

VI Congresso Internacional de Corrida- 2015

Modelos quantitativos para o treino: Impulso de treino



Francisco Alves

Faculdade de Motricidade Humana
Laboratório de Fisiologia e Bioquímica do
Exercício



Periodização do Treino

Definição

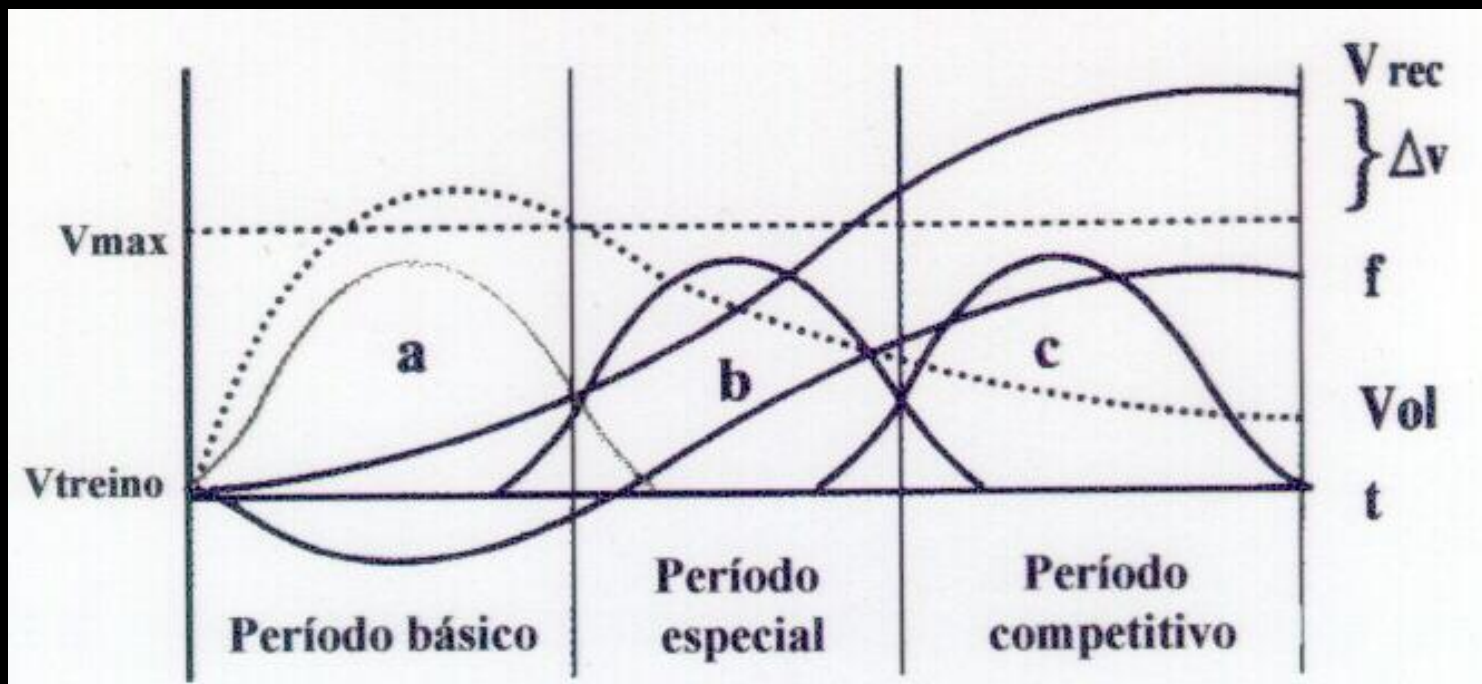
Processo que organiza as estruturas intermédias, num quadro temporal bem definido, de modo a possibilitar, de modo óptimo, o cumprimento dos objectivos inerentes ao processo de treino desportivo.

**Modelo de carga concentrada
(Verchoshanski)**

a - Bloco de Acumulação

b – Bloco de Transformação

c – Bloco Competitivo ou de Realização



V_{max} – velocidade máxima conseguida no ciclo de treino anterior

V_{treino} – velocidade utilizada em treino

V_{rec} – melhor marca pessoal

ΔV – Progressão da velocidade

f – condição funcional (indicadores dinâmicos)

Vol – volume semanal total da carga

t – desenvolvimento temporal do ciclo de treino

Modelo ATR (Issurin)

REVIEW ARTICLE

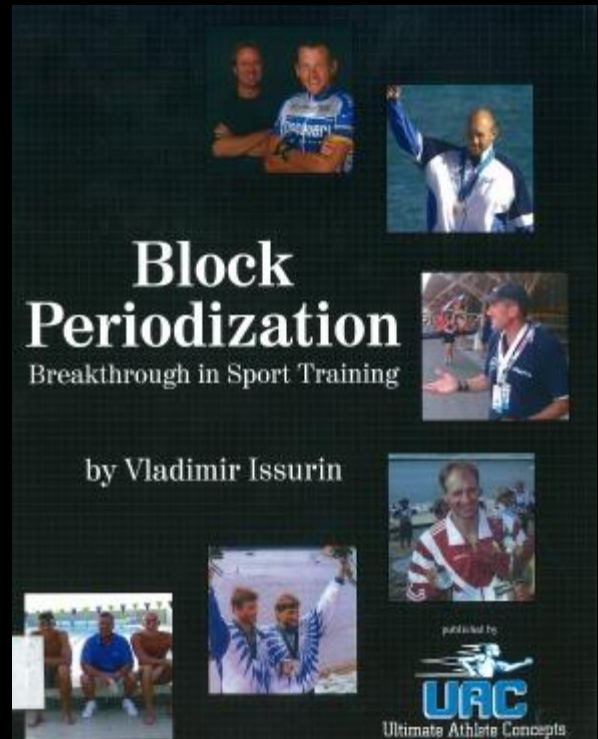
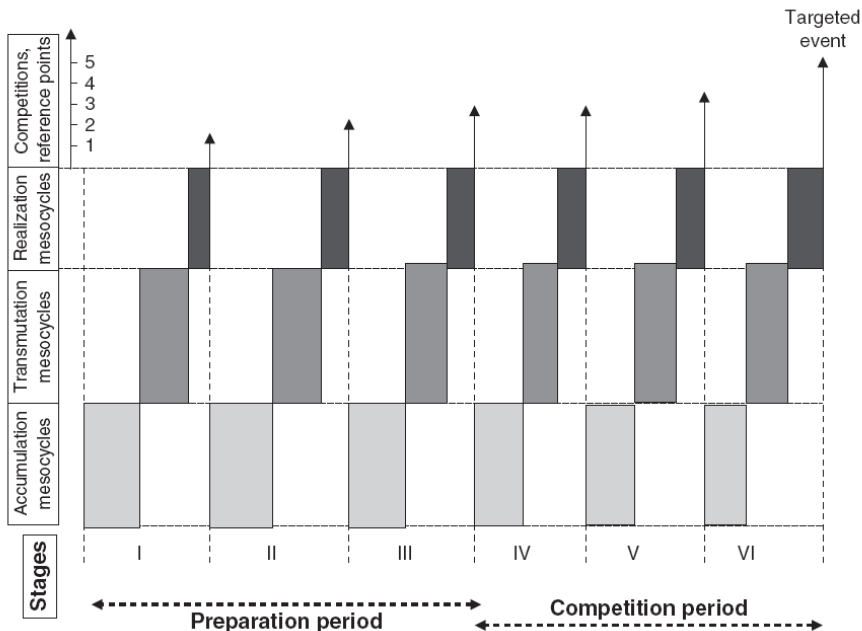
Sports Med 2010; 40 (3): 189-206
0112-1642/10/0003-0189/\$49.95/0

© 2010 Adis Data Information BV. All rights reserved.

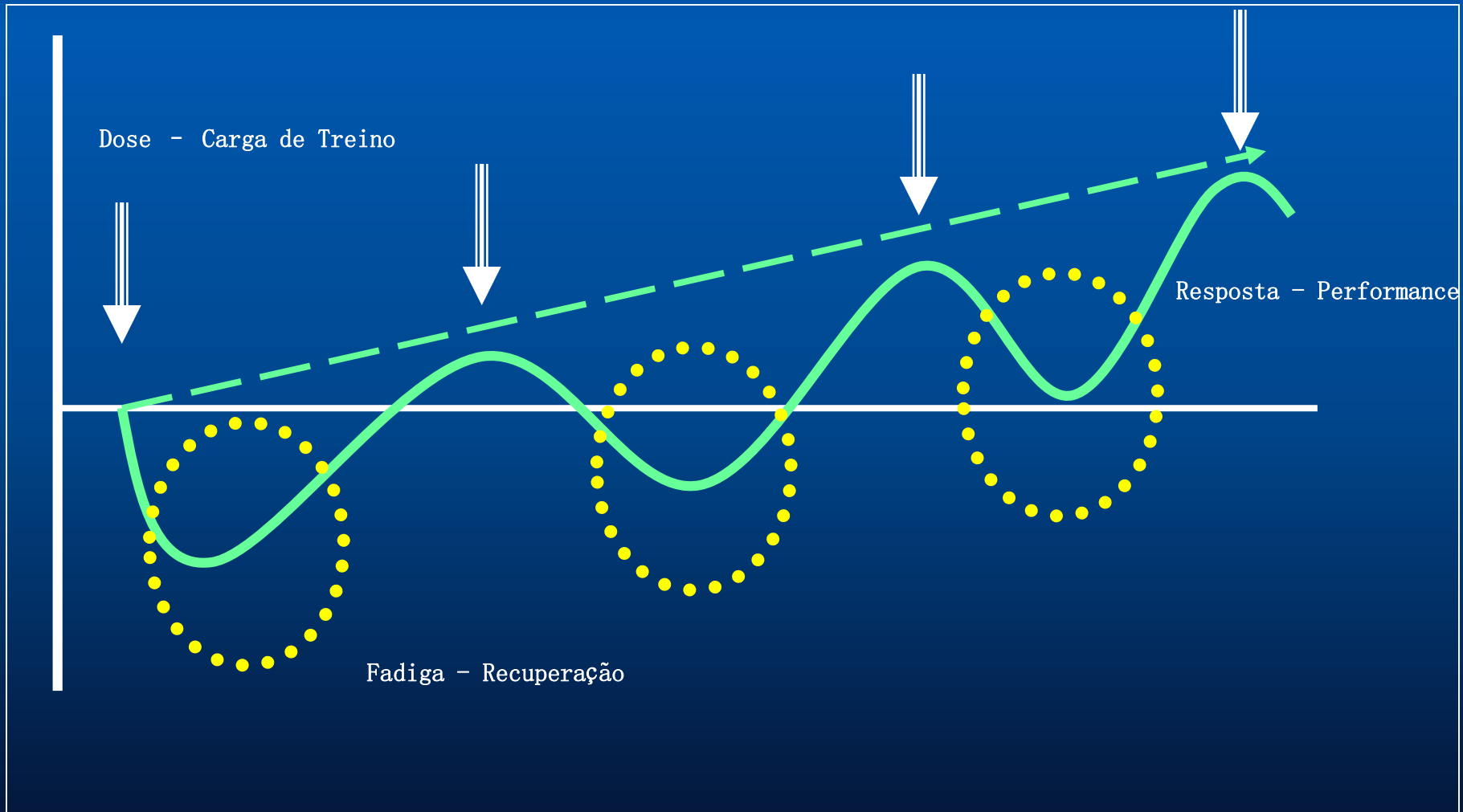
New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization

Vladimir B. Issurin

Elite Sport Department, Wingate Institute, Netanya, Israel

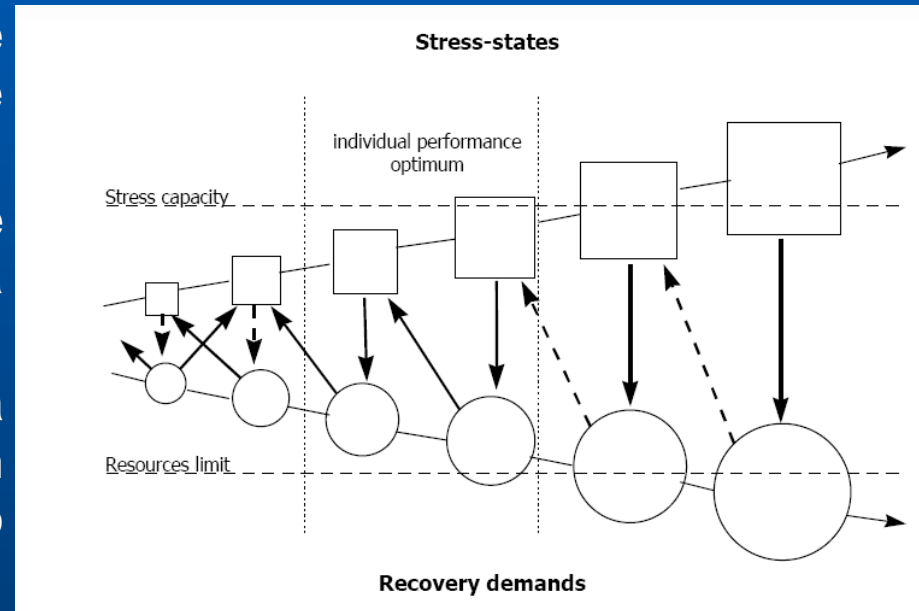


Periodização – Modelo «unifactorial»



Periodização e recuperação

- Kellmann (1992; 1997): relações entre estados de stress e necessidades de recuperação
- O estado de equilíbrio entre stress e recuperação está ligado a uma capacidade óptima de desempenho
- Recuperação insuficiente desencadeia processos que conduzem a um acréscimo de stress e ao aparecimento de sintomas de “burn out” (esgotamento)



Estados de fadiga em treino



Modelo BI-Factorial do Processo de Treino

Bannister, 1991; Zatsiorsky, 1995

Dois regimes temporais diferenciados:

De alteração lenta – *estado de treino*

De alteração rápida – *fadiga*

Resultado: Estado de preparação tem evolução positiva



* Estado de preparação; forma

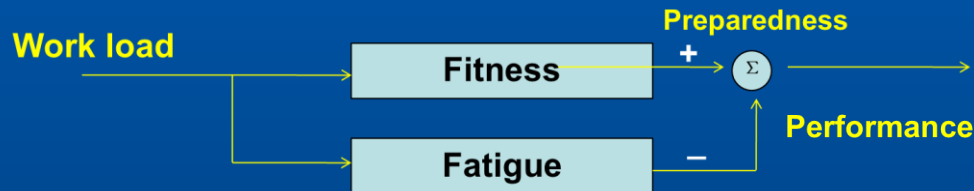
Modelo BI-Factorial do Processo de Treino



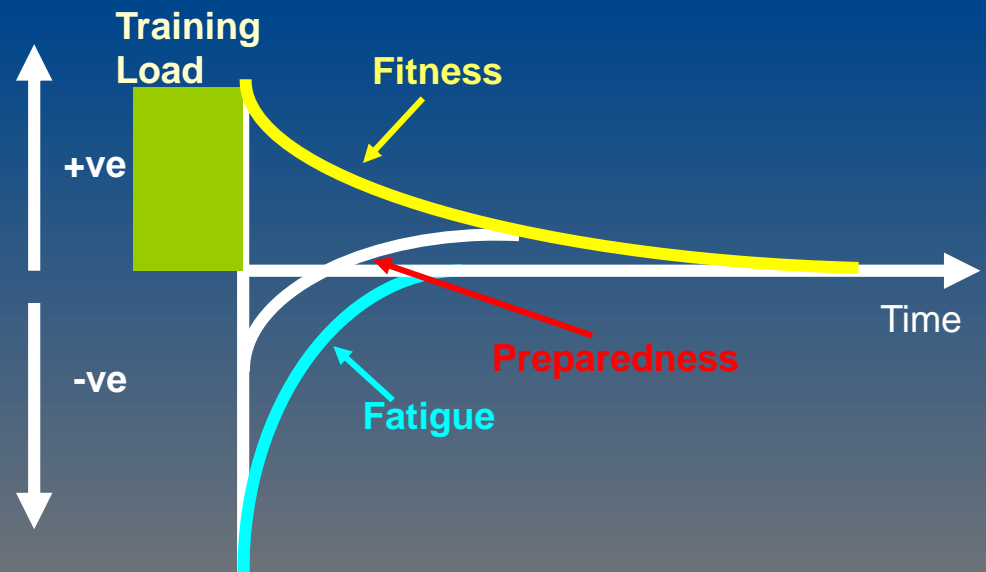
Zatsiorsky, 1995

Two-Factor Theory or Fitness -Fatigue

Bannister, 1991; Zatsiorsky, 1995

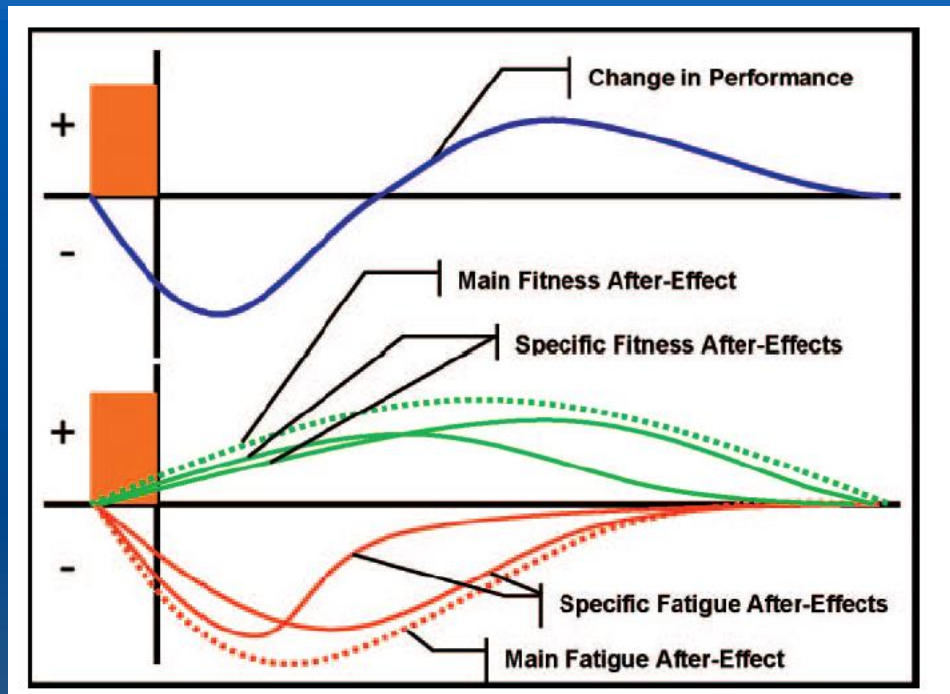


Fatigue – Fast changing factor
Fitness – Slow changing factor



Modelo BI-Factorial do Processo de Treino

Efeitos múltiplos – impacto sistêmico



Na prática, ocorrem concomitantemente uma multiplicidade de efeitos duplos treino-fadiga, cada um específico de um tipo de estímulo aplicado.

Chiu LZ, Barnes JL (2003). The fitness-fatigue model revisited: implications for planning short- and long-term training. *Strength and Conditioning Journal*, 25(6): 42–51.

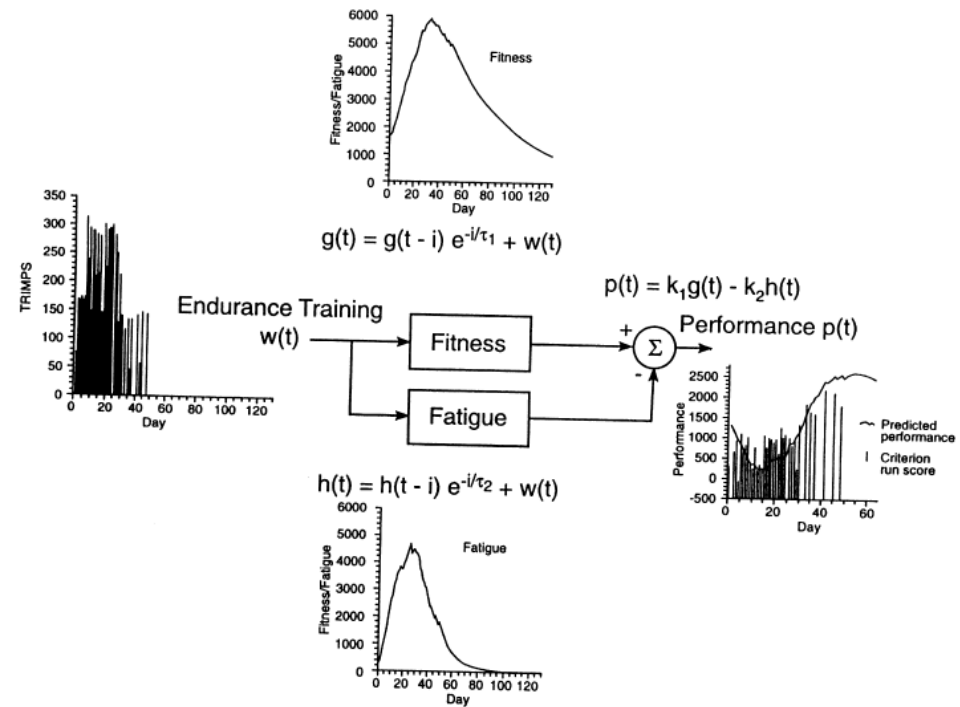
Estes efeitos são independentes entre si mas têm um efeito acumulativo.

Particularmente importante é o resultado acumulado de efeitos de fadiga induzidos num mesmo período temporal, que podem ter um impacto sistêmico, afetando o SNC, a regulação neuro-endócrina e o sistema imunitário.

Modelo BI-Fatorial do Processo de Treino

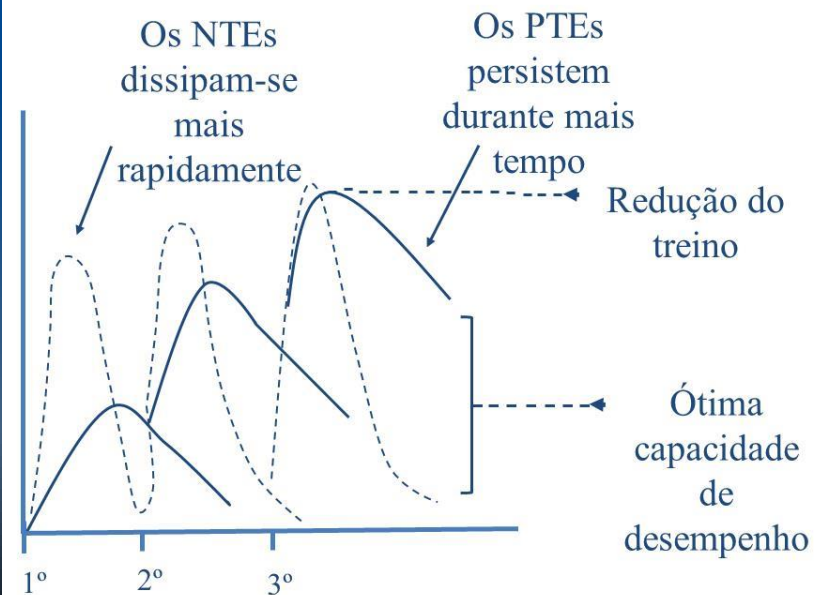
→ Base para a modelação da relação dose - resposta no treino desportivo

Desempenho predito = Fitness - Fadiga



Banister and Fitz-Clarke (1993)

(Adapted from Mujika, 2009)



Revisão da literatura

Modelo de Banister (1975)

$$\hat{p}(t) = p_0 + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} - k_2 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_2}$$

- $\hat{p}(t)$ - representa a performance no instante t
- p_0 - representa o nível de performance inicial
- k - constante de multiplicação
- $w(t)$ - quantidade e intensidade da carga de treino no instante t
- τ - constante de decaimento

Revisão da literatura

Modificações ao Modelo de Banister

Modelo de Busso (2003)

$$\hat{p}(t) = p_0 + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} - \sum_{i=1}^{t-1} k_2(i) w(i) e^{-(t-i)/\tau_2}$$

$$k_2(i) = k_3 \sum_{j=1}^i w(j) e^{-(i-j)/\tau_3}$$

Tenta dar conta dos efeitos acumulados das cargas de treino

REVISÃO DA LITERATURA

Modificações ao Modelo de Banister

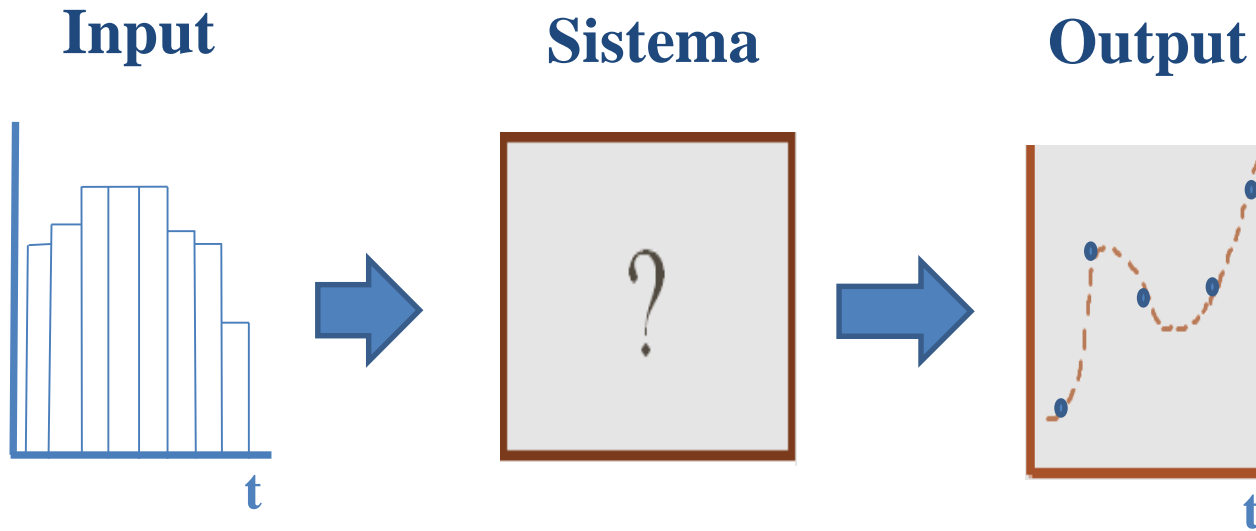
Modelo de Hellard (2005)

$$\text{Hill}(w) = k \frac{w^\gamma}{\delta^\gamma + w^\gamma}$$

$$\hat{p}(t) = p_0 + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_1} - k_2 \sum_{i=1}^{t-1} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_2}$$

- γ - expressa a sensibilidade às cargas de treino
- δ - parâmetro de inércia

Modelos Matemáticos



Impulso de Treino (TRIMP)

Banister (1991)

- Contexto inicial: Objectivo de qualquer treinador é a obtenção de um “pico de forma” no dia de uma competição de importância relevante.
- Dose – resposta
 - ◆ Resposta de um sistema a um estímulo e quantificação da duração desse estímulo
 - ◆ Sucesso depende do grau de precisão na compreensão e especificação da “dose” de treino necessária para produzir um determinado efeito.
- Procura de uma unidade de medida do treino que possa quantificar o esforço físico.

A Frequência Cardíaca e a Resposta de Treino

- Vantagem fundamental
 - ◆ Quantificação simples e prática da actividade física desempenhada em treino
 - ◆ Utilizável para qualquer tipo de esforço, contínuo ou intermitente
 - ◆ Pode ser sujeito a um tratamento acumulativo: exercício, conjunto de exercícios, sessão de treino, microciclo, etc.
 - ★ Permite comparar unidades da microestrutura
 - ★ totais acumuladas
 - ★ distribuição temporal das “doses” de treino.

A Frequência Cardíaca e a Resposta de Treino

■ Limitações:

- ◆ Pouca diferenciação nas zonas anaeróbias
- ◆ Trabalho de base neuromuscular (expressões da força) necessita parâmetros complementares
- ◆ Variabilidade psicossomática

Impulso de Treino

Impulso de Treino (unidades arbitrárias) =
Duração do exercício (min) · Δ FC exercício
(adimensional)

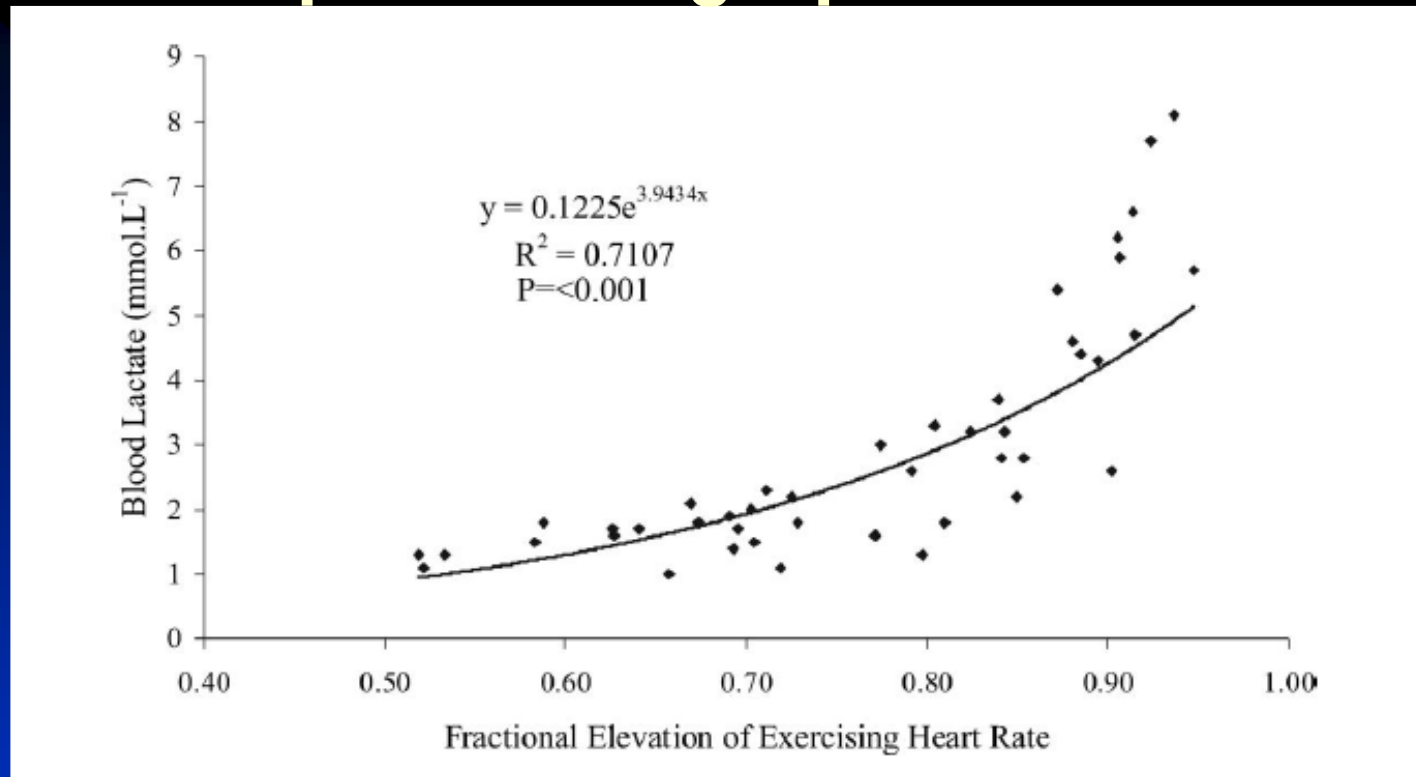
$$\Delta FC = \frac{FC \text{ exercício} - FC \text{ repouso}}{FC \text{ máxima} - FC \text{ repouso}}$$

Impulso de Treino

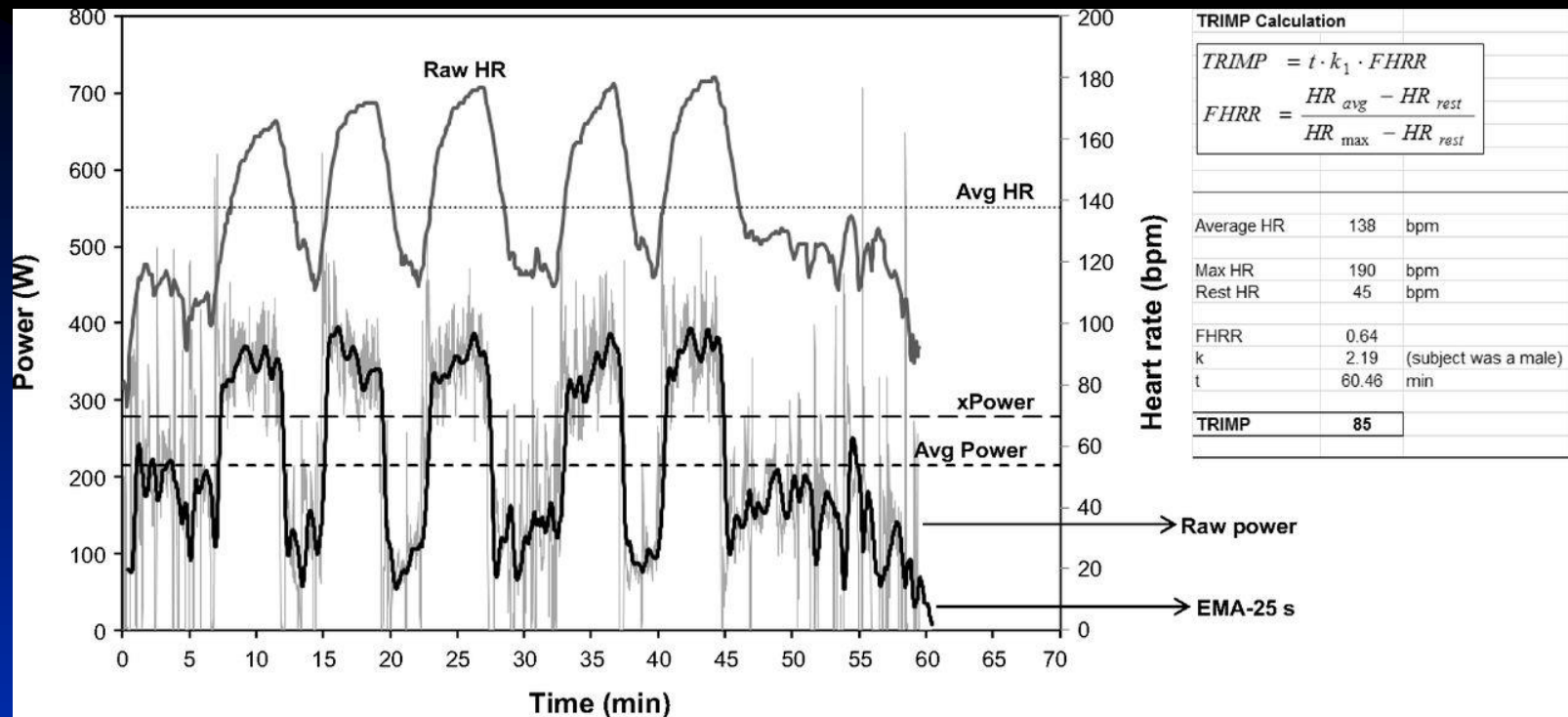
- Equilíbrio entre actividades de longa duração e intensidade baixa e actividades de curta duração e intensidade elevada
 - ◆ Peso relativo para cada zona de intensidade definida
 - ◆ Factor multiplicador
 - ◆ Baseado na relação exponencial entre lactatemia e intensidade de exercício
 - ★ $y \text{ masculino} = 0,64e^{1,92x}$
 - ★ $y \text{ feminino} = 0,86e^{1,67x}$
 - $x = \Delta \text{ FC exercício}$

$$\text{Impulso de treino (unidades arbitrárias)} = T \text{ (min)} \Delta \text{ FC (adimensional)} \cdot y$$

Impulso de Treino: factor de ponderação calculado para cada grupo de treino



TRIMP → fator de ponderação = $0.1225e^{3.9434x}$



Session & athlete parameters

CP = 315 W

1 hr @ CP normalized work = NW_{CP}
 = CP x 3600 s = 1134 kJ

Session duration (dur) = 60.5 min

Session average power = 215 W

BikeScore calculations

Session xPower = $\{\sum [EMA(t)]^4\}^{(1/4)} = 278$ W

Relative intensity (RI) = xPower / CP = 0.88

Session normalized work (NW_s) = xPower x dur = 1009 kJ

Raw BikeScore (RBS) = RI x NW_s = 890 kJ

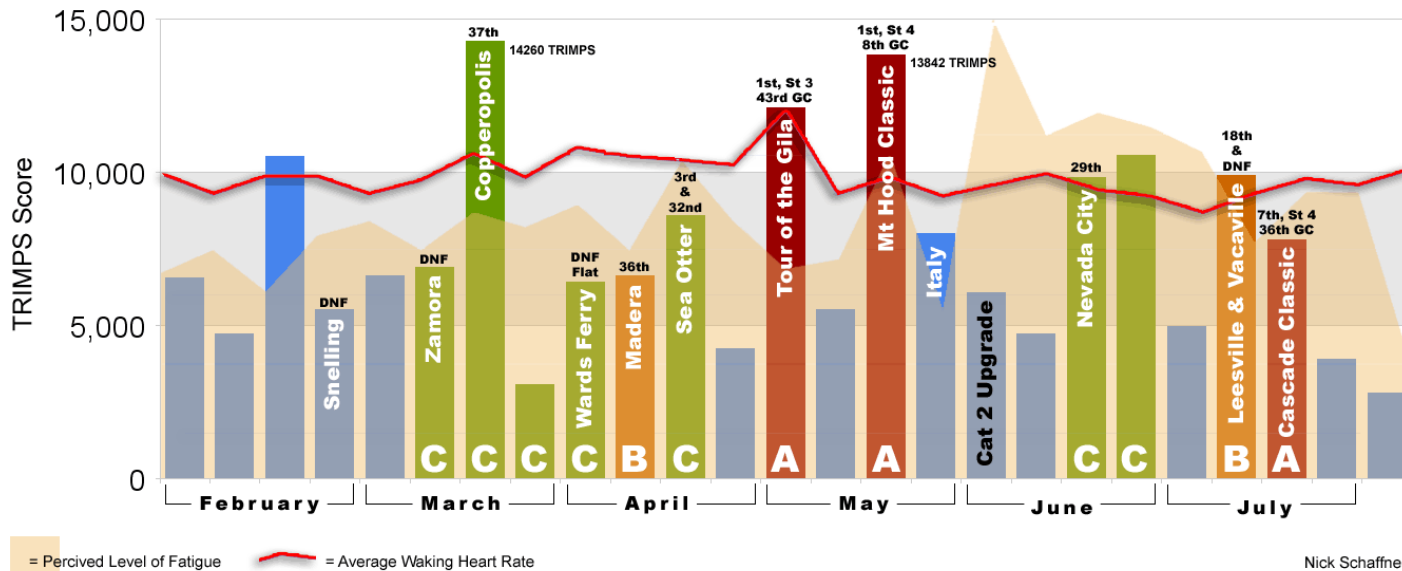
BikeScore = RBS/ NW_{CP} x 100 = 78

David C. Clarke, and Philip F. Skiba *Advan in Physiol Edu*
 2013;37:134-152

Impulso de Treino por Sessão de Treino e por Microciclo



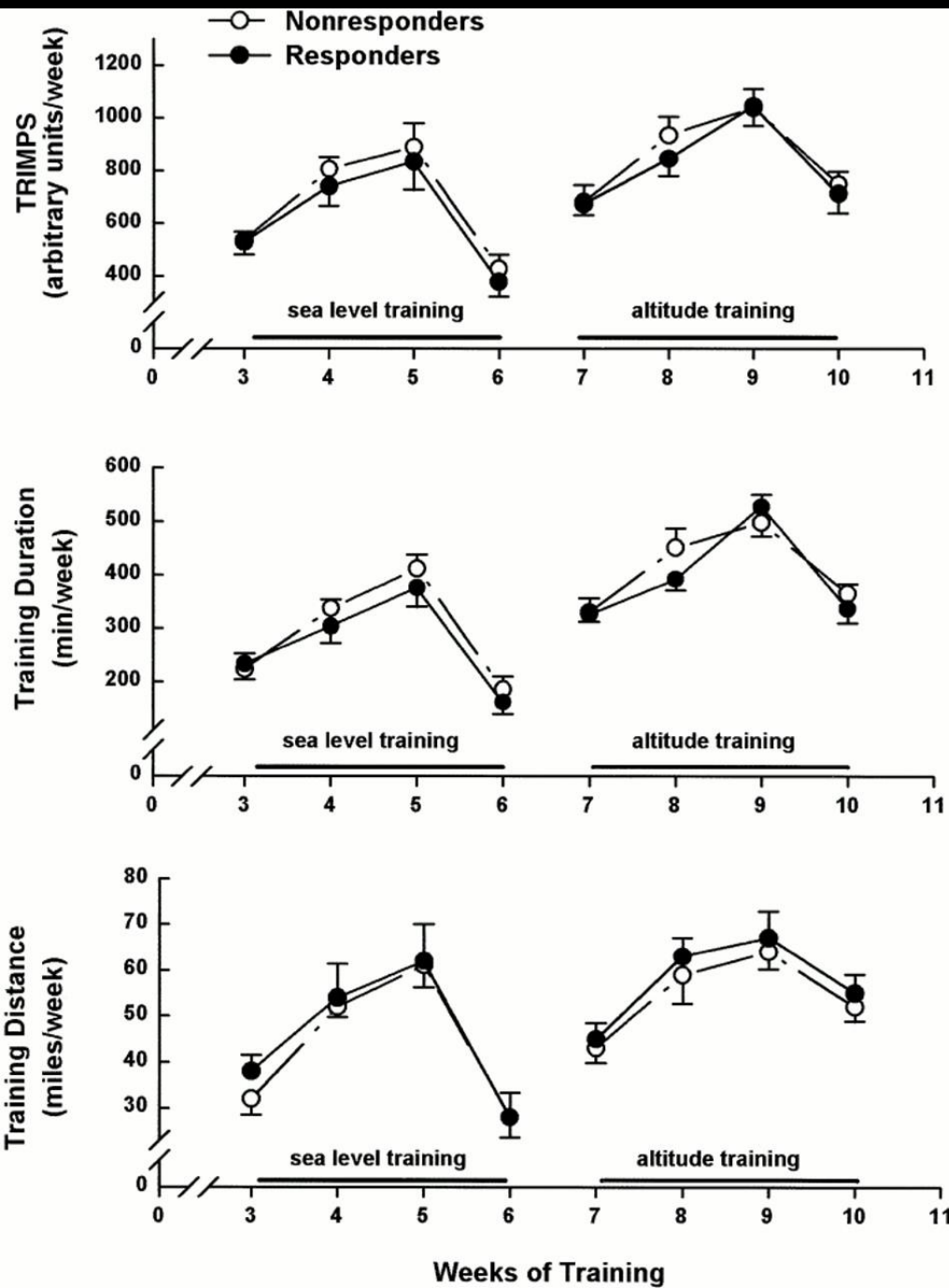
2008 Season Analysis - TRIMPS/Intensity Chart



Impulso de Treino

- Quantificação do treino durante mesociclos de 4 semanas ao nível do mar e em altitude para atletas de resposta elevada e baixa

- ◆ TRIMPS / sem
- ◆ *Duração do treino*
- ◆ *Distâncias de treino / sem*



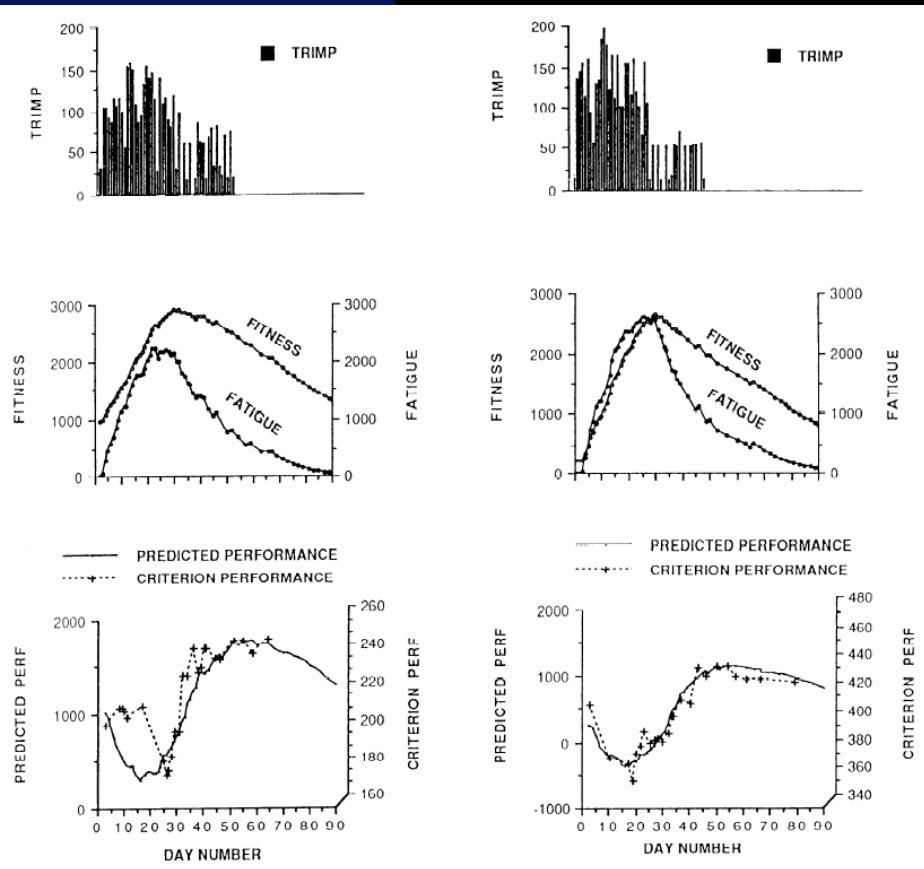
Chapman et al (1998). Individual variation in response to altitude training. J Appl Physiol., 85(4): 1448-56.

modeling methodology forum

Modeling human performance in running

R. HUGH MORTON, JOHN R. FITZ-CLARKE, AND ERIC W. BANISTER
School of Kinesiology, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia V5A 1S6, Canada

Morton AR, Fitz-Clarke JR, Banister EW (1990). Modeling human performance in running. *J Appl Physiol*, 69(3): 1171-1177.



Impulso de Treino (TRIMP)

Curvas de desempenho e fadigas
preditas

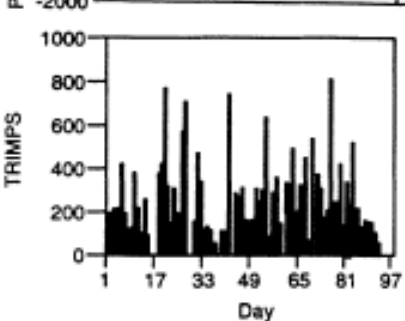
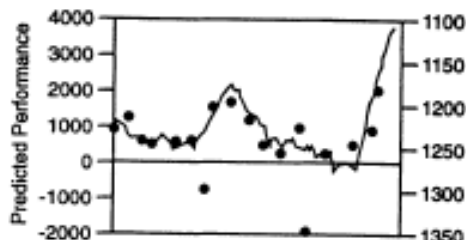
Curva de desempenho predita e
resultados reais em testes de
corrida e cicloergómetro

Modelação da carga – predição do desempenho

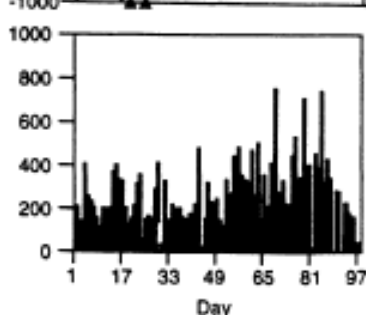
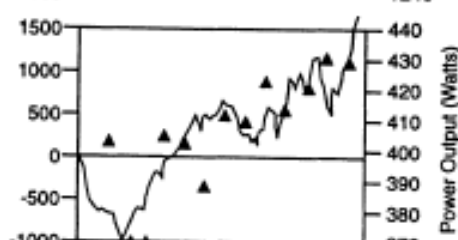
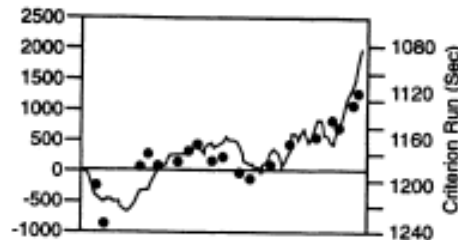
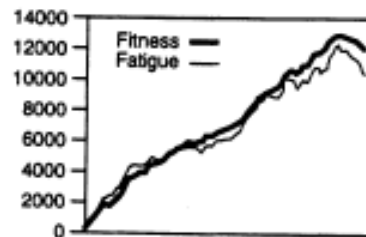
Exemplo: Triatlo

Banister et al (1999). Training theory and Taper: validation in Triathlon athletes. Eur J Appl Physiol, 79: 182-191.

Subject : P.Z.



Subject : J.C.



Curvas de desempenho e fadigas preditas

Curva de desempenho predita e resultados reais em testes de corrida e cicloergómetro

Impulso de Treino (TRIMP)

Processo alternativo para cálculo dos TRIMP: Volume por zonas de intensidade

- Recolha da FC em todas as sessões de treino.
- Determinação de duração agregada em cada zona de intensidade (FC).
- Cálculo do TRIMP para cada sessão de treino, multiplicando o factor de ponderação pelo tempo gasto na respectiva zona.
- TRIMP total para uma sessão de treino = soma dos valores correspondentes a todas as zonas de FC

Quantificação da Carga de Treino em Remo

(Adp de FISA, Mujica et al 1995)

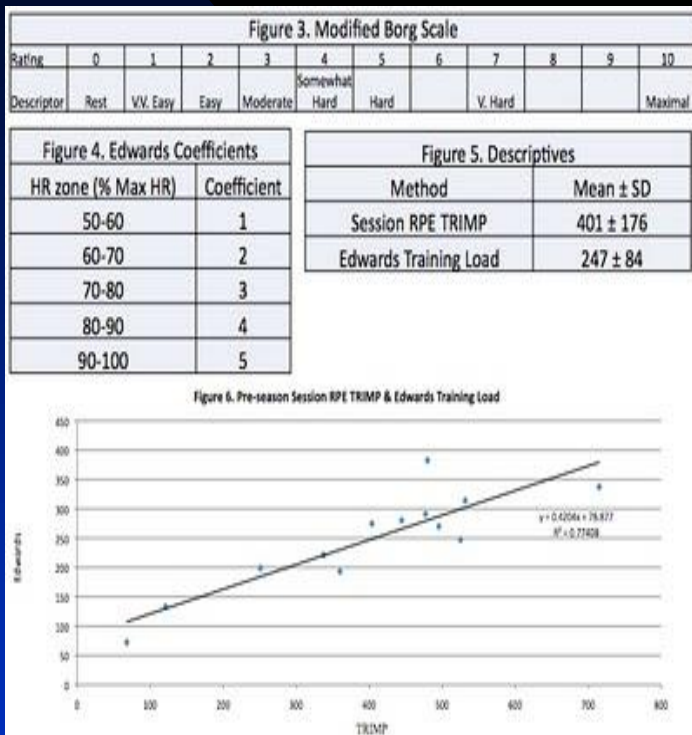
Zona	% F.C.máx	F.C. (bpm)	Volume Total (min.)	Volume Parcial (min.)	Lactato (mmol/L)
1	75%	150	60' a 90'	30' - 45'	2
2	82,5%	165	50' a 60'	20' - 30'	3
3	87,5%	175	30' a 50'	10' - 20'	4
4	92,5%	185	15' a 30'	4' - 12'	4 - 6
5	97,5%	195	5' a 15'	45'' - 3'	6 - 8

$$UAC = \frac{\sum (\text{vol parcial} \times \text{Índice Zona})}{\text{Volume total}}$$

T Força

$$\text{Int (uac)} = 50\% \text{ Z2} + 25\% \text{ Z4} + 25\% \text{ Z5}$$

Impulso de Treino Método de Edwards



HR Zones	Coefficient
50-60%	1
60-70%	2
70-80%	3
80-90%	4
90-100%	5

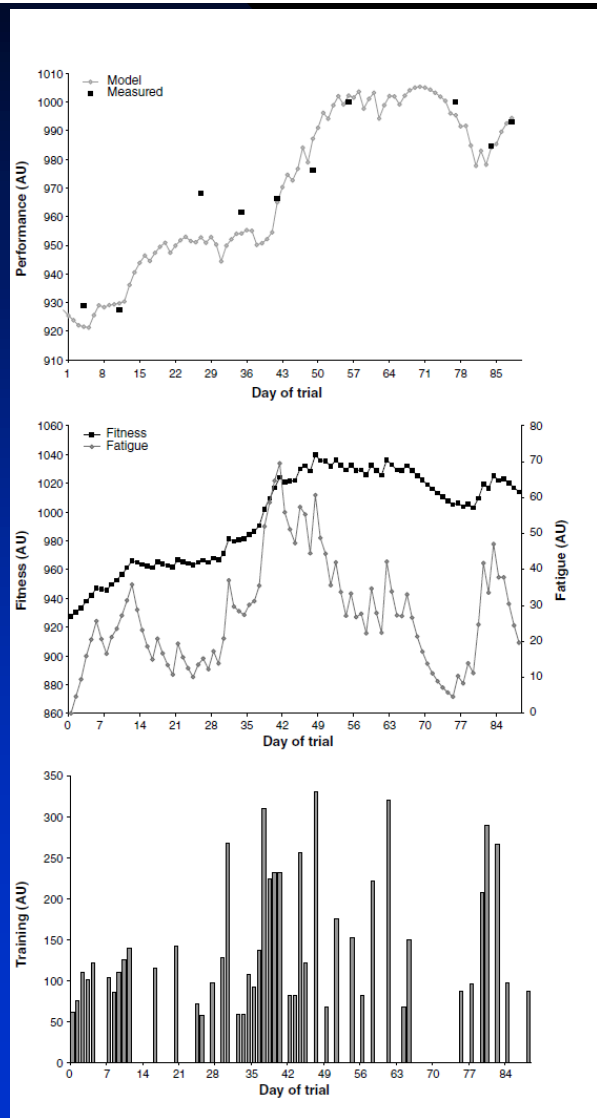
Edwards (1993) proposed a zone based method for the calculation of TL. The time spent in five pre-defined arbitrary zones is multiplied by arbitrary coefficients to quantify training load. The proposed the zones based on HRmax with 10% zone widths and corresponding coefficients as can be seen in the table below.

Rachel Elise Wood · Scott Hayter · David Rowbottom
Ian Stewart

Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner

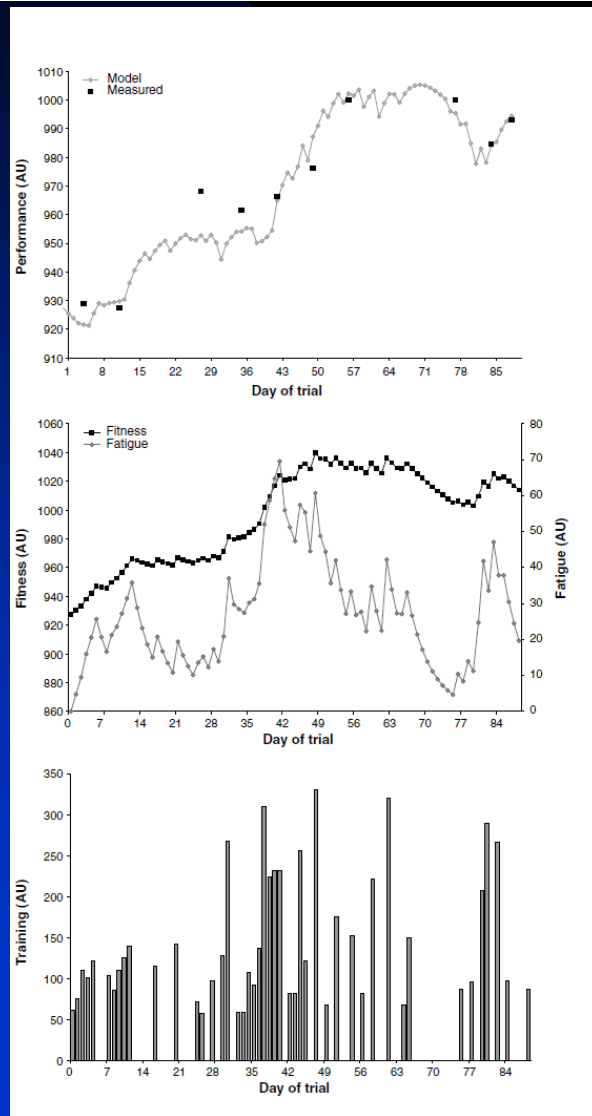
Wood RE, Hayter S, Rowbottom D, Stewart I (2005). Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner. Eur J Appl Physiol, 94(3):310-6.

Estudo de caso: seguimento de um corredor de fundo (masculino, 30 anos)



Rachel Elise Wood · Scott Hayter · David Rowbottom
Ian Stewart

Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner



Wood RE, Hayter S, Rowbottom D, Stewart I (2005). Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner. Eur J Appl Physiol, 94(3):310-6.

Estudo de caso: seguimento de um corredor de fundo (masculino, 30 anos)

Quantificação da carga de treino:

TRIMP (Morton 1997).

Recolha de frequência cardíaca em todos os treinos e testes

Duração: 12 semanas

5 zonas de intensidade pré-definidas, cada uma com

um fator de stress fisiológico de ponderação

I - 2 – 50% da FCreserva

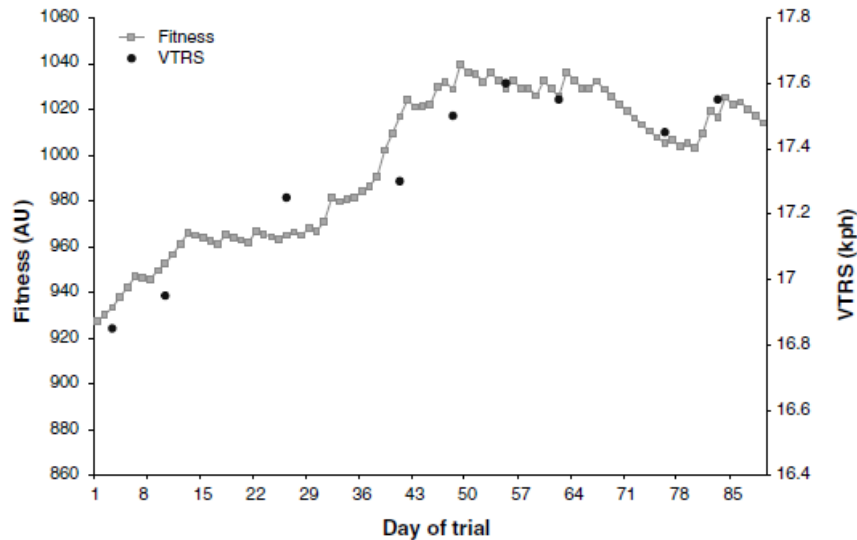
II - 4 – Meio termo entre I e II

III - 6 – limiar ventilatório

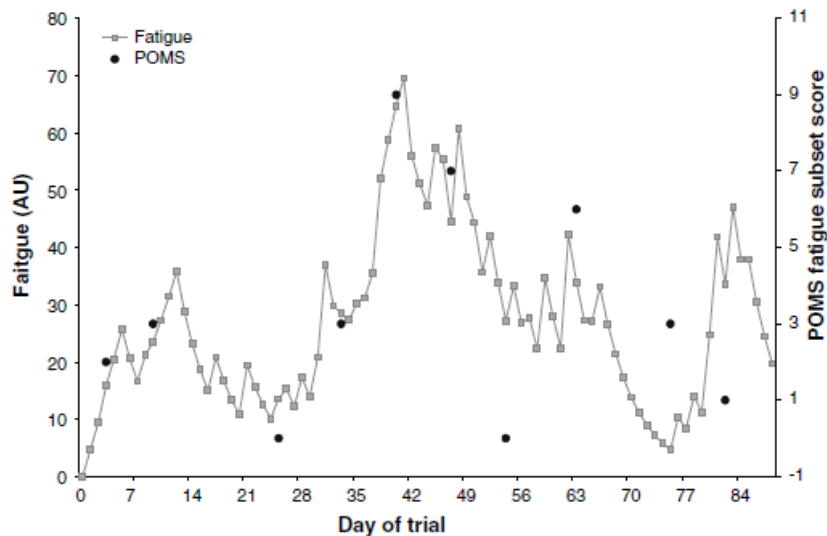
IV - 10 - Meio termo entre III e V

V - 16 - > 95% da FCmax

Wood RE, Hayter S, Rowbottom D, Stewart I (2005). Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner. Eur J Appl Physiol, 94(3):310-6.



Variação do fator “fitness” e da velocidade de corrida ao limiar ventilatório



Variação do fator “fadiga” e resultados do POMS

Desportos individuais: quantificação do nível de carga - microciclo

O nível de carga pode ser expresso em **unidades arbitrárias de carga** (UAC), quantificadas pela razão obtida entre o somatório dos volumes cumpridos em cada uma das zonas de “*stress*” fisiológico ponderadas pelo respectivo índice e o volume total efectivamente realizado:

$$UAC = \sum (\text{volume parcial} \times \text{índice de stress}) / \text{volume total}$$

A carga do microciclo é quantificada por dois indicadores: volume – total de metros percorridos ou duração do exercício - e intensidade, determinada através do somatório de unidades arbitrárias de carga (UAC), resultantes de cada sessão de treino.

Carga de Treino – Modelação ponderada para a Intensidade com base na curva lactatemia-velocidade em nadadores

Zona de intensidade	Objectivo	Velocidade média de nado	Lactatemia mmol.l⁻¹	Índice de stress
I	Aquecimento e Recuperação	até 60%	-	1
II	Capacidade Aeróbia	até 75%	2 - 3	2
III	Limiar Anaeróbio	≈ 80%	3 - 4	3
IV	Potência Aeróbia	≈ 85%	6 - 9	4
V	Tolerância Láctica	≈ 90%	> 8	6
VI	Máxima Produção de Lactato	≈ 95%	> 8	8
VII	Velocidade	máxima	-	10

$$UAC = \sum (\text{volume parcial} \times \text{índice de stress}) / \text{volume total}$$

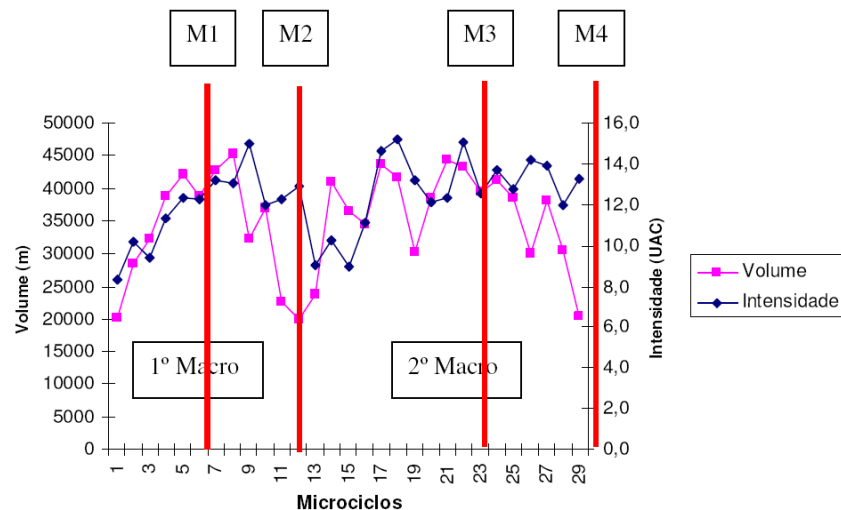
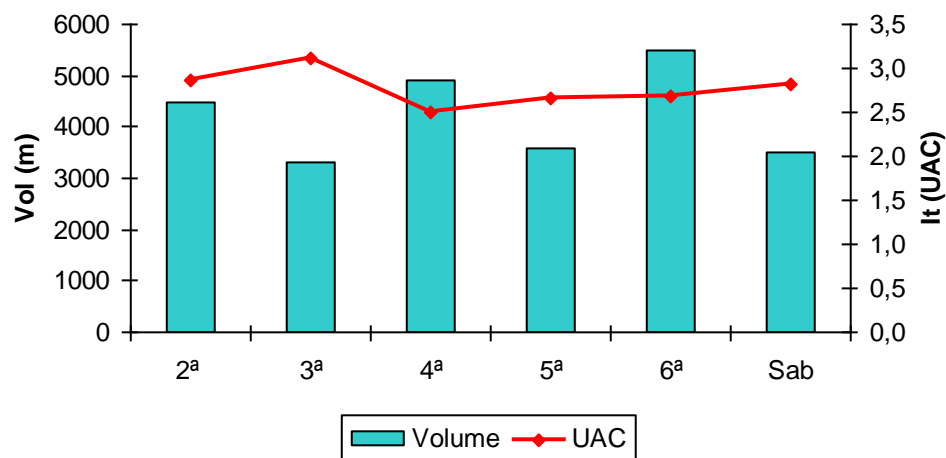
1 hora de treino fora de H₂O = 1km (I) + 0,5km (IV) + 0,5km (V)

Quantificação da carga de treino

2ª			3ª			4ª			5ª			6ª			Sab		
	Volume	It		Volume	It		Volume	It		Volume	It		Volume	It		Volume	It
Aquecimento/ rec	1000	1000	Aquecime	1200	1200	Aquecime	1200	1200	Aquecime	1200	1200	Aquecime	1200	1200	Aquecime	800	800
A1	1200	2400	A1	400	800	A1	2000	4000	A1	1000	2000	A1	2000	4000	A1	1000	2000
A2	1200	3600	A2		0	A2	1200	3600	A2	400	1200	A2	1200	3600	A2	1200	3600
A3/ PA	600	2400	A3/ PA	1200	4800	A3/ PA		0	A3/ PA	600	2400	A3/ PA	600	2400	A3/ PA		0
TL	300	1800	TL	300	1800	TL	300	1800	TL	300	1800	TL	300	1800	TL	300	1800
PL/MPL	150	1200	PL/MPL	150	1200	PL/MPL	150	1200	PL/MPL		0	PL/MPL	150	1200	PL/MPL	150	1200
Vel	50	500	Vel	50	500	Vel	50	500	Vel	100	1000	Vel	50	500	Vel	50	500
Volume	4500	12900	Volume	3300	10300	Volume	4900	12300	Volume	3600	9600	Volume	5500	14700	Volume	3500	9900
UAC		2,87	UAC		3,12	UAC		2,51	UAC		2,67	UAC		2,67	UAC		2,83
	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sab	Vtotal	Média	Dp	Monotonia	Solicitação						
Volume	4500	3300	4900	3600	5500	3500	25300	4217	886,4	4,8	1203,6						
UAC	2,9	3,1	2,5	2,7	2,7	2,8	16,7	3	0,211	13,1	2,2						
<div></div>																	
<div>Mujika et al 1995</div>																	
<div>Foster et al 1995</div>																	

Mujika et al 1995

Foster et al 1995



Distribuição do volume de treino, por zona de intensidade, em cada macrociclo, ao longo da época 2011-2012.

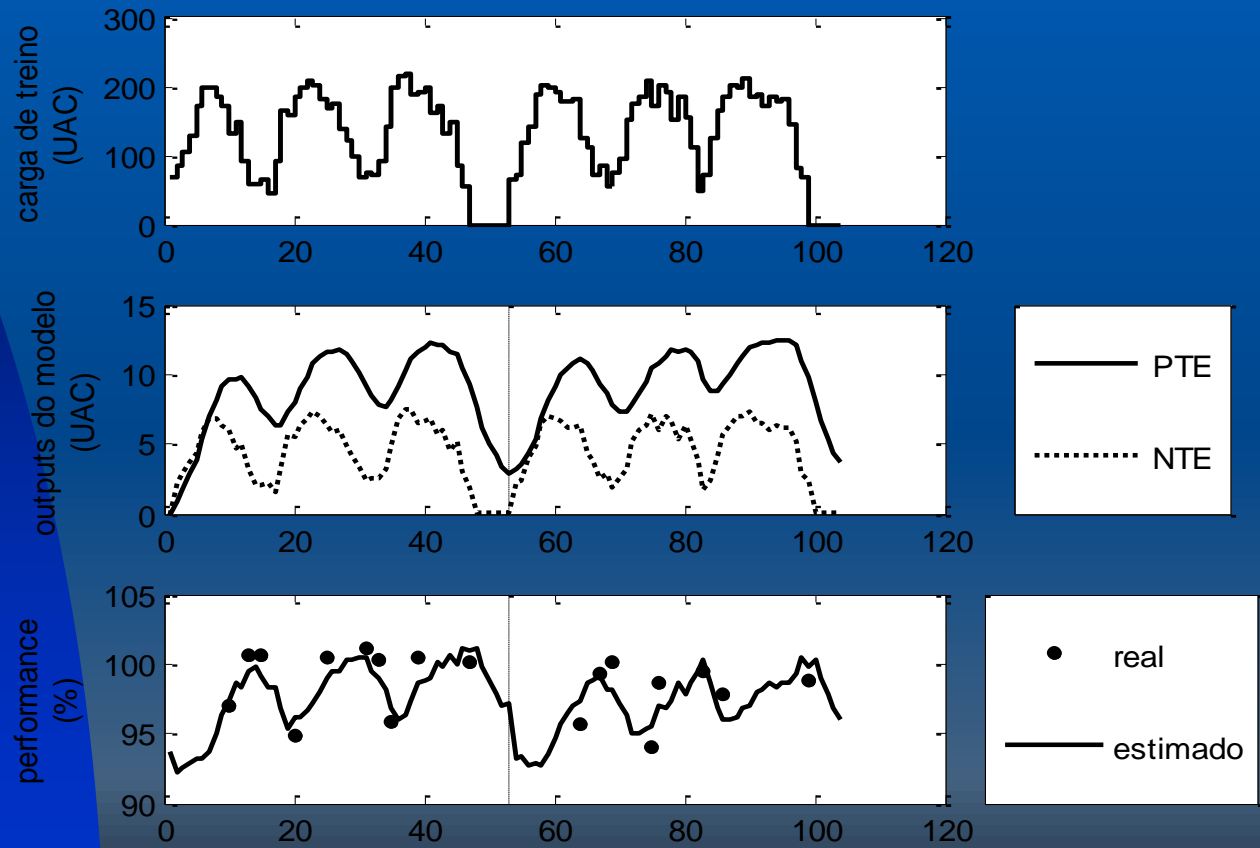
Z I	1º Macrociclo (12 sem)	2º Macrociclo (16 sem)	3º Macrociclo (16 sem)	Total
I	104,1±8,6	116,4±9,5	131,9±24,1	352,4±29,1
II	166,0±13,7	189,4±12,5	188,4±14,6	543,8±37,3
III	148,9±15,7	181,7±29,5	171,2±18,8	501,8±57,2
IV	36,5±6	65,4±10,0	89,6±12,3	191,4±19,6
V	8,4±1,4	15,7±3,0	13,2±0,7	37,4±5,4
VI	3,1±0,2	3,8±0,7	4,4±0,7	11,3±1,0
VII	10,7±0,9	10,1±0,4	10,2±0,5	30,9±1,4
Vol Total	477,7±38,3	582,4±52,0	608,9±53,9	1669,0±125,8
UAC Total	1779,9±79,2	2246,9±124,6	2343,1±135,2	6370,1±290,6
UAC – Unidades Arbitrárias da Carga				

Distribuição do volume de treino, por zona de intensidade, em cada macrociclo, ao longo da época 2012-2013.

Z I	1º Macrociclo (16 sem)	2º Macrociclo (14 sem)	3º Macrociclo (16 sem)	Total
I	159,0±15,1	194,7±5,5	215,2±8,0	568,9±24,8
II	200,6±16,6	249,2±12,1	288,5±25,4	738,2±59,4
III	120,5±22,2	127,7±21,1	168,0±13,1	416,2±45,9
IV	61,2±8,8	40,8±5,1	65,6±2,5	167,7±14,9
V	10,6±2,8	12,7±1,6	10,8±1,3	34,1±4,1
VI	4,0±0,6	4,5±0,2	5,9±0,3	14,4±0,6
VII	10,5±0,3	9,6±0,9	14,1±1,3	34,1±2,0
Vol. Total	566,4±50,9	639,2±41,1	768,1±48,3	1973,6±133,9
UAC Total	2154,7±132,5	2141,1±99,7	2585,9±11,7	6881,7±321,2
UAC – Unidades Arbitrárias da Carga				

Modelação de 2 macrociclos em nadadores

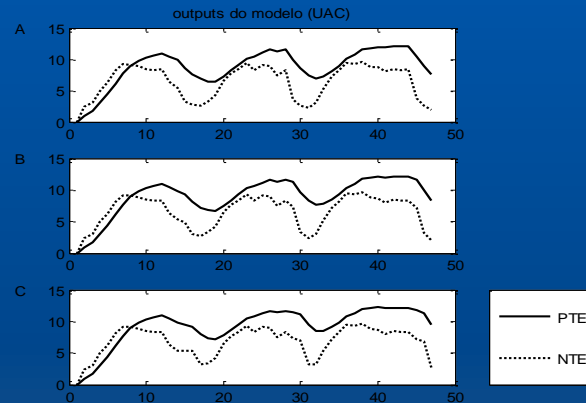
Pessoa P, Bruno P,
Alves F (2015).
Mathematical modelling
of the training process in
well trained swimmers.
Submitted



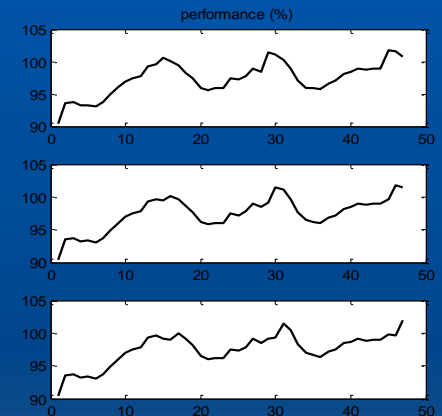
Simulação de 3 períodos de “taper” com duração diferenciada para um nadador

A – 3 semanas
B – 2 semanas
C – 1 semana

Pessoa P, Bruno P,
Alves F (2015).
Mathematical modelling
of the training process in
well trained swimmers.
Submitted



% performance



Conclusions:

1. Grande variabilidade individual
2. Foi possível determinar para cada nadador avaliado qual a duração do “taper” mais indicada

Limitações à utilização da modelação fadiga-desempenho no treino

- Complexo do ponto de vista dos cálculos envolvidos, embora os meios informáticos actualmente disponíveis o tornem muito acessível
- Requer medição quantitativa frequente do desempenho (20-200 vezes cada 60-90 dias)
- Estimação dos parâmetros ainda tem limitações na precisão no que diz respeito à predição de resultados competitivos futuros
- Grande variabilidade individual no cálculo dos fatores de estimacão inibe generalizacão do modelo

PSE - Sessão

Journal of Strength and Conditioning Research, 2001, 15(1), 109–115
© 2001 National Strength & Conditioning Association

A New Approach to Monitoring Exercise Training

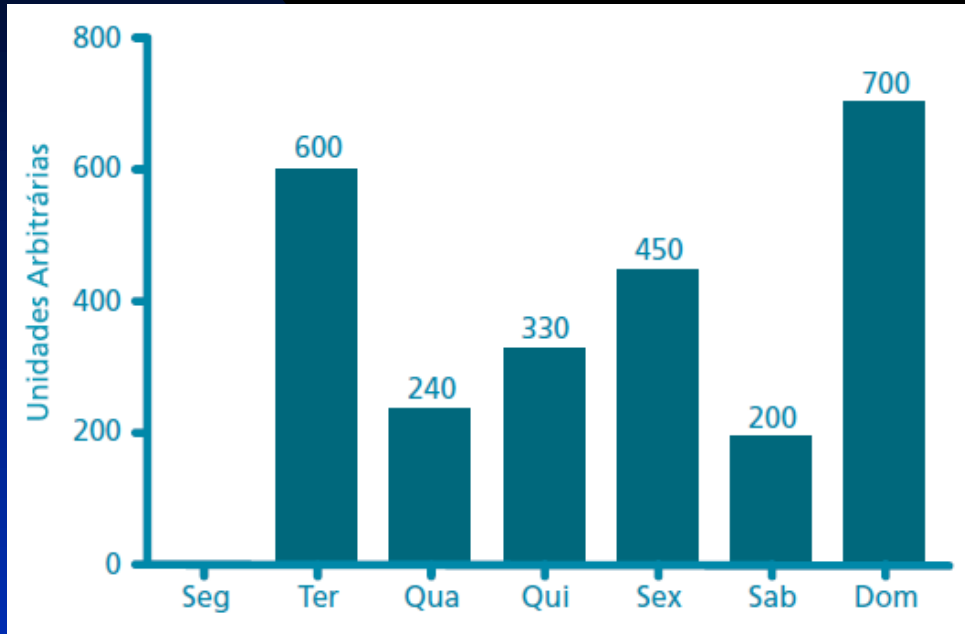
**CARL FOSTER, JESSICA A. FLORHAUG, JODI FRANKLIN,
LORI GOTTSCHALL, LAURI A. HROVATIN, SUZANNE PARKER,
PAMELA DOLESHAL, AND CHRISTOPHER DODGE**

Department of Exercise and Sport Science, University of Wisconsin–La Crosse, Wisconsin 54601.

Borg (1982)	Foster (1998)
0 Nada	0 Repouso
1 Muito Fraco (Very Weak)	1 Muito Muito Fraco
2 Fraco (Weak)	2 Fraco
3 Moderado (Moderate)	3 Moderado
4 Algo pesado (Somewhat strong)	4 Algo forte
5 Forte (Strong)	5 Forte
6	6
7 Muito Forte (very strong)	Muito forte
8	
9	
10 Extremamente forte (Very, very strong)	10 Maximal

- Índice individual de PSE por cada sessão de treino
- Registo da duração da sessão de treino
- Carga de treino = PSE sessão X duração (unidades arbitrárias)

PSE - Sessão



Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, Dodge C (2001). A new approach to monitoring exercise training. J Strength Cond Res, 15(1):109-15.

Ex: 6 (PSE sessão) x 55 min= 330 UA

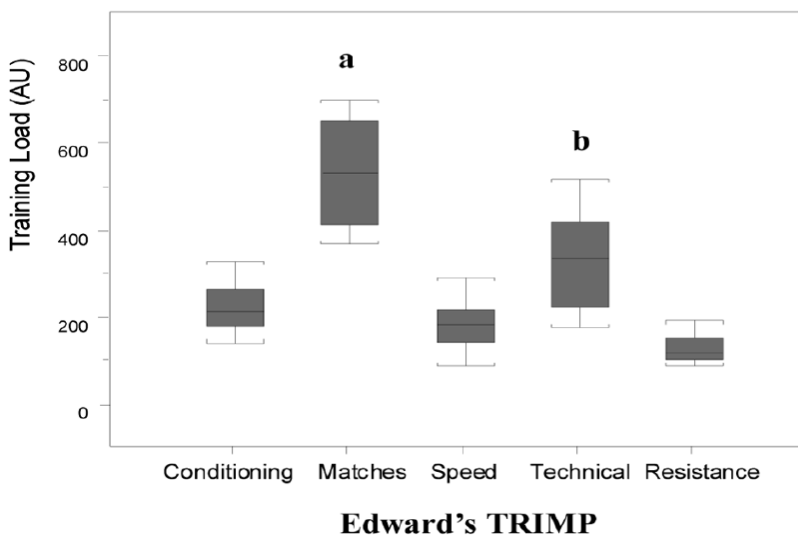
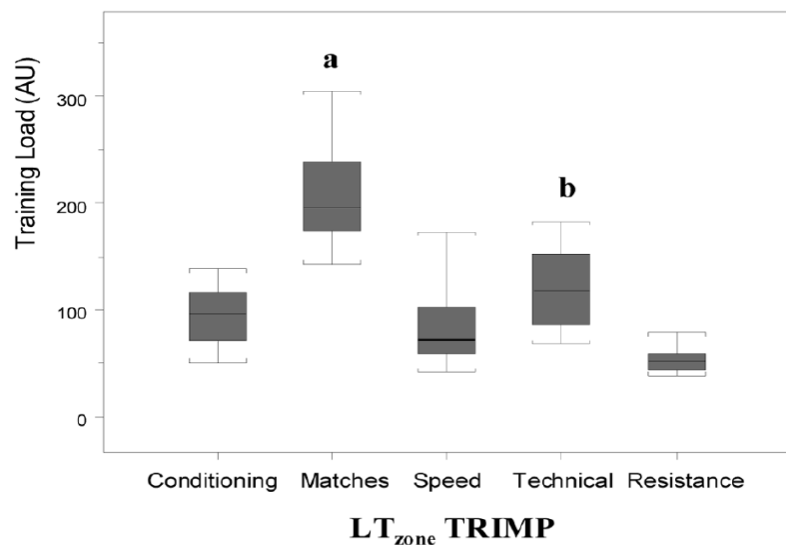
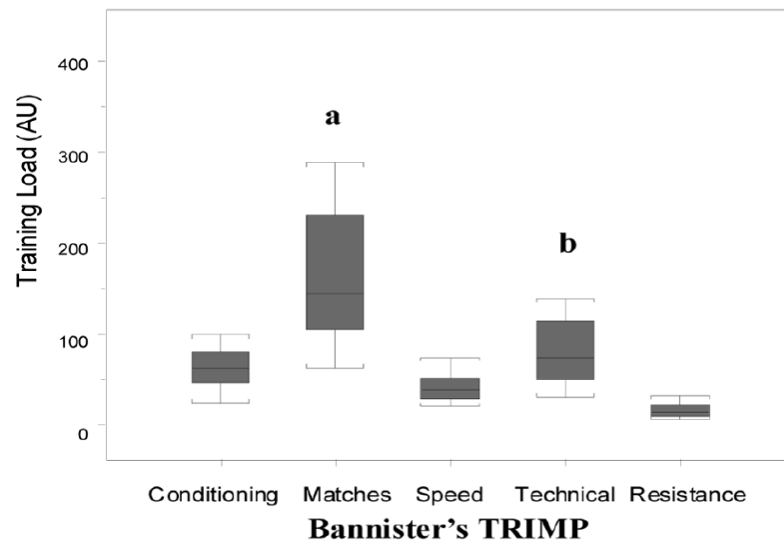
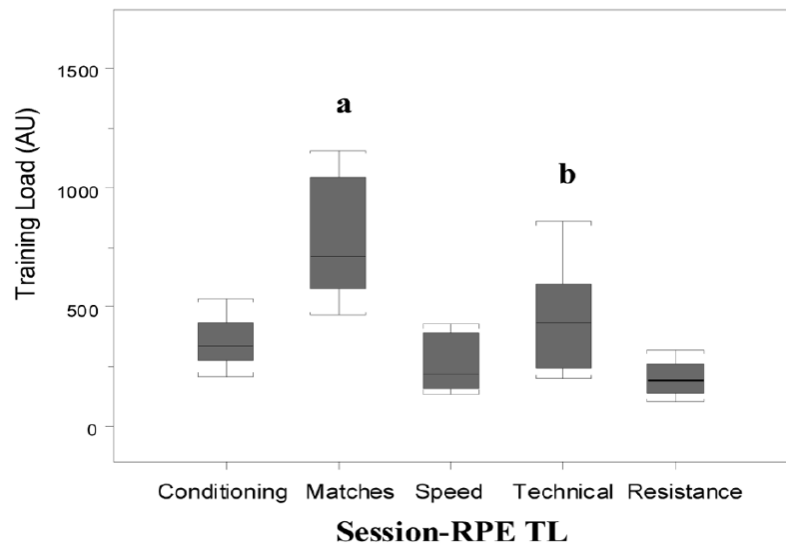


Figure 1 — Box plots for session-RPE and all three HR-based training loads for the different training modes completed by the women soccer players. The edges of the box plots represent the quartile range and the whiskers show the 10th and 90th percentiles. ^a Significant different to resistance training, speed training, and conditioning training ($P < .001$); ^b Significantly different to resistance training sessions ($P < .001$).

Alexiou H, Coutts AJ (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. Int J Sports Physiol Perform, 3(3):320-30.

Síntese

Processos de determinação das Unidades Arbitrárias de Carga (UAC)

- Cálculo do TRIMP por exercício, somatórios por sessão, microciclo,...
- Cálculo do TRIMP por zona de intensidade ponderada (FC) x volume (duração)
- Produto do volume (distâncias percorridas) por zonas de intensidade ponderada (desportos de resistência)
- Produto da PSE-sessão pelo volume (duração)

VI Congresso Internacional de Corrida- 2015

Obrigado pela vossa atenção !



Francisco Alves

Faculdade de Motricidade Humana
Laboratório de Fisiologia e Bioquímica do
Exercício

