, M.; Bary, C. Oxygen kinetics and heart rate response during early recovery from exercise in patients with heart failure. *Cardiology Research and Practice*. p. 1-7. 2012.
- 48-Kemps, H.; Schep, G.; Hoogsteen, J.; Thijssen, E.; De Vries, W.; Zonderland, M.; Doevendans, P. Oxygen uptake kinetics in chronic heart failure: clinical and physiological aspects. *Netherlands Heart Journal*. Vol. 17. Núm. 6. 2009.
- 49-Laffite, L.; Vilas-Boas, J.; Demarle, A.; Silva, J.; Fernandes, R.; Billat, V. Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology*. Vol. 29. Núm. suppl. p. 1-15. 2004.
- 50-Lamarra, N.; Whipp, B.; Ward, S.; Wasserman, K. Effect of inter-breath fluctuations on characterizing gas exchange kinetics. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 62. Núm. 5. p. 2003-2012. 1987.
- 51-Laursen, P. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. Vol. 20. Núm. S2. p. 1-10. 2010.
- 52-Lima, R. Identificação de parâmetros pelo método dos mínimos quadrados não linear. *Iniciação Científica*. PUC-RJ. Rio de Janeiro. 2009.
- 53-Lima Silva, A.; Oliveira, F. Consumo de oxigênio durante o exercício físico: aspectos temporais e aspectos de curvas. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. Vol. 6. Núm. 2. p. 73-82. 2004.
- 54-Mader, A. Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Vol. 31. Núm. 1. p. 1-19. 1991.
- 55-Marques Junior, N. Metabolismo energético no trabalho muscular do treino competitivo ou do fitness. *Revista Mineira de Educação Física*. Vol. 9. Núm. 1. p. 63-73. 2001.
- 56-Marques Junior, N. Estatística aplicada ao esporte e a atividade física. Sem Ed. Rio de Janeiro. 2012a.
- 57-Marques Junior, N. Alterações fisiológicas na altitude e a prescrição do treinamento. *Lecturas: Educación Física y Deportes*. Ano. 17. Núm. 168. p. 1-7. 2012b.
- 58-Marwood, S.; Constantin-Teodosiu, D.; Casey, E.; Whyte, M.; Boobis, L.; Bowtell, J. No acetyl group deficit is evident at the onset of exercise at 90% of maximal oxygen uptake in humans. *Journal of Sports Sciences*. Vol. 28. Núm. 3. p. 267-279. 2010.
- 59-Matsuura, C.; Meirelles, C.; Gomes, P. Gasto energético e consumo de oxigênio pós-exercício contra-resistência. *Revista de Nutrição*. Núm. 19. Núm. 6. p. 729-740. 2006.
- 60-Maughan, R.; Burke, L.; Coyle, E. Food, nutrition and sports performance II. New York. Routledge. p. 1-23. 204-228. 2004.
- 61-McArdle, W.; Katch, F.; Katch, V. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 3ª edição. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan. p. 482-485. 1992.
- 62-McArdle, W.; Katch, F.; Katch, V. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 4ª edição. Rio de Janeiro. Guanabara Kooga. p. 79. 1998.
- 63-McLaughlin, J.; King, G.; Howley, E.; Bassett, D.; Ainsworth, B. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 22. p. 280-284. 2001.
- 64-Mezzani, A.; Grassi, B.; Giordano, A.; Corrà, U.; Colombo, S.; Giannuzzi, P. Age-related prolongation of phase I of VO₂ on-kinetics in health humans. *American Journal of Physiology - regulatory, integrative and comparative physiology*. Vol. 299. p. R968-R976. 2010.

- 65-Moreira, G. A influência do gramado molhado sobre o desempenho em um teste progressivo para jogadores de futebol. Dissertação de Mestrado. UCS. Caxias do Sul. 2001.
- 66-Moretin, P.; Hazzan, S.; Bussab, W. Cálculo: funções de uma e várias variáveis. 2ª edição. São Paulo. Saraiva. p. 94-96. 2010.
- 67-Munem, M.; Foulis, D. Cálculo. Vol. 1. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. p. 330-336. 1982.
- 68-Murias, J.; Kowalchuk, J.; Peterson, D. Speeding of VO₂ kinetics with endurance training in old and young men is associated with improved matching of local O₂ delivering to muscle O₂ utilization. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 108. Núm. 4. p. 913-922. 2010.
- 69-Murias, J.; Spencer, M.; Kowalchuk, J.; Peterson, D. Influence of phase I duration on phase II VO₂ kinetics parameters estimates in older and young adults. *American Journal of Physiology - regulatory, integrative and comparative physiology*. Vol. 301. p. R218-R224. 2011.
- 70-Murgatroyd, S.; Ferguson, C.; Ward, S.; Whipp, B.; Rossiter, H. Pulmonary O₂ uptake kinetics as a determined of high-intensity exercise tolerance in humans. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 110. Núm. 6. p. 1598-1606. 2011.
- 71-Nummela, A.; Rusko, H. Time course of aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 16. Núm. 8. p. 522-527. 1995.
- 72-Oliveira, N. Avaliação do impacto da ordem de diferentes modos de exercício na magnitude e duração do consumo excessivo de O₂ pós-exercício. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto. Porto. 2007.
- 73-Powers, S.; Howley, E. Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 3ª edição. São Paulo. Manole. p. 191-192. 2000.
- 74-Peinado, P.; Sánchez, M.; Martínez, E.; Coto, R.; Molina, V.; Lozado, A.; Montero, F. Gasto energético aeróbico y anaeróbico en un circuito con cargas a seis intensidades diferentes. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. Vol. 7. Núm. 7. p. 174-190. 2011.
- 75-Pugh, L. Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *Journal of Physiology*. Vol. 207. p. 823-835. 1970.
- 76-Querido, A. Comparação entre o método matemático e o método de intervalos rígidos na determinação da slow componente do VO₂ num teste de tempo limite ao VO₂máx em natação pura desportiva. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto. Porto. 2006.
- 77-Quilici, V. Uso da estatística como ferramenta para determinar a periodicidade das calibrações: exemplos. ENQUALAB 2006 – Congresso e Feira da Qualidade em Metrologia. São Paulo. 2006.
- 78-Reis, V. Doutorado em ciências do desporto: práticas laboratoriais em fisiologia. Vila Real. UTAD. slide da aula. 2006.
- 79-Reis, V. Gasto energético, custo energético aeróbio e custo energético anaeróbio. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. Vol. 13. Núm. 6. p. 484-487. 2011.
- 80-Reis, J.; Júnior, R.; Zajac, A.; Oliveira, D. Energy Cost of Resistance Exercises: an Uptade. *Journal of Human Kinetics*. Núm. Special. p. 33-39. 2011.
- 81-Schmidt Junior, L. Obtenção de equações de desempenho de difusores de ar. TCC de Graduação em Engenharia Mecânica. UFRGS. Rio Grande do Sul. 2010.
- 82-Scott, C. Misconceptions about aerobic and anaerobic energy expenditure. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. Vol. 2. Núm. 2. p. 32-37. 2005.
- 83-Scott, C.; Littlefield, N.; Chason, J.; Bunker, M.; Asselin, E. Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutrition and Metabolism*. Vol. 3. Núm. 1. p. 1-5. 2006.

84-Shigeru Muramatsu, S.; Fukudome, A.; Miyama, M.; Arimoto, M.; Kijima, A. Energy expenditure in maximal jumps on sand. *Journal of Physiological Anthropology*. Vol. 25. Núm. 1. p. 59-61. 2006.

85-Sousa, A.; Figueiredo, P.; Keskinen, K.; Rodríguez, F.; Machado, L.; Vilas-Boas, J.; Fernandes, R. VO₂ off transient kinetics in extreme intensity swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*. Vol. 10. p. 546-552. 2011.

86-Spencer, M.; Gatin, P. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 33. Núm. 1, p. 157-162. 2001.

87-Spiegel M, Lipschutz S, Liu J. Manual de fórmulas e tabelas matemáticas. Porto Alegre. Bookman. p. 13-14; 64-66; 223-224. 2011.

88-Stegeman, H.; Kindermann, W.; Schnabel, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 2. Núm. 3. p. 160-165. 1981.

89-Stirling, J.; Zakyntinaki, M.; Saltin, B. A model of oxygen uptake kinetics in response to exercise: including a means of calculating oxygen demand/deficit/debt. *Bulletin on Mathematical Biology*. Vol. 67. p. 989-1015. 2005.

90-Stirling, J.; Zakyntinaki, M. Counterpoint: the kinetics of oxygen uptake during muscular exercise do not manifest time-delayed phases. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 107. Núm. 5. p. 1665-1667. 2009.

91-Stupnicki, R.; Gabrys, T.; Szmatlan-Gabrys, U.; Tomazewski, A. Fitting a single-phase model to the post-exercise changes in heart rate and oxygen uptake. *Physiological Research*. Vol. 59. p. 357-362. 2010.

92-Thomas, S.; Finney, R. Cálculo diferencial e integral. Vol. 1. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. p. 230-239. 1982.

93-Vilas-Boas, J. A importância da depilação no rendimento desportivo em natação. *Revista*

Portuguesa de Ciências do Desporto. Vol. 1. Núm. 2. p. 65-72. 2001.

94-Vivier, L. Évaluation de la contribution du système aérobie lors d'une épreuve de 1500 m en course. INSEP. Paris. 2005.

95-Weber, J. Matemática para economia e administração. São Paulo. Harbra. p. 430-435. 1976.

96-Whipp, B. Point: the kinetics of oxygen uptake during muscular exercise do manifest. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 107. Núm. 5. p. 1663-1668. 2009.

97-Whipp, B.; Ward, N.; Lamarra, N.; Davis, J.; Wasserman, K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *Journal of Applied Physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. Vol. 52. Núm. 6. p. 1506-1513. 1982.

98-Wilmore, J.; Costill, D. Fisiologia do esporte e do exercício. 2ª edição. São Paulo. Manole. p. 257-258. 2001.

99-Zatsiorsky, V. Biomecânica no esporte. Rio de Janeiro: Guanabara. p. 144. 2004.

Recebido para publicação em 03/09/2012

Aceito em 07/09/2012