



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**SOFTWARE PARA ANÁLISE DA CINÉTICA DO CONSUMO DE
OXIGÊNIO DURANTE EXERCÍCIO MODERADO**

Thomas Beltrame

Aluno

Luis Carlos Trevelin

Professor Associado do Departamento de Computação

Programa de pós-graduação em Biotecnologia

Universidade Federal de São Carlos

Orientador

Aparecida Maria Catai

Professora Associada do Departamento de Fisioterapia

Programa de pós-graduação em Biotecnologia

Universidade Federal de São Carlos

Orientadora

André Di Thommazo

Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

Campus São Carlos

Colaborador

São Carlos, Março/2012

THOMAS BELTRAME

**SOFTWARE PARA ANÁLISE DA CINÉTICA DO CONSUMO DE
OXIGÊNIO DURANTE EXERCÍCIO MODERADO**

Material apresentado como requisito para
obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia pela Universidade Federal
de São Carlos.

Orientadores: Profa. Dra. Aparecida Maria Catai e Prof. Dr. Luís Carlos Trevelin.
Colaborador: Prof. Ms. André Di Tommazo.

São Carlos, Março/2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B453sa Beltrame, Thomas.
Software para análise da cinética do consumo de oxigênio durante exercício moderado / Thomas Beltrame. -- São Carlos : UFSCar, 2012.
74 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Biotecnologia. 2. Condicionamento físico. 3. Exercício físico. 4. Cinética. 5. Oxigênio. I. Título.

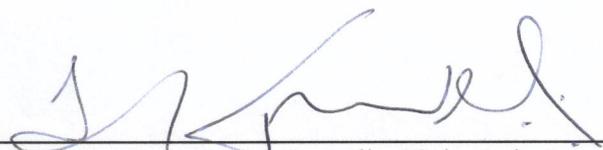
CDD: 660.6 (20ª)

Thomas Beltrame

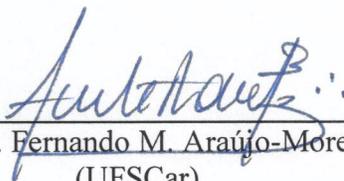
Dissertação de Mestrado submetida
à Coordenação do Programa de
Pós-Graduação em Biotecnologia,
da Universidade Federal de São
Carlos, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia

Aprovado em: 02/03/2012

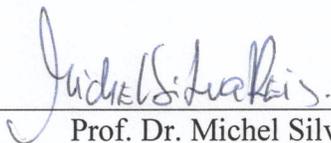
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin (Orientador)
(UFSCar)



Prof. Dr. Fernando M. Araújo-Moreira
(UFSCar)



Prof. Dr. Michel Silva Reis
(UFRJ)

Dedico este trabalho aos meus pais, Antônio Francisco Beltrame e Mariana Dingena Scheurs Beltrame, e aos meus irmãos Bruno Beltrame e Yvonne Beltrame.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, professora Dr^a. Aparecida Maria Catai, por ter me acolhido em seu laboratório e pelas oportunidades acadêmicas excelentes que vem me oferecendo.

Ao meu orientador, professor Dr. Luís Carlos Trevelin, que sempre acreditou na relação entre a informática e a saúde.

Ao colaborador, professor Ms. André Di Thommazo, por ter se comprometido com o projeto desde seu início.

Ao Professor Sávio Rodrigues, pela ajuda fundamental nos algoritmos matemáticos.

A Juliana Sá Leal de Figueiredo, por me fazer acreditar que este projeto seria possível e pelos momentos de felicidade que passo ao seu lado.

Ao professor Dr. Michel Silva Reis, pelos ensinamentos, amizade e por servir como modelo de caráter e sinceridade a ser seguido.

Ao professor Dr. Marlus Karsten, pela amizade.

Ao Dr. Victor Ribeiro Neves, pela amizade e na co-orientação do início da minha jornada científica.

A professora Audrey Borghi Silva, pelo conhecimento na área e pelas oportunidades que me ofereceu nesta jornada.

Ao Welington Pietronero, por fazer parte deste projeto por meio da sua excelência em programação.

Aos alunos Renann Prado e Helton Mariano, pela ajuda no desenvolvimento da interface gráfica.

A Luciana Di Thommazo, que além de ser uma grande amiga, foi uma ponte extremamente importante no vínculo com o Prof. André Di Thommazo.

A Isabela, pelos momentos de alegria e convivência em família.

Aos meus amigos: Nandão, Cajuru, Turqueto, Átila, Áquila, Sônia, Érik, Cláudia, Arícia, Vítor Aquino, Laura Neves, Gabriel, Amilton, João Durigan e Manu.

A todos do NUPEF: Ana Cristina, Soraia, Renata Trimer, Renata Mendes, Juliana, Camila Negrão, Camila Pantoni, Sílvia, Natália, Marcelle, Amanda, Patrícia, Rodrigo, Viviane, Vinícius, Milena, Flávia, Bonjorno, Cláudio, Rafael, Bruno, Daniel e Adalberto.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Ao Programa de Pós Graduação em Biotecnologia da UFSCar.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Aos voluntários que fizeram parte desta pesquisa.

RESUMO

A caracterização do comportamento das variáveis biológicas na transição repouso-exercício parece ajudar a compreender como o organismo ajusta os sistemas orgânicos frente ao exercício físico. Dentre estas variáveis, a cinética do consumo de oxigênio (VO_2) é amplamente estudada devido às informações que pode fornecer no que se refere ao condicionamento físico. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um software que facilite a caracterização do comportamento do VO_2 em exercícios moderados de carga constante. Testes com o software, realizados em dez indivíduos homens saudáveis, mostraram que não houve diferenças estatísticas entre os valores dos parâmetros encontrados pelo novo software e os parâmetros obtidos pelo software SigmaPlot, o usado como referência. Adicionalmente, a interface apresentada facilita a análise da cinética do VO_2 . A conclusão deste estudo mostra que este novo software pode ser utilizado como uma ferramenta simples para caracterizar o comportamento do VO_2 . A utilização da cinética do VO_2 como forma de análise do condicionamento físico poderá, a partir de agora, ser utilizada por um maior número de profissionais da saúde e usuários interessados que visam este tipo de análise.

Descritores: Cinética do VO_2 . Condicionamento Físico. Sinais Biológicos. Bioinformática.

ABSTRACT

The characterization of behavior of some biological variables in the transition rest-exercise (on-transition) seems to help understand how the organism adjusts some physiological systems in the beginning of physical exercise. Among these variables, the kinetics of oxygen consumption (VO_2) is widely studied and can add information about physical fitness. The objective of this study was to develop new software that facilitates the characterization of the VO_2 kinetics in on-transition of constant work load exercise. Some tests with the software, performed in ten healthy male subjects, showed no statistical differences between the values of the kinetics' s parameters found by the new software and the parameters obtained by SigmaPlot software. Additionally, the Interface facilitates analysis of the kinetics of VO_2 . The conclusion from this study shows that this new software may be used as a simple tool to characterize the behavior of VO_2 . Now, the use of VO_2 kinetics can be used by a larger number of health care professionals who aim to this type of analysis.

Keywords: Oxygen. Kinetics. Fitness. Software

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPORTAMENTO MONO EXPONENCIAL.....	9
FIGURA 2. COMPORTAMENTO HIPOTÉTICO	12
FIGURA 3. FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE ANÁLISE.....	14
FIGURA 4. CARACTERÍSTICA DO COMPORTAMENTO DA CURVA DO VO ₂	16
FIGURA 5: CURVA DE DA PROPORÇÃO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	19
FIGURA 6: DIAGRAMA DE CASOS DE USO.....	23
FIGURA 7: COMPORTAMENTO DA FUNÇÃO D (α).....	26
FIGURA 8: RESULTADOS DE TODAS AS ANÁLISES	28
FIGURA 9: ILUSTRAÇÃO DA ÁREA DO DÉFICIT DE OXIGÊNIO.....	29
FIGURA 10: ILUSTRAÇÃO DO PADRÃO DE COMPORTAMENTO DO CONSUMO DE OXIGÊNIO	36
FIGURA 11: FORMULÁRIO INICIAL.....	38
FIGURA 12: FORMULÁRIO PRINCIPAL	39
FIGURA 13: FORMULÁRIO DE CADASTRO	39
FIGURA 14: FORMULÁRIO PARA CADASTRO DE NOVOS GRUPOS	40
FIGURA 15: FORMULÁRIO DE CADASTRO DE NOVAS VISITAS	40
FIGURA 16: FORMULÁRIO DE SELEÇÃO DO PROTOCOLO DE EXERCÍCIO.....	41
FIGURA 17: FORMULÁRIO DE CADASTRO DE UM PROTOCOLO.....	42
FIGURA 18: AMBIENTE DE ANÁLISE DA CINÉTICA.....	42
FIGURA 19: FORMULÁRIO PARA EDIÇÃO DOS DADOS.....	43
FIGURA 20: FORMULÁRIO PARA EDIÇÃO DOS GRUPOS.....	43
FIGURA 21: FORMULÁRIO PARA EDIÇÃO DOS PROTOCOLOS	44
FIGURA 22: JANELA PARA ESCOLHA DO LOCAL DE DEPÓSITO DOS ARQUIVOS	44
FIGURA 23: JANELA PARA ESCOLHA DO LOCAL DE IMPORTAÇÃO DOS ARQUIVOS.	45
FIGURA 24: RELATÓRIO GERAL	45
FIGURA 25: RELATÓRIO DOS PARÂMETROS.....	46
FIGURA 26: RELATÓRIO DOS PARÂMETROS OBTIDOS EM UMA ÚNICA VISITA.	46
FIGURA 27: ABA DO FORMULÁRIO DE CONFIGURAÇÕES	47
FIGURA 28: ABA DO FORMULÁRIO DE CONFIGURAÇÕES	47
FIGURA 29: FORMULÁRIO PARA ENTRAR EM CONTATO COM OS AUTORES	47
FIGURA 30: DIREITOS AUTORAIS DO SOFTWARE.....	48
FIGURA 31: GRÁFICO DOS VALORES DO TEMPO PARA CADA ANÁLISE	50
FIGURA 32: GRÁFICO DOS VALORES DO PARÂMETRO “MRT”.....	52
FIGURA 33: GRÁFICO DOS VALORES DO PARÂMETRO “a”.....	52
FIGURA 34: GRAU DE CONCORDÂNCIA ENTE OS SOFTWARES (MRT)	52
FIGURA 35: GRAU DE CONCORDÂNCIA ENTE OS SOFTWARES (a)	53
FIGURA 36: GRAU DE CONCORDÂNCIA ENTE OS SOFTWARES (AD)	53

LISTA DE ABREVIATURAS

VO ₂ :	Consumo de oxigênio	PAD:	Pressão arterial diastólica
LAv:	Límiar de anaerobiose ventilatório	COEPI:	Comissão Especial de Propriedade Industrial e Difusão Tecnológica
VE:	Ventilação	USE:	Unidade Saúde Escola
VCO ₂ :	Volume de dióxido de carbono	NUPEF:	Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico
FC:	Frequência cardíaca	GSDR:	Grupo de Sistemas Distribuídos e Redes
a ₀ :	Consumo de oxigênio na linha de base	ECG:	Eletrocardiograma
a:	Consumo de oxigênio do estado estável	iRR:	Intervalos r-r
e:	Número “Euler”	Bpm:	Batimentos por minuto
τ:	Constante de tempo	k:	Constante de tempo
EE:	Estado estável	C#:	Linguagem de computação
O ₂ :	Oxigênio	Kg:	Quilogramas
ATP:	Adenosina Trifosfato	Km:	Quilômetros
PCr:	Fosfato Creatina	h:	Hora
PE:	Problemas encontrados	*.pdf:	Formato de documento digital
i:	Usuário do software	UC:	<i>Use case</i>
N:	Número total de problemas encontrados	\sum_j^n :	Somatória dos termos de “j” a “n”
L:	Proporção de todos os problemas	α:	Constante de tempo
IM:	Infarto do miocárdio	ASC:	Área sob a curva
IMC:	Índice de massa corpórea	AD:	Área de déficit de O ₂
PAS:	Pressão arterial sistólica	MySQL:	<i>Structured Query Language</i>
*.csv:	Extensão de arquivo digital	DP:	Desvio padrão

LISTA DE EQUAÇÕES

(1)	$-\frac{dy}{dt} = k \cdot y_{(t)}$	08
(2)	$\frac{dy}{y_{(t)}} = -k \cdot dt$	08
(3)	$\ln[y_{(t)}] + C_1 = -kt + C_2$	08
(4)	$y_{(t)} \cdot C_3 = \exp^{-kt} \cdot C_4$	09
(5)	$y_{(t)} = C_5 \cdot \exp^{-kt}$	09
(6)	$y_{(t)} = y_{ee} \cdot \exp^{-kt}$ ou ainda, $y_{(t)} = y_{ee} \cdot \exp^{-t/\tau}$	09
(7)	$y_{(t)} = y_{ee} - y_{ee} \cdot \exp^{-t/\tau}$ ou ainda, $y_{(t)} = y_{ee} \cdot (1 - \exp^{-t/\tau})$	09
(8)	$y_{(t)} = a_0 + y_{ee} \cdot (1 - \exp^{-t/\tau})$	10
(9)	$y_{(t)} = a_0 + y_{ee} \cdot (1 - \exp^{-(t-TD)/\tau})$	10
(10)	$MRT = TD + \tau$	10
(11)	$VO_2(t) = a_0 + a_1 (1 - \exp^{-(t-TD1)/\tau_1}) + a_2 (1 - \exp^{-(t-TD2)/\tau_2})$	11
(12)	$VO_2(t) = a_0 + a_1 (1 - \exp^{-(t-TD1)/\tau_1}) + a_2 (1 - \exp^{-(t-TD2)/\tau_2}) + a_3 (1 - \exp^{-(t-TD3)/\tau_3})$	12
(13)	$PE(i) = N (1 - (1 - L)^i)$	18
(14)	$a_0 = \sum_{j=1}^n 1/n$	24
(15)	$\alpha = 1/\tau$	24
(16)	$Z(\alpha) = f(\alpha) - a_0$	25
(17)	$f(\alpha) = \sum_{j=1}^n (1 - \exp^{-\alpha t_j})^2$	25
(18)	$g(\alpha) = \sum_{j=1}^n z_j (1 - \exp^{-\alpha t_j})$	25
(19)	$h(\alpha) = \sum_{j=1}^n (1 - \exp^{-\alpha t_j}) t_j \exp^{-\alpha t_j}$	25
(20)	$p(\alpha) = \sum_{j=1}^n z_j t_j \exp^{-\alpha t_j}$	25
(21)	$h'(\alpha) = \sum_{j=1}^n (-1 + 2 \exp^{-\alpha t_j}) t_j^2 \exp^{-\alpha t_j}$	25
(22)	$p'(\alpha) = \sum_{j=1}^n z_j t_j^2 \exp^{-\alpha t_j}$	25
(23)	$d(\alpha) = g(\alpha) h(\alpha) - p(\alpha) f(\alpha)$	26
(24)	$f'(\alpha) = 2 h(\alpha)$	26
(25)	$g'(\alpha) = p(\alpha)$	26
(26)	$d'(\alpha) = g'(\alpha) h(\alpha) + g(\alpha) h'(\alpha) - p'(\alpha) f(\alpha) - p(\alpha) f'(\alpha)$	27
(27)	$a = g(\alpha)/f(\alpha)$	27
(28)	$\alpha := 0,04$ (inicialmente) ou $\alpha = d(\alpha)/d'(\alpha)$	27
(29)	$Soma\ dos\ erros = [(1/n) \sum_{j=1}^n (a_j - x_j)^2]^{1/2}$	28
(30)	$AD = MRT \cdot a$	28
(31)	$f_{(t)} = a_0 + a (1 - \exp^{-MRT/\tau})$	35

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	HIPÓTESES E OBJETIVOS	17
2.1.	Objetivo primário:.....	17
2.2.	Objetivos decorrentes:	17
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Casuística	18
4.	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	20
4.1.	Usabilidade do software.....	20
4.2.	Requisitos	22
4.3.	Algoritmos	24
4.3.1.	Análise da cinética do VO_2	24
4.3.2.	Análise do déficit de O_2	28
4.4.	Banco de dados	29
5.	AQUISIÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS	30
5.1.	Voluntários	30
5.1.1.	Aspectos éticos do estudo	31
5.1.2.	Critérios de Inclusão para os testes de exercício físico	31
5.1.3.	Critérios de Exclusão para os testes de exercício físico	32
5.2.	Procedimentos experimentais	32
5.2.1.	Monitorização cardiopulmonar	33
5.2.2.	Protocolo do teste de exercício físico tipo rampa.....	33
5.2.3.	Protocolo de carga constante.....	34
6.	ANÁLISE DA CINÉTICA DO VO_2	35
7.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	37
8.	RESULTADOS.....	38
8.1.	Visualização.....	38
8.2.	Teste de interface	48
8.3.	Outputs.....	51
9.	DISCUSSÃO.....	54
9.1.	Metodologia de análise aplicada.....	54
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	56
11.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	ANEXOS.....	62

1. INTRODUÇÃO

Os métodos que permitem a quantificação do consumo de oxigênio (VO_2) vêm evoluindo ao longo do último século. Com a criação de analisadores de gases de resposta mais rápida, que possuem algoritmos que estimam a troca de gás alveolar através das modificações de O_2 que ocorrem nos pulmões a cada respiração, os processos de obtenção do VO_2 foram otimizados (Linnarsson, 1974; Linnarsson e Lindborg, 1974). Previamente à mensuração do VO_2 respiração-a-respiração, disponível atualmente (Linnarsson e Lindborg, 1974), os gases eram analisados em intervalos de tempos definidos (a cada 15, 30 ou 60s).

Entre os estudos que utilizam estes valores de VO_2 para caracterização do condicionamento físico, vários foram realizados para elucidar o limiar de anaerobiose ventilatório (LAV), que é um importante parâmetro fisiológico para a avaliação da capacidade aeróbia no homem (Soler, Folledo *et al.*, 1989; Wasserman, 1999; Kelly, Thin *et al.*, 2001). Em protocolos de rampa, existem métodos não invasivos para a determinação deste LAV que se relacionam à mudança do comportamento das variáveis ventilatórias e metabólicas, nos quais se observa um aumento desproporcional da ventilação pulmonar (VE) e da produção de dióxido de carbono (VCO_2) e, uma elevação linear do VO_2 (Wasserman, 1999). Estes estudos permitem a quantificação do LAV, que corresponde ao valor submáximo de potência onde começa a haver uma desproporção entre o aumento da produção de ácido lático pelo músculo e sua eliminação pelos processos de captação e metabolização celular no fígado, nos músculos inativos, no coração e em outros tecidos do organismo e que, por conseguinte, possibilita a quantificação da capacidade aeróbia em exercício do indivíduo (Wasserman, 1999).

Adicionalmente, a partir da obtenção destes valores pontuais de VO_2 , Krogh e colaboradores (Krogh e Lindhard, 1913) começaram a plotá-los em gráficos e passaram a descrever seu comportamento (i.e. cinética do VO_2) durante a transição do repouso para o exercício físico de carga constante. A partir deste estudo inicial, muitos aspectos

metodológicos que buscam caracterizar a cinética do VO_2 sofreram modificações (Hughson, O'leary *et al.*, 2000; Bell, Paterson *et al.*, 2001).

Um dos indicadores efetivos da condição do sistema fisiológico pode ser obtido pela mensuração da capacidade deste sistema em responder rapidamente a um agente estressor, como o exercício físico (Hepple, 2002; Westerblad, Allen *et al.*, 2002). Assim, uma dinâmica rápida do VO_2 geralmente é associada a uma elevada tolerância ao exercício físico (Hagberg, Hickson *et al.*, 1980; Powers, Dodd *et al.*, 1985).

Tradicionalmente, a cinética do VO_2 pode ser determinada por uma análise visual simples, que busca identificar o momento em que 50% da resposta total foi atingida (i.e. $t_{1/2}$) (Whipp e Wasserman, 1972), porém, é de se esperar que uma análise visual possa sofrer diversas influências que interferem diretamente nos resultados (Andrew P. Jones, 2005). A partir destas limitações, somadas ao desenvolvimento de tecnologias computacionais inovadoras, novas metodologias de modelamento de sinais surgiram (Motulsky e Ransnas, 1987; Bell, Paterson *et al.*, 2001).

Dentre as metodologias mais atuais para análise da cinética, vale destacar a análise por modelos exponenciais (Linnarsson, 1974; Casaburi, Barstow *et al.*, 1989; Barstow, Casaburi *et al.*, 1993; Grassi, Poole *et al.*, 1996; Rossiter, Ward *et al.*, 1999; Bearden e Moffatt, 2001b). A função que caracteriza o comportamento do VO_2 pode ser definida como um processo de decrescimento exponencial de um determinado valor do estado estável (a_{ee}) até o “zero” (i.e. $f(t) = a_{ee} - 0t$). Este processo é definido abaixo:

$$-\frac{dy}{dt} = k \cdot y(t) \quad (1)$$

Onde “k” é denominada “constante de crescimento”. Onde:

$$\frac{dy}{y(t)} = -k \cdot dt \quad (2)$$

Tomando as integrais de ambos os lados:

$$\ln[y(t)] + C_1 = -kt + C_2 \quad (3)$$

Onde C_1 e C_2 são constantes de integração. O “natural antilog” nos fornece:

$$y(t) \cdot C_3 = \exp^{-kt} \cdot C_4 \quad (4)$$

Se $C_4/C_3 = C_5$:

$$y(t) = C_5 \cdot \exp^{-kt} \quad (5)$$

Ou seja, no $t = 0$, o valor de “ \exp^0 ” é 1 e o valor da variável “ y ” passa a ser o valor da constante C_5 (estado estável):

$$y(t) = y_{ee} \cdot \exp^{-kt} \text{ ou ainda, } y(t) = y_{ee} \cdot \exp^{-t/\tau} \quad (6)$$

Onde, “ τ ” representa a constante de tempo (i.e. inverso da constante de crescimento “ k ”), porém, esta função corresponde ao quanto o y_{ee} precisa ser decrescido ao longo do tempo (**Figura 1**), logo:

$$y(t) = y_{ee} - y_{ee} \cdot \exp^{-t/\tau} \text{ ou ainda, } y(t) = y_{ee} \cdot (1 - \exp^{-t/\tau}) \quad (7)$$

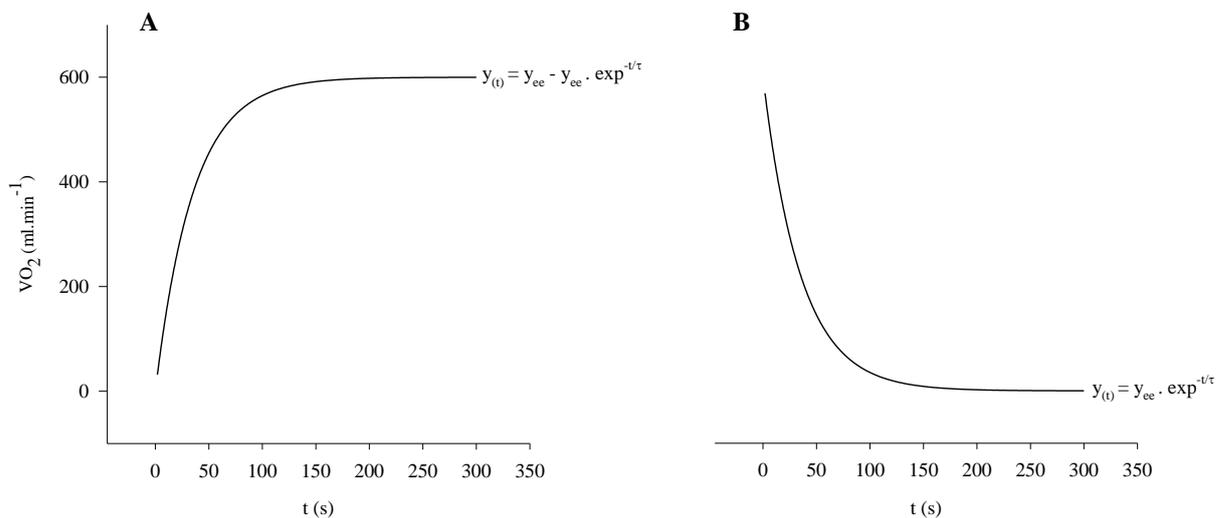


Figura 1: Comportamento mono exponencial hipotético do VO_2 gerado a partir das funções $VO_{2(t)} = 600 - 600 \cdot \exp^{-t/35}$ (A) e $VO_{2(t)} = 600 \cdot \exp^{-t/35}$ (B) com uma variação de tempo de 0 a 300 segundos. A função $VO_{2(t)} = 600 \cdot \exp^{-t/35}$ (B) descreve o quanto o VO_{2ee} precisa ser decrescido ao longo do tempo até o momento em que se atinja o estado estável ($\cong 150s$, onde $\exp^{-t/35} = 1$).

O valor do VO_2 antes do início do exercício não é igual a “zero”, pois há um consumo de O_2 basal, logo, deve-se acrescentar um novo termo (a_0) a equação proposta, onde:

$$y_{(t)} = a_0 + y_{ee} \cdot (1 - \exp^{-t/\tau}) \quad (8)$$

A variável y_{ee} também é conhecida como “a” (i.e. amplitude da função exponencial).

Alguns autores (Linnarsson, 1974; Casaburi, Barstow *et al.*, 1989; Barstow e Mole, 1991; Barstow, Casaburi *et al.*, 1993; Grassi, Poole *et al.*, 1996; Rossiter, Ward *et al.*, 1999; Bearden e Moffatt, 2001b) acrescentam um termo de atraso nesta função (i.e. TD ou “*time delay*”) a fim de caracterizar um atraso fisiológico existente (Whipp, 2009).

Este termo de atraso deve ser decrescido da variável independente (t) da função, de uma forma que atrase o surgimento da progressão exponencial:

$$y_{(t)} = a_0 + y_{ee} \cdot (1 - \exp^{-(t-TD)/\tau}) \quad (9)$$

Alguns autores (Linnarsson, 1974; Whipp e Ward, 1990) somaram este termo ao valor da constante de tempo τ , e estabeleceram outra constante de tempo chamada MRT (*mean response time*) ou constante de tempo efetiva:

$$\text{MRT} = \text{TD} + \tau \quad (10)$$

Além da inserção deste termo de atraso (TD), a literatura vem demonstrando a existência de não apenas um único componente, mas de mais um ou dois componentes adicionais (Whipp, 1987; Bearden e Moffatt, 2001a; Neder Ja, 2003). No início de um exercício moderado de carga constante, os 5-30 segundos iniciais são correspondentes ao componente cardiodinâmico (i.e. fase I), onde podemos observar um aumento imediato da FC devido a retirada vagal (Maciel, Gallo *et al.*, 1986; Gallo Júnior L, 1995) e uma elevação do fluxo sanguíneo pulmonar resultante do aumento da inotropia cardíaca e do retorno venoso provindo da musculatura ativa, o que acarreta um incremento abrupto no VO_2 (Ozyener,

Rossiter *et al.*, 2001; Neder Ja, 2003). O componente seguinte (i.e. fase II) surge quando os efeitos das trocas gasosas musculares passam a repercutir no sistema cardiorrespiratório. Ao final desse período um estado de equilíbrio é restabelecido, e as trocas gasosas no pulmão estão novamente iguais às trocas gasosas celulares, caracterizando o início da fase estável (i.e. fase III) (Wasserman, 1999; Neder Ja, 2003).

Quando a intensidade do exercício é intensa (i.e. intensidade acima do LAV), a cinética do VO_2 torna-se mais complexa. Embora o VO_2 na fase II continua aumentando exponencialmente até um breve período de estabilidade, no início da fase III, um componente adicional surge (Barstow e Mole, 1991; Paterson e Whipp, 1991; Xu e Rhodes, 1999). Este componente adicional, também chamado de componente lento se eleva progressivamente de forma aparentemente exponencial, até atingir novamente a estabilidade (Xu e Rhodes, 1999). A ocorrência do componente lento parece estar intimamente relacionada ao início de um acúmulo de lactato (Xu e Rhodes, 1999; Neder Ja, 2003) em decorrência de diversos fatores, como por exemplo, o tipo de fibra muscular recrutada no exercício, no qual as fibras do tipo II com menor capacidade oxidativa são mais recrutadas em cargas intensas, logo um maior VO_2 (componente lento) é necessário para a manutenção do exercício neste domínio de carga (Barstow e Mole, 1991).

Logo, esta sequência de fases da cinética pode ser descrita matematicamente por uma equação de dois componentes exponenciais para exercício físico moderado:

$$\begin{aligned} \text{VO}_2(t) = a_0 + a_1 (1 - \exp^{-(t - \text{TD1})/\tau_1}) & \quad \text{Fase I (componente cardiodinâmico)} \\ + a_2 (1 - \exp^{-(t - \text{TD2})/\tau_2}) & \quad \text{Fase II (componente muscular)} \end{aligned} \quad (11)$$

E três componentes exponenciais para exercício físico intenso (**Figura 2**):

$$\begin{aligned} \text{VO}_2(t) = & a_0 + a_1 (1 - \exp^{-(t - \text{TD}_1) / \tau_1}) \quad \text{Fase I (componente cardiodinâmico)} \\ & + a_2 (1 - \exp^{-(t - \text{TD}_2) / \tau_2}) \quad \text{Fase II (componente muscular)} \\ & + a_3 (1 - \exp^{-(t - \text{TD}_3) / \tau_3}) \quad \text{Fase III (componente lento)} \end{aligned} \quad (12)$$

Estes modelos de equações possuem as seguintes variáveis: a_0 é o valor de VO_2 de *baseline*; a_1 , a_2 e a_3 representam a amplitude do VO_2 de cada componente; τ_1 , τ_2 e τ_3 representam as constantes de tempo (i.e. tempo necessário para alcançar 63% da resposta estável do VO_2); TD_1 , TD_2 e TD_3 representam o tempo de atraso para cada componente (**Figura 1**) (Motulsky e Ransnas, 1987).

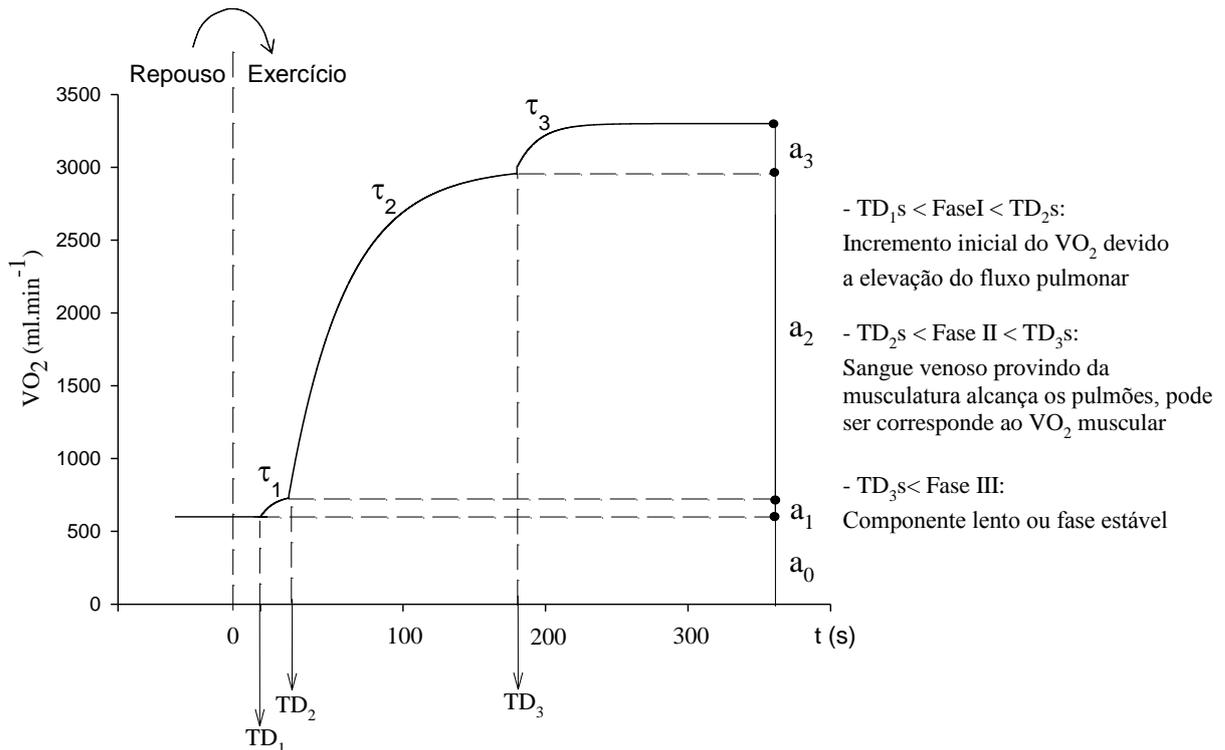


Figura 2. Comportamento hipotético gerado pela função $f(t) = 600 + 100(1 - \exp^{-(t-20/10)}) + 2200(1 - \exp^{-(t-20)/50}) + 500(1 - \exp^{-(t-140/10)})$ com uma variação de tempo de 0 a 360s. Esta curva mostra as características da resposta do consumo de oxigênio na transição do repouso para o exercício intenso. Onde, a_0 é o consumo de oxigênio de *baseline*; a_1 , a_2 e a_3 representam o consumo de oxigênio no estado estável; τ_1 , τ_2 e τ_3 representam as constantes de tempo; TD_1 , TD_2 e TD_3 representam a tempo de atraso de cada fase.

Torna-se claro, portanto, que se o incremento do VO_2 até o estado estável fosse "instantâneo" (e não exponencial), não haveria um déficit de O_2 na transição repouso/exercício e nesse caso, as demandas esperadas de O_2 seriam atingidas imediatamente. Entretanto, como o VO_2 fica abaixo do estado estável por algum tempo (**Figura 2**), podemos inferir a existência de uma área de déficit momentâneo de O_2 (AD).

Apesar de a literatura ser divergente quanto a natureza exponencial do componente cardiodinâmico (fase I) (Yoshida, Yamamoto *et al.*, 1993), sua caracterização como função exponencial parece não influenciar a estimativa dos parâmetros da cinética do componente muscular (fase II) que é o foco principal da análise da cinética do VO_2 (Bell, Paterson *et al.*, 2001). Diversos estudos excluíram esta fase (Whipp, Ward *et al.*, 1982; Murias, Kowalchuk *et al.*, 2010) com o intuito de eliminar suas influências na estimativa dos parâmetros da fase subsequente (fase II). Um estudo adicional, em formato de artigo científico, foi realizado para se verificar tais influências (veja o resumo no ANEXO 1).

Além da exclusão da fase cardiodinâmica, diversos outros procedimentos metodológicos são necessários para a realização deste tipo de análise (Andrew P. Jones, 2005) como demonstrado na figura a seguir (**Figura 3**). Depois de extraídos os dados do sistema de captação, deve-se seguir uma série de etapas que requerem experiência prévia com este tipo de análise e habilidade na manipulação de softwares para análises gráficas específicas como o SigmaPlot[®], Origin[®] e Kaleida[®] (Andrew P. Jones, 2005).

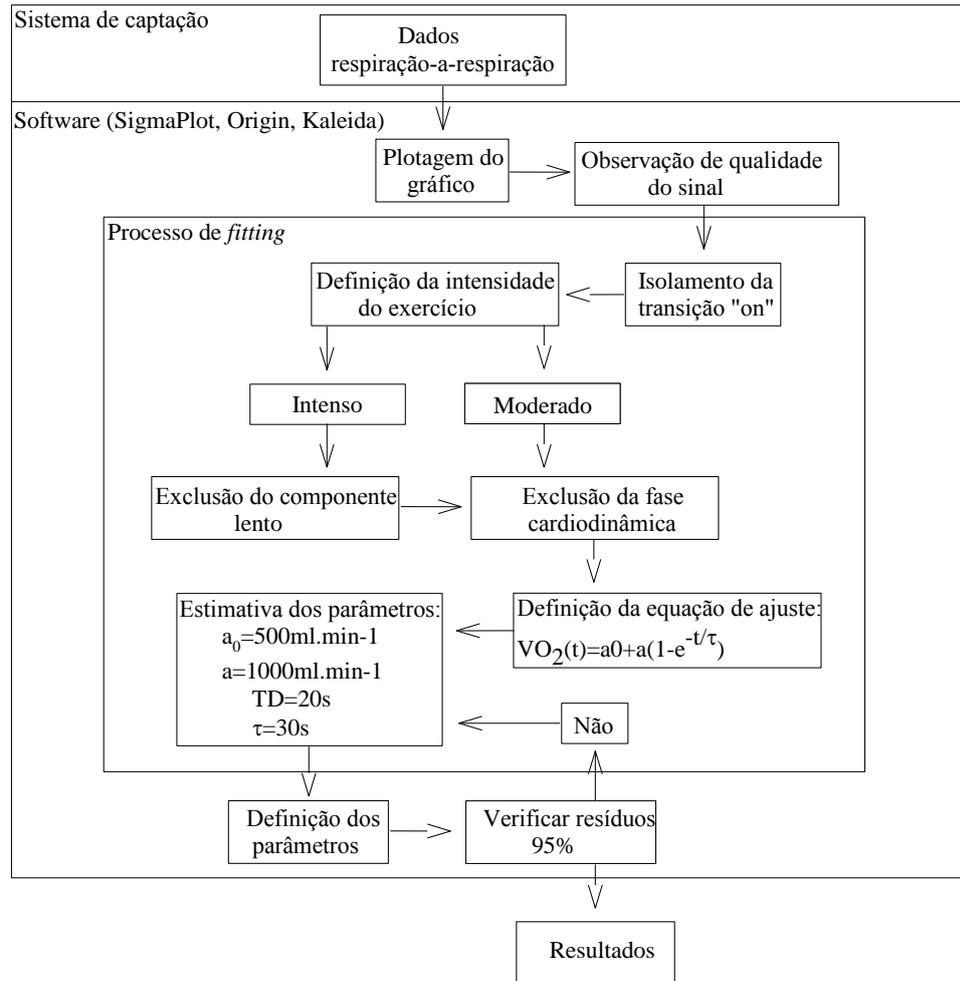


Figura 3. Fluxograma do processo de obtenção dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio. O melhor procedimento de fit pode ser estabelecido pela análise do intervalo de confiança (<95%).

Os softwares escolhidos para este tipo de ajuste utilizam modelos de ajustes não lineares, e a estimativa dos parâmetros geralmente é realizada através do algoritmo de *Levenberg-Marquardt* (L-M) que combina o método de *Gauss-Newton* e o método de *descidas mais íngremes* com o intuito de minimizar a soma dos erros quadrados durante a adequação da resposta do VO_2 a curvas exponenciais (Motulsky e Ransnas, 1987). Esta adequação exponencial não simplesmente se destaca por apresentar boa qualidade de ajuste dos sinais (Motulsky e Ransnas, 1987), mas por apresentar parâmetros que possuem alta correlação com o sistema fisiológico (Andrew P. Jones, 2005).

Já no ambiente de programação destes softwares (**Figura 2**) é necessário indicar os parâmetros e a função exponencial que deve ser ajustada através do método L-M:

- Para funções mono exponenciais aplicadas aos dados obtidos em exercício moderado:

Declaração de Variáveis (double a_0 , double a , double τ_1 , double t , double VO_2)

Estrutura de decisão:

{ if ($t < 0$) { $VO_2 = a_0$; }}	Sessão 1
else { $VO_2 = a_0 + a * (1 - \exp(t/\tau))$; } }	Sessão 2

Esta estrutura de decisão diz a respeito da divisão dos dados do VO_2 em duas sessões:

- a sessão 1 corresponde aos dados anteriores ao incremento de carga (*if* $t < 0$), lembrando que o início do incremento da carga corresponde ao momento “ $t=0s$ ”, que serão submetidos a um ajuste simples através do cálculo das médias ($VO_2=a_0$).
- a sessão 2, ou seja, os dados restantes após o incremento de carga (*else* $t > 0$) serão submetidos ao ajuste exponencial descrito anteriormente.

Apesar de a implementação ser aparentemente simples para profissionais familiarizados, a perspectiva comum em relação ao processo geral de análise da cinética do VO_2 (**Figura 2**) para os profissionais da saúde é de que esta forma de análise é complexa e de difícil realização (Andrew P. Jones, 2005) devido à necessidade de lidar com softwares que exigem um alto grau de familiarização. Infelizmente, tal fato representa a perda de uma fonte rica em informações pertinentes as (dis)funções metabólicas, já que a constante de tempo τ pode nos fornecer inferências quanto a condição da interação dos sistemas fisiológicos frente a uma nova demanda (exercício físico) como exemplificado na figura a seguir (**Figura 4**). Onde, um indivíduo portador de Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) que apresenta,

dentre outros distúrbios, limitação em captar O_2 tem uma constante de tempo t maior (56s) em relação a um indivíduo saudável (35s) (i.e, uma cinética mais lenta).

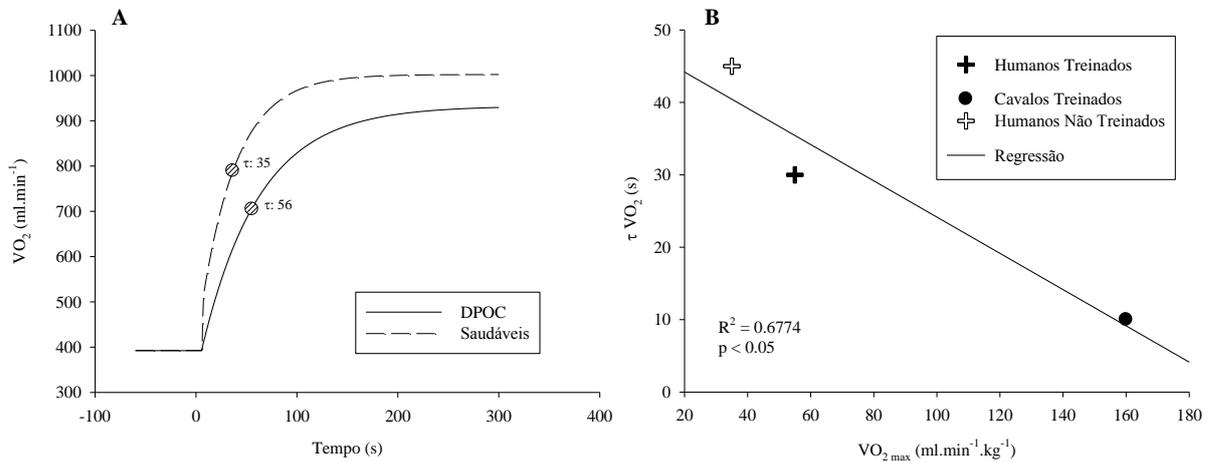


Figura 4. A: Característica do comportamento da curva do VO_2 de um indivíduo saudável sedentário e de um indivíduo portador de Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) (dados pertencentes ao Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico - UFSCar). **B:** Correlação entre a constante de tempo " τ " do VO_2 e o $VO_{2\max}$ corrigido pela massa corporal em humanos treinados, não treinados e cavalos treinados (adaptado de (Andrew P. Jones, 2005)).

Portanto, o presente estudo se justifica, pois, a partir da criação de um software de fácil utilização que forneça ferramentas para avaliação da cinética do VO_2 , espera-se contribuir para tornar este tipo de análise ainda mais acessível aos profissionais da saúde comparativamente ao método tradicional (**Figura 3**). Trata-se então de uma ferramenta específica orientada às atividades de os profissionais da área da saúde.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

O desenvolvimento de um novo software que caracterize o padrão da resposta do VO_2 na transição do repouso para o exercício poderá ser utilizado como uma ferramenta simples e acessível a todos os usuários que buscam avaliar a performance ao exercício físico através cinética do VO_2 em testes de carga constante.

Diante disso, as hipóteses deste estudo foram:

- O software desenvolvido pode caracterizar o comportamento do VO_2 de forma compatível com o software SigmaPlot[®] que é um programa computacional muito utilizado para o desenvolvimento da pesquisa científica, especificamente para a formulação de gráficos e análises estatísticas. A avaliação dos resultados pode ser feita através de comparações entre os *outputs* computacionais.

- O software pode se apresentar como uma ferramenta de fácil utilização a partir do desenvolvimento de uma interface amigável que utiliza recursos atuais de interação humano-computador.

Dadas as hipóteses acima, os objetivos do trabalho podem ser estabelecidos da maneira como se segue:

2.1. Objetivo primário:

1- Desenvolver um software que caracterize o comportamento do VO_2 em exercícios moderados de carga constante.

2.2. Objetivos decorrentes:

1- Comparar os parâmetros da cinética obtidos pelo software SigmaPlot[®] e o software aqui proposto.

2- Testar se a interface do software proposto facilita o processo de análise da cinética do VO_2 .

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Basicamente, o desenvolvimento deste projeto de pesquisa foi dividido em três passos. O primeiro foi constituído pelo desenvolvimento do software propriamente dito, o segundo foi caracterizado pela coleta de dados experimentais e por fim o terceiro passo foi constituído pelos testes, tanto dos testes dos dados experimentais quanto testes de facilidade de utilização.

3.1 Casuística

O cálculo do número de voluntários necessários para a investigação da qualidade do software se baseou nos achados de Nielsen e Landauer (Nielsen e Landauer, 1993). O número de usuários foi calculado segundo a equação:

$$PE(i) = N(1 - (1 - L)^i) \quad (13)$$

A equação proposta por Nielsen e Landauer (Nielsen e Landauer, 1993), para o cálculo do número de usuários necessários para a identificação dos principais problemas de usabilidade do software, inclui PE (problemas encontrados) que indica o número de diferentes problemas de usabilidade relatados por “i” usuários nos questionários aplicados, N que representa o número total de problemas encontrados pelos usuários e L indica a proporção de todos os problemas de usabilidade encontrados por um único usuário.

Nielsen et. al. (Nielsen e Landauer, 1993) observaram que esta equação descreve uma curva (**Figura 5**) que nos mostra a necessidade de no mínimo 10 usuários para detecção da maioria dos problemas de usabilidade em um software de pequeno porte. Logo, foram selecionados 10 profissionais da saúde que não são familiarizados com este tipo de análise.

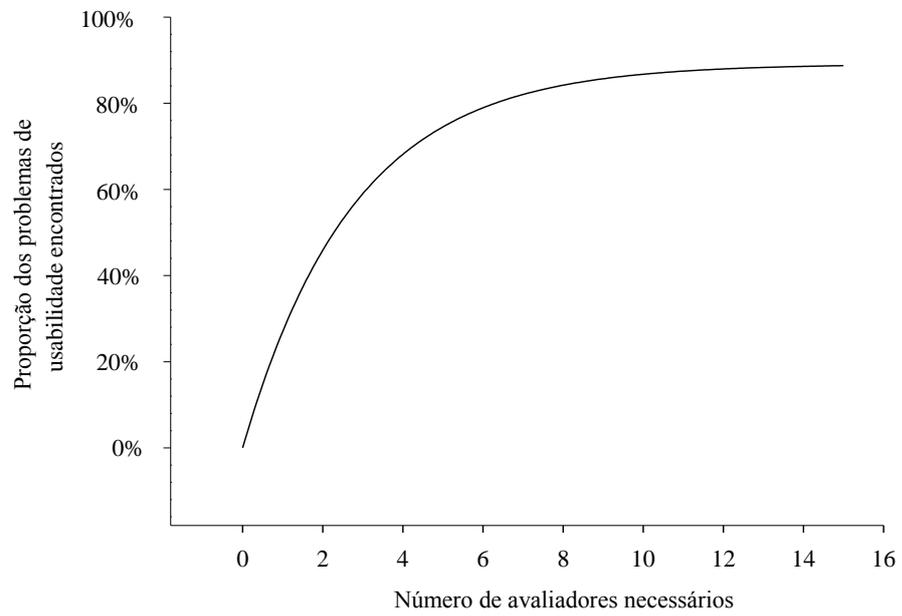


Figura 5: Curva de demonstração da proporção de problemas encontrados (L) de acordo com diversos números de avaliadores (Nielsen e Landauer, 1993).

4. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Atualmente, a análise da cinética envolve uma série de processos, desde o estabelecimento do tipo de protocolo de exercício, aplicação do protocolo de exercício, coleta e processamento dos dados e análise final dos dados obtidos. Assim, as rotinas computacionais empregadas podem modificar diretamente os resultados desta análise (CHRISTOPHER et al., 2001).

A proposta aqui é desenvolver um software em linguagem C#, na plataforma Microsoft “.Net” (Albahari J., 2008; Xie D., 2009), que seja capaz de caracterizar o padrão de resposta do VO₂ de maneira mais simples e acessível (Booch, 2009; Guedes, 2009) em comparação aos processos tradicionais que envolvem este tipo de análise (**Figura 2**) (Whipp e Wasserman, 1972; Linnarsson, 1974; Whipp, 1987; Ozyener, Rossiter *et al.*, 2001). A solicitação de registro do software foi aprovada em reunião da Comissão Especial de Propriedade Industrial e Difusão Tecnológica (COEPI-UFSCar) no dia 10 de outubro de 2011, estando em tramitação junto a Agência de Inovação da UFSCar.

4.1. Usabilidade do software

Um dos princípios fundamentais proposto por este software é a interface amigável e funcional. Para tal, o desenvolvimento das interfaces seguiu o modelo de avaliação Heurística (Molich e Nielsen, 1990) a fim de agregar qualidades ao software, que inclui um diálogo simples e natural, falar a língua do usuário, minimizar a carga de memória do usuário, consistência, retorno, saídas claramente marcadas, atalhos, boas mensagens de erros, prevenção de erros, ajuda e documentação.

Devido à proposta de disponibilizar a análise da cinética do VO₂, pelo novo software, para profissionais que nunca trabalharam com esta forma de avaliação, o grupo selecionado para a avaliação da qualidade do software foi composto por profissionais da área da saúde que

nunca tiveram contato com o método de análise da cinética. Para a identificação do grau de conhecimento deste assunto por este grupo, um questionário específico (ANEXO II) foi aplicado (10 questões valendo 1 ponto cada), sendo que o score máximo para o profissional se enquadrar neste grupo foi de 4. Este questionário foi elaborado a partir de questões básicas sobre aspectos fisiológicos e metodológicos da cinética do VO₂ (Andrew P. Jones, 2005).

Para se avaliar tais qualidades em um ambiente real, um questionário (ANEXO III) baseado na avaliação Heurística, e adaptado de Nielsen (Nielsen, 1994), foi aplicado a este grupo de profissionais da saúde não familiarizados com este tipo de análise. Antes da aplicação deste questionário de avaliação, um caso clínico foi contextualizado:

- Sr. João, de 65 anos, pesando 70 kg e com 1,80 m de altura, foi encaminhado a você para realizar de um teste de exercício submáximo. Você realizou um teste de exercício com carga constante, em uma esteira ergométrica, da seguinte maneira:

Você iniciou a coleta e o paciente permaneceu em repouso sobre a esteira por 49 segundos, foi incrementado uma velocidade de 2 km/h que permaneceu por 200 segundos e após este período de aquecimento, a velocidade de 6 km/h foi imposta e mantida por mais 320 segundos. Após o final desta carga, você desaqueceu a 2 km/h por 100 segundos e continuou a coleta por mais 100 segundos com o paciente em repouso novamente sobre a esteira.

Após o término do teste, você extraiu os dados do equipamento que analisou os gases respirados pelo paciente e obteve uma planilha com os valores do consumo de oxigênio. Esta planilha está na área de trabalho deste computador. Você deve analisar, por este software, como o consumo de oxigênio se comportou no início deste exercício (do aquecimento para a carga). Depois de realizar a análise, preencha o questionário que lhe foi entregue.

Após esta breve contextualização, alguns comandos de voz foram dados ao usuário a fim de estabelecer novas tarefas ao longo da utilização:

- 1-) “Abra o programa”
- 2-) “Cadastre o Sr. João: sem RG, e-mail e telefone” e “aparentemente ele é eutrófico”
- 3-) “Cadastre o exercício que o Sr. João realizou”
- 4-) “O Sr. João lembrou que tem e-mail” e “Você deve alterar o seu cadastro”
- 5-) “Ok, agora vamos analisar os dados que obtivemos pelo equipamento” e “Inicie a análise”
- 6-) “O Sr. João está com 70 kg e mede 1,80 m”
- 7-) “Ok, esta é a tela de análise do comportamento do consumo de oxigênio durante o exercício que o Sr. João realizou”
- 8-) “Exporte este relatório em *.pdf”
- 9-) “Agora, saia do programa”
- 10-) “Por favor, realize todos estes procedimentos novamente”

Caso o usuário não conseguir realizar algum dos passos, o comando “Posso te ajudar?” foi utilizado, e a resposta para a dúvida pode ser buscada no manual do software. O tempo de duração da primeira e da segunda utilização foi marcado.

4.2. Requisitos

Inicialmente investigamos os problemas que envolvem a análise da cinética (Hughson, 2009), a fim de conhecer o domínio dos problemas e definir seus limites.

Para o registro dos requisitos, foi utilizado o Modelo de Casos de Uso proposto em 1992 por Ivar Jacobson (Jacobson, 1992). Os Casos de Uso são representações dos requisitos e têm como objetivo mostrar as funcionalidades do sistema, expor as interações dos usuários com o mesmo e facilitar o entendimento por parte dos usuários.

As formas de interação dos atores (i.e. profissionais da saúde) com o software foram identificados através de seus Casos de Uso (UC - *Use Case*), conforme ilustrado na **Figura 6** a seguir:

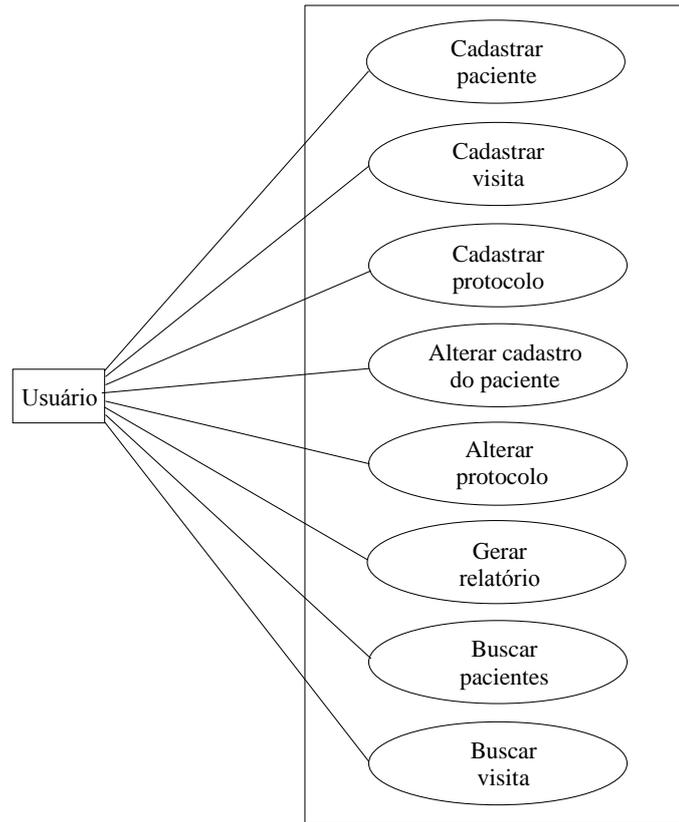


Figura 6: Diagrama de Casos de Uso

Os Casos de Uso são descritos a seguir:

- **UC Cadastrar Paciente**, são cadastros de novos usuários que terão seus dados submetidos às análises.
- **UC Cadastrar Visita**, são cadastros de novas visitas para um mesmo usuário, sendo que cada visita corresponde a uma análise.
- **UC Cadastrar Protocolo**, são cadastros de novos protocolos de exercício físico que possuem repouso inicial, aquecimento, carga constante, desaquecimento e repouso final.
- **UC Alterar Cadastro do Paciente**, os dados cadastrados anteriormente em “cadastrar paciente” podem ser alterados.
- **UC Alterar Protocolo**, os dados cadastrados anteriormente em “cadastrar protocolo” podem ser alterados.

- **UC Gerar Relatório**, os resultados obtidos em diversas visitas podem gerar um relatório de acompanhamento dos resultados.
- **UC Busca Visita**, os dados analisados em cada visita geram um relatório de resultados que podem ser acessados.

4.3. Algoritmos

Este método, baseado na análise da curva de tendência (cinética) obtida a partir do modelo de regressão não linear (mínimos quadrados), utiliza o método de Gauss-Newton para a obtenção dos parâmetros da curva (Motulsky e Ransnas, 1987).

4.3.1. Análise da cinética do VO₂

A análise foi implementada a partir da equação $f_{(x)} = a_0 + a(1 - \exp^{-x/\tau})$ que utiliza:

1-) O valor de a_0 que foi calculado pela média móvel dos valores (no máximo 60 s) que antecedem o incremento de carga, onde:

$$a_0 = \sum_{j=1}^n / n \quad (14)$$

O cálculo da *baseline* (a_0) será realizado pela somatória dos valores correspondentes a 60 seg de resposta divididos pelo número de valores utilizados (n).

2-) O valor de " α " (também chamado de "k"), que determina a taxa de decrescimento da exponencial, ele é o inverso do parâmetro " τ ":

$$\alpha = \frac{1}{\tau} \quad (15)$$

Baseado nos achados de Bell et. al. (Bell, Paterson *et al.*, 2001), inicialmente o valor de α foi de 0,04, e a partir daí, um novo valor do α será obtido pelo algoritmo desenvolvido.

3-) O conjunto de dados obtidos de maneira experimental que foi transformado, a fim de se encontrar valores de “z” que foram considerados nas equações seguintes, onde:

$$Z(\alpha) = f(\alpha) - a_0 \quad (16)$$

Os valores de $Z(\alpha)$ serão calculados pelo valor da variável num determinado momento menos o valor de a_0 calculado previamente.

4-) Um conjunto de equações que envolvem a somatória de alguns termos (tempo,variável) obtidos no desenvolvimento da equação exponencial inicial pelo método Gauss-Newton:

$$f(\alpha) = \sum_{j=1}^n (1 - \exp^{-\alpha t_j})^2 \quad (17)$$

$$g(\alpha) = \sum_{j=1}^n z_j (1 - \exp^{-\alpha t_j}) \quad (18)$$

$$h(\alpha) = \sum_{j=1}^n (1 - \exp^{-\alpha t_j}) t_j \exp^{-\alpha t_j} \quad (19)$$

$$p(\alpha) = \sum_{j=1}^n z_j t_j \exp^{-\alpha t_j} \quad (20)$$

$$h'(\alpha) = \sum_{j=1}^n (-1 + 2\exp^{-\alpha t_j}) t_j^2 \exp^{-\alpha t_j} \quad (21)$$

$$p'(\alpha) = \sum_{j=1}^n z_j t_j^2 \exp^{-\alpha t_j} \quad (22)$$

A partir dos valores de $Z(\alpha)$, de α , da posição do termo (j), de x (tempo) e do número de Euler, novas funções foram obtidas ($f(\alpha)$, $g(\alpha)$, $h(\alpha)$, $p(\alpha)$, $h'(\alpha)$ e $p'(\alpha)$).

5-) Valores de $d(\alpha)$ (**Figura 7**), $f'(\alpha)$, $g'(\alpha)$ e $d'(\alpha)$, onde:

$$d(\alpha) = g(\alpha) h(\alpha) - p(\alpha) f(\alpha) \quad (23)$$

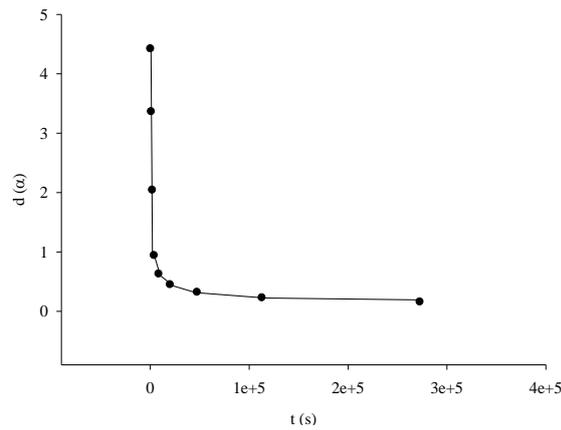


Figura 7: Comportamento da função $d(\alpha)$. Cada ponto do gráfico representa um ciclo de cálculo que rapidamente atinge valores próximos a zero, o que significa que um α ideal foi encontrado.

Os valores de $d(\alpha)$ foram calculados pela subtração do produto de $g(\alpha)$ e $h(\alpha)$ pelo produto de $p(\alpha)$ e $f(\alpha)$.

$$f'(\alpha) = 2 h(\alpha) \quad (24)$$

Os valores de $f'(\alpha)$ foram equivalentes ao dobro dos valores da função $h(\alpha)$.

$$g'(\alpha) = p(\alpha) \quad (25)$$

Os valores de $g'(\alpha)$ foram equivalentes aos valores de $p(\alpha)$.

$$d'(\alpha) = g'(\alpha) h(\alpha) + g(\alpha) h'(\alpha) - p'(\alpha) f(\alpha) - p(\alpha) f'(\alpha) \quad (26)$$

Os valores de $d'(\alpha)$ foram calculados pela soma do produto de $g'(\alpha)$ e $h(\alpha)$ com o produto de $g(\alpha)$ e $h'(\alpha)$ subtraídos pelo produto de $p'(\alpha)$ e $f(\alpha)$ e do produto de $p(\alpha)$ e $f'(\alpha)$.

6-) A amplitude do ajuste obtida por:

$$a = \frac{g(\alpha)}{f(\alpha)} \quad (27)$$

A amplitude do estado estável foi obtida pela divisão da função $g(\alpha)$ por $f(\alpha)$.

7-) O novo valor de α , que foi utilizado de forma cíclica até a descoberta de um α ideal obtido por:

$$\alpha := 0,04 \text{ (inicialmente) ou } \alpha - \frac{d(\alpha)}{d'(\alpha)} \quad (28)$$

O valor de α inicialmente assume um valor de 0,04, e os valores subsequentes foram calculados pela subtração do α anterior pela divisão de $d(\alpha)$ por $d'(\alpha)$.

A interrupção deste algoritmo cíclico ocorre quanto a diferença entre o valor do α anterior e o valor do próximo α (i.e., α_i) ocorrer na escala de 10^{-4} . A **Figura 8** a seguir foi retirada do software após uma análise, ela contém todos os resultados das análises referentes a este algoritmo cíclico:

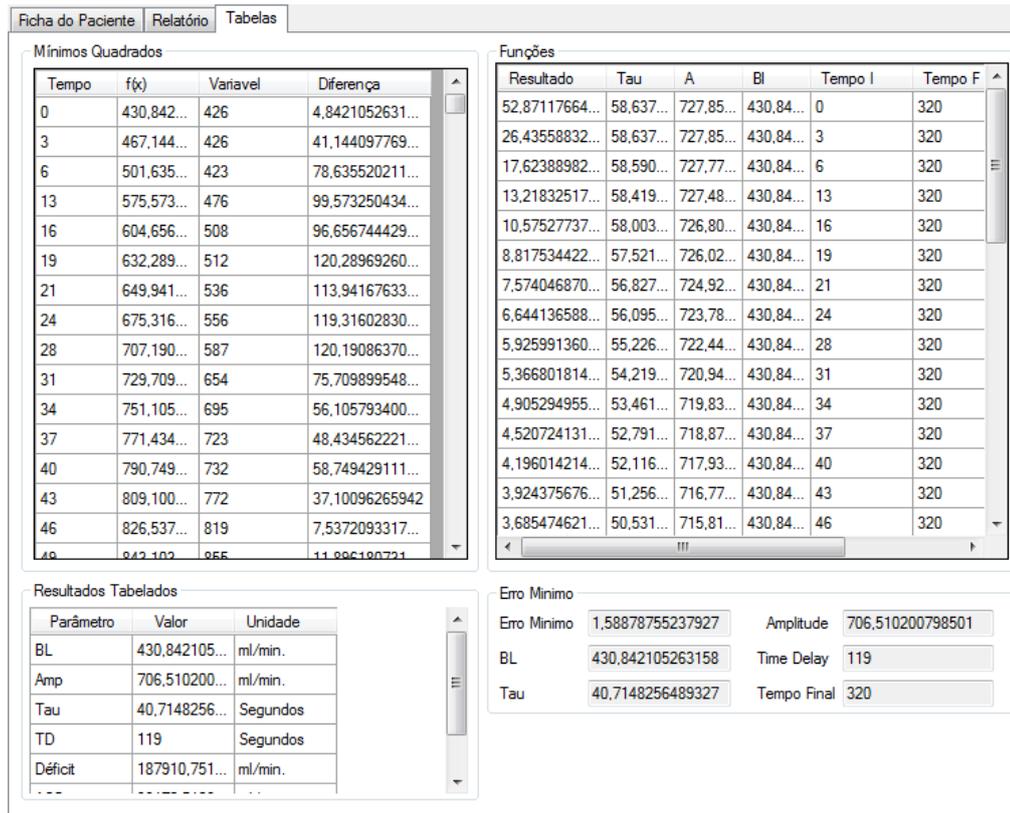


Figura 8: Resultados de todas as análises realizadas pelo software.

Este método tem a função de obter os melhores parâmetros que minimizam o valor da soma dos erros quadrados médios (i.e., resíduos). A função utilizada pra o cálculo dos resíduos foi:

$$\text{Soma dos erros} = [(1/n) \sum_{j=1}^n (a_j - x_j)^2]^{1/2} \quad (29)$$

4.3.2. Análise do déficit de O₂

Na transição repouso/exercício ou aquecimento/exercício, a elevação exponencial decrescente das variáveis cardiorrespiratórias até seu estado estável não ocorre imediatamente após o incremento de carga, logo, admita-se o surgimento de uma área de *déficit* (AD) (Andrew P. Jones, 2005) (**Figura 9**), que foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$AD = \tau.a \quad (30)$$

O valor da área do *déficit* foi calculado a partir da multiplicação do τ com a amplitude

(a).

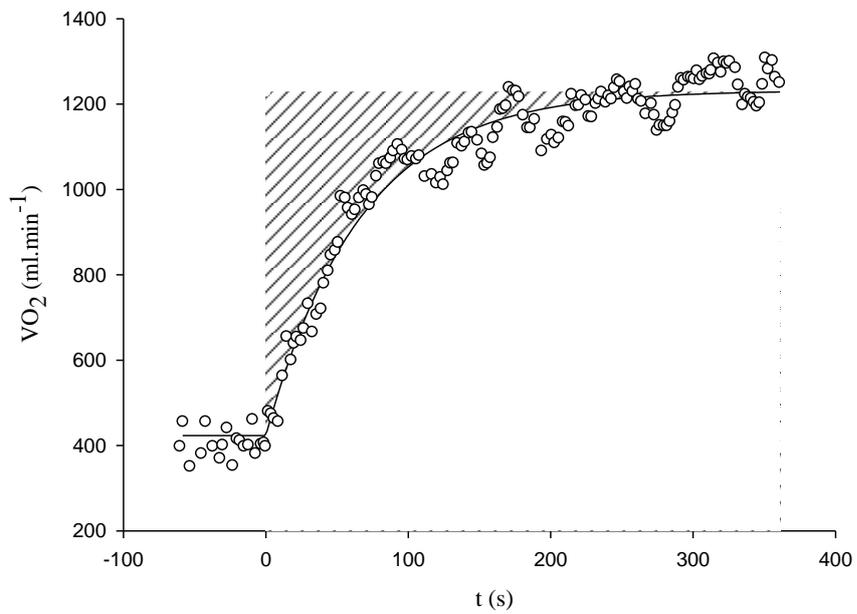


Figura 9: Ilustração da área do déficit de oxigênio calculado a partir da curva gerada pela análise da cinética.

4.4. Banco de dados

O banco de dados deste projeto foi implementado em linguagem MySQL. Ele armazena os dados cadastrais, protocolos de exercício, grupos, dados antropométricos do dia da análise, exames complementares e resultados das análises.

5. AQUISIÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Para a obtenção dos dados experimentais de VO_2 , o cálculo amostral foi realizado (*GraphPad StatMate 2 for Windows*, versão 2.0, 2004) com base nos estudos prévios do laboratório de fisioterapia cardiovascular que analisaram a cinética do VO_2 . Com um desvio-padrão permitido de 4,67, *power* de 80% e $\alpha = 0,05$ (bi-caudal), o teste revelou a necessidade de no mínimo 9 voluntários para detecção das diferenças estatísticas $\geq 4,79$ das médias das comparações entre o parâmetro “ τ ” nas cargas analisadas. O tamanho da amostra idealizado está dentro da faixa de indivíduos analisados por outros grupos de pesquisa (Bell, Paterson *et al.*, 2001; Ozyener, Rossiter *et al.*, 2001).

5.1. Voluntários

Foram selecionados 10 indivíduos aparentemente saudáveis, com idades entre 40-60 anos (**Tabela 1**) que se enquadrem nos critérios de inclusão e exclusão apresentados a seguir. Os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido de participação neste projeto de pesquisa (ANEXO IV).

Tabela 1: Idade, características antropométricas, parâmetros funcionais durante o repouso e pico de esforço durante o teste cardiopulmonar (TECP), em protocolo de rampa realizado em esteira ergométrica.

	Voluntários (n=10)
Idade (anos)	51 ± 9
Características antropométricas	
Massa corporal (kg)	76,26 ± 12
Altura (cm)	1,77 ± 0,08
IMC (kg/m ²)	24,3 ± 3,3
Repouso	
FC (bpm)	60 ± 9
FR (rpm)	13 ± 1
TECP (pico)	
VO ₂ (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	20 ± 3,6
VO ₂ (mL.min ⁻¹)	1536 ± 166
VCO ₂ (mL.min ⁻¹)	1419 ± 168
FC (bpm)	129 ± 21
Pulso de oxigênio (mL/bpm)	12 ± 1

Dados expressos em média (± DP). IMC: índice de massa corporal; FC: frequência cardíaca; FR: frequência respiratória; VO₂: consumo de oxigênio; VCO₂: volume de dióxido de carbono liberado.

5.1.1. Aspectos éticos do estudo

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFSCar (Parecer nº 399/2010, processo 23112.002350/2010, CAAE-0074.0.135.000-10) (ANEXO V). Os voluntários foram esclarecidos e orientados a respeito do protocolo experimental a ser utilizado, bem como o caráter não invasivo do mesmo. Após concordarem em participar do projeto, os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO IV).

5.1.2. Critérios de Inclusão para os testes de exercício físico

Os voluntários que realizaram teste de esforço físico seguiram as seguintes condições: ser alfabetizado, não ser etilista ou usuário de drogas e não apresentar disfunções ostemioarticulares, não apresentar história de infarto do miocárdio (IM) prévio e/ou outra doença cardiovascular, doença respiratória, doença metabólica ou doenças neurológicas que

incapacite o voluntário a realizar os testes do estudo. Todos concordaram em participar da pesquisa.

5.1.3. Critérios de Exclusão para os testes de exercício físico

Foram excluídos os participantes que apresentassem ao menos uma das seguintes condições: $IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$; $PAS \geq 140 \text{ mmHg}$ e/ou $PAD \geq 90 \text{ mmHg}$ (em repouso); alteração eletrocardiográfica ou angina induzida pelo exercício; queda da $PAS \geq 15 \text{ mmHg}$ induzida pelo exercício; não se adaptasse ao uso de interface (máscara ou peça bucal), ou não atendesse as solicitações do pesquisador, referentes ao estudo em questão.

5.2. Procedimentos experimentais

Os protocolos experimentais foram sempre realizados no período matutino, levando-se em consideração as influências circadianas. Previamente à realização dos protocolos experimentais, os voluntários foram preparados para o experimento com higienização e abrasão da pele com algodão embebido em álcool 70% e tricotomia quando necessário, com o intuito de promover adequada fixação dos eletrodos do eletrocardiograma (ECG).

Os voluntários foram orientados que durante a realização dos testes em esteira ergométrica (*Master ATL, Inbramed*), que apoiassem as mãos no suporte da esteira rolante, mas que não realizassem contrações isométricas dos músculos dos membros superiores e que não falassem com os pesquisadores, porém informassem, por meio de comandos previamente combinados, sobre qualquer alteração no seu estado geral que pudesse impossibilitar a continuidade do teste.

5.2.1. Monitorização cardiopulmonar e metabólica

As variáveis e os parâmetros metabólicos e ventilatórios foram coletados pelo sistema ergoespirométrico (*CPX/D, MedGraphics, St. Paul, MN, EUA*). Este ergoespirômetro dispõe do software Breeze Suíte 6.2 C que armazena os valores do consumo de oxigênio (VO_2) em $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, a produção de dióxido de carbono (VCO_2) em $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e a ventilação (VE) em $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ respiração a respiração. Ainda durante os testes, foram visualizados os valores da velocidade e inclinação da esteira, controlados pelo sistema.

5.2.2. Protocolo do teste de exercício físico tipo rampa

No dia anterior ao teste de exercício cardiorrespiratório (TECP), todos os voluntários realizaram um teste para identificação da velocidade máxima de caminhada em esteira ergométrica. O TECP foi realizado em esteira ergométrica (Master ATL, Inbramed, Porto Alegre, Brasil) e utilizou um protocolo em rampa constituído de 1 min em repouso com o voluntário devidamente posicionado sobre a esteira ergométrica, seguido de um período de aquecimento com velocidade de 2,4 km/h e 0% de inclinação por 4 minutos e posterior incremento de velocidade até o ponto em que o voluntário atingisse a velocidade máxima da marcha. Os acréscimos de carga posteriores ocorreram pela inclinação, com incremento de 5% a cada 3 minutos de exercício.

O TECP foi interrompido com o surgimento de dois ou mais critérios que indicassem exaustão física, como: impossibilidade de manter a velocidade e/ou inclinação da esteira ergométrica, surgimento de um platô de VO_2 com o incremento de carga (VO_2 máximo), elevação da FC acima do predito para a idade do voluntário e elevação da relação de troca respiratória (RER) acima de 1,1 (Takahashi, Melo *et al.*, 2009).

Adicionalmente, a interrupção do teste ocorreu quando o voluntário apresentasse sinais e/ou sintomas como: dor torácica; dispnéia; palidez; arritmias importantes como taquicardia ou bradicardia, extrassístole ventricular em salvas ou polifocal; queda da pressão arterial

sistêmica com o esforço. A interrupção do teste foi seguida por 1 minuto de repouso passivo (2,4 Km/h, sem inclinação). O sistema utilizado para captação dos gases (CPX-D/BreezeSuite 6.4.1, Medical Graphics, St Paul, USA) foi previamente calibrado antes do início de cada teste.

O LAV foi determinado pela análise visual gráfica realizada por três pesquisadores do laboratório de fisioterapia cardiovascular (Higa, Silva *et al.*, 2007).

5.2.3. Protocolo de carga constante

A intensidade do teste de carga constante foi baseada no valor do VO_2 no LAV identificado no teste em rampa. Assim, o degrau 1 foi correspondente a 75% do VO_2 no LAV, caracterizando desta forma um exercício moderado. O teste foi realizado por um período de 1 minuto de repouso com o voluntário posicionado sobre a esteira e a seguir um período de aquecimento com duração de 4 minutos com velocidade a 2,4 Km/h e 0% de inclinação. A seguir, houve o acréscimo da velocidade e do grau de inclinação pré-estabelecida correspondente a 75% do VO_2 no LAV e a duração do exercício foi de 6 minutos. A seguir, foi realizado um período de 3 minutos de desaquecimento, sendo que 1 minuto na velocidade de 2,4 Km/h e 0% de inclinação e 2 minutos em repouso parado sobre a esteira (Whipp, 1994).

A FC foi registrada batimento a batimento, desde o minuto anterior ao início do esforço físico, durante todo o teste até o 3º minuto de recuperação passiva. As variáveis ventilatórias e metabólicas foram mensuradas durante todo o experimento, respiração a respiração.

6. ANÁLISE DA CINÉTICA DO VO₂

Os dados coletados do VO₂ durante o protocolo de carga constante foram submetidos à análise tradicional da cinética pelo software *SigmaPlot 11.0*, que utiliza diversas rotinas necessárias para este procedimento. Os mesmos dados foram analisados pelo novo software.

Para o ajuste matemático realizado na análise tradicional, a “a₀” é definida como uma média dos valores correspondentes ao último minuto do período de aquecimento. A resposta após “a₀” foi ajustada a partir de uma equação monoexponencial em função do tempo (equação 31), considerando 3 minutos de duração da resposta. Como descrito a seguir:

$$f(t) = a_0 + a (1 - e^{-MRT/\tau}) \quad (31)$$

O modelo matemático de ajuste proposto tem a característica monoexponencial (**Figura 10**) de curva positiva decrescente, pois ao decorrer do tempo há uma diminuição da taxa de crescimento ($k=1/MRT$) de uma resposta, e num dado momento, essa taxa de crescimento será mais lenta quanto mais próxima estiver dos seus maiores valores finais.

Esta curva de tendência monoexponencial inclui duas amplitudes do VO₂ (“a₀” e “a”), o número de Euler (exp) e uma constante de tempo “τ”. Para determinar os parâmetros do melhor ajuste de curva, o SigmaPlot utiliza um algoritmo não linear dos mínimos quadrados, que adota a minimização da soma dos erros quadrados como critério de convergência. “a” e a “a₀” descrevem os parâmetros relacionados ao componente primário da função Y, e “MRT” descreve os parâmetros relacionados ao tempo. Como mostra a **Figura 10** a seguir:

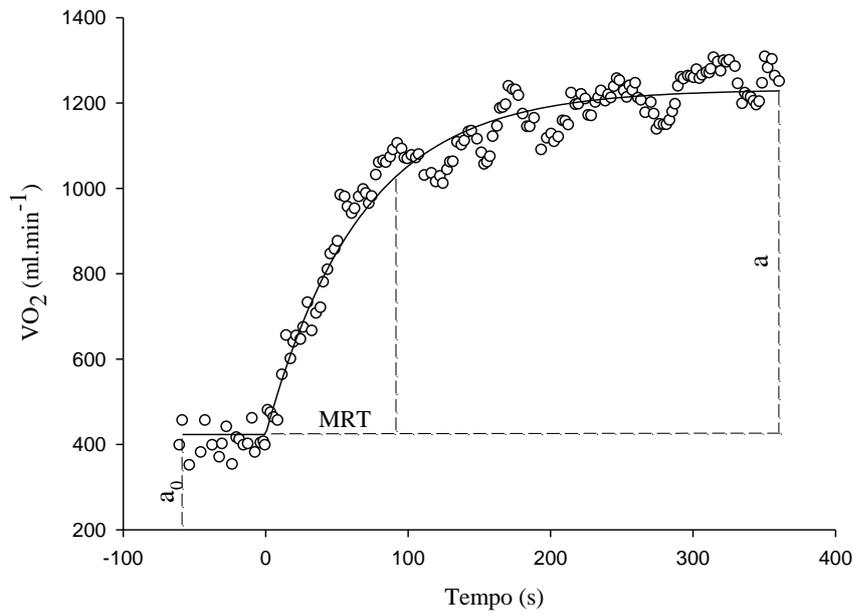


Figura 10: Ilustração do padrão de comportamento do consumo de oxigênio um exercício moderado, onde, “ a_0 ” baseline; “MRT” *Mean Response Time* e “ a ” amplitude.

7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos por todas as análises foram tabelados (**Tabelas 1, 2 e 3**) e o cálculo de médias, medianas, desvios padrões (DP) e os testes comparativos foram realizadas com emprego do software SigmaPlot 11.0. Tendo em vista a distribuição dos dados (verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*), optou-se pela aplicação do teste t pareado entre os *outputs* computacionais. Adicionalmente, o grau de concordância entre os dois softwares utilizados para análise da cinética do VO₂, foi avaliada por meio da análise de concordância de Bland-Altman (Bland e Altman, 1986) como pode ser observado nas **Figuras 34, 35 e 36**.

8. RESULTADOS

Conforme a aplicação da metodologia descrita anteriormente, os resultados deste trabalho foram divididos em:

8.1. Visualização

O software contém uma página inicial de informações quanto sua a utilização, ilustrada na **Figura 11**. O usuário pode concordar com as condições e dar prosseguimento a utilização do software, caso contrário, o software será fechado.

O formulário é dividido em duas seções principais. A primeira seção, intitulada "Você Pode:", possui um fundo verde e contém um ícone de duas folhas de papel dentro de um círculo, seguido pelo texto "Copiar, distribuir, exibir e executar a obra". A segunda seção, intitulada "Sob as seguintes condições:", possui um fundo vermelho e contém três itens listados, cada um com um ícone circular: 1. Um ícone de uma pessoa, seguido por "Atribuição: Você deve dar crédito ao autor original, da forma especificada pelo autor ou licenciante." 2. Um ícone de um dólar com uma barra diagonal, seguido por "Uso Não-Comercial: Você não pode utilizar esta obra com finalidades comerciais." 3. Um ícone de dois sinais de igualdade, seguido por "Vedada a Criação de Obras Derivadas: Você não pode alterar, transformar ou criar outra obra com base nesta." Na base do formulário, há dois botões: "Prosseguir" com um ícone de uma seta verde para cima, e "Fechar" com um ícone de uma caixa de descarte vermelha.

Figura 11: Formulário inicial do software com o detalhamento das condições de utilização.

A tela principal do software (**Figura 12**) apresenta os menus do sistema. Seus botões são distribuídos em toda a tela. Na porção esquerda deste formulário, estão os botões de acesso as funcionalidades principais ("Menu:"), que quando acessados, mostram na porção central da tela os botões de acesso secundário ("Sub menu:").



Figura 12: Formulário principal do software com os botões de acesso aos recursos do software.

A seguir serão mostradas as telas acessadas pelas combinações entre os botões do “Menu:” (1 a 8) e “Sub menu:” (1 a 5):

1.1.- A **Figura 13** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “cadastrar” → “Paciente”.

Este formulário é referente ao cadastro de novos usuários:

Figura 13: Formulário de cadastro de paciente. Os campos Nome Completo e nascimento são campos com preenchimento obrigatórios.

Neste formulário (**Figura 14**), o usuário pode ser inserido em um “grupo” de pacientes. Caso este grupo não esteja cadastrado, há possibilidade de “cadastrar grupo” (este formulário também pode ser acessado pela combinação **1.4** [“cadastrar” → “Grupo”]):

Figura 14: Formulário para cadastro de novos grupos de usuários.

1.2-) A **Figura 15** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “cadastrar” → “Visita”.

Este formulário é referente ao cadastro de novas visitas referentes a um único paciente:

Figura 15: Formulário de cadastro de novas visitas. Os campos Altura, Peso e Protocolo são campos com preenchimento obrigatórios.

O usuário deve selecionar um protocolo de exercício (**Figura 16**) antes de iniciar à análise da cinética, caso o protocolo de exercício ainda não tenha sido cadastrado, o usuário pode cadastrar um novo protocolo clicando em “novo”.

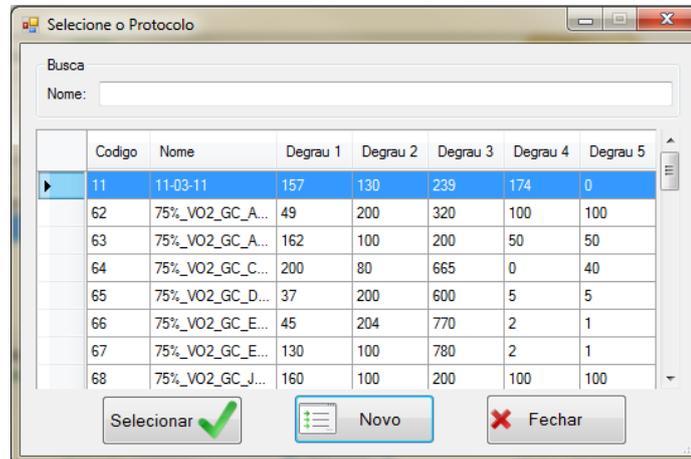


Figura 16: Formulário de seleção do protocolo de exercício praticado. É obrigatório escolher um protocolo de exercício, e ele deve ser correspondente ao exercício praticado, caso contrário, a análise não será reprodutível. Caso o protocolo ainda não esteja cadastrado, o usuário pode cadastrar um novo clicando no botão “Novo”.

Caso o usuário clique no botão “Novo”, um novo formulário será aberto (**Figura 17**). Este formulário se refere ao cadastro de um novo protocolo de exercício físico (que também pode ser acessado pela combinação **1.3** [“cadastrar” → “Protocolo”]) composto por um período de repouso inicial, aquecimento, carga constante, desaquecimento e repouso final.

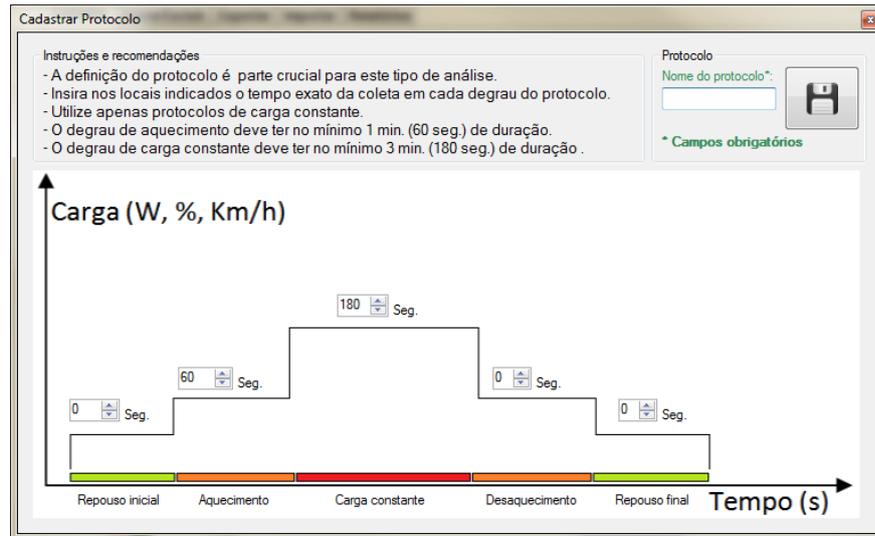


Figura 17: Formulário de cadastro de um protocolo de exercício físico. Este protocolo deve ser correspondente ao exercício praticado, caso contrário, a análise não será reproduzível. Todos os campos deste formulário são obrigatórios e caso algum passo do protocolo não tenha sido realizado, o valor do campo deve ser “zero”.

Após o cadastro e a seleção do protocolo, todos os campos do formulário de cadastro de novas visitas estarão preenchidos. Após “Cadastrar”, o formulário referente à análise propriamente dita (**Figura 18**) se abrirá.



Figura 18: Ambiente de análise da cinética. Este formulário deve ser preenchido seguindo os 3 passos mostrados na porção superior da tela. O Passo 1 se refere a importação dos dados em extensão *.csv, o passo 2 se refere as opções de análise dos dados e o passo 3 se refere ao processamento dos dados.

2.1.-) A **Figura 19** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “Alterar/Excluir” → “Paciente”. Este formulário é referente à edição do cadastro dos usuários:

Figura 19: Formulário para edição dos dados referentes ao cadastro de usuários.

2.2-) A **Figura 20** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “Alterar/Excluir” → “Grupo”. Este formulário é referente à edição do cadastro dos grupos:

Figura 20: Formulário para edição dos grupos de usuários cadastrados.

2.3-) A **Figura 21** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “Alterar/Excluir” → “Protocolo”. Este formulário é referente à edição do cadastro dos grupos:

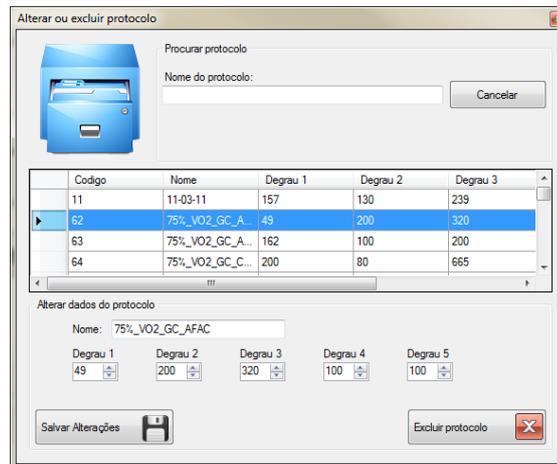


Figura 21: Formulário para edição dos protocolos de exercício cadastrados.

3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5-) A **Figura 22** a seguir mostra a tela acessada pelas combinações “Exportar” → “Paciente”, “Visitas”, “Protocolos”, “Grupos” e “Exportar Todos” respectivamente. Após a escolha dos dados que o usuário deseja exportar, é necessária a escolha do local em que os arquivos serão depositados:

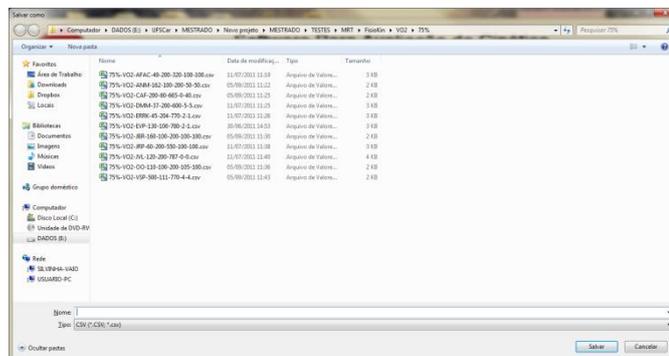


Figura 22: Janela para escolha do local de depósito dos arquivos de exportação.

4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5-) A **Figura 23** a seguir mostra a tela acessada pelas combinações “Importar” → “Paciente”, “Visitas”, “Protocolos”, “Grupos” e “Exportar Todos” respectivamente. Os dados que o usuário deseja importar devem ser selecionados:

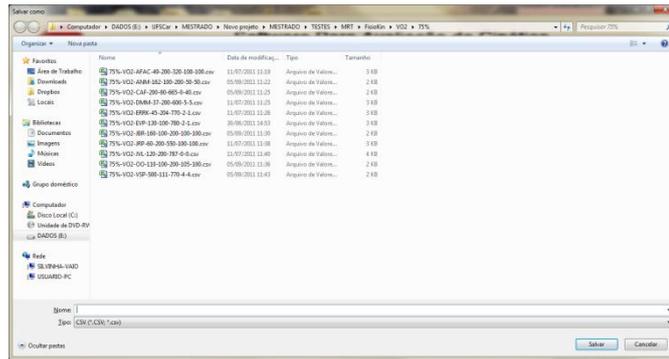


Figura 23: Janela para escolha do local de importação dos arquivos.

5.1.-) A **Figura 24** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “Relatórios” → “Paciente por Grupo”. Esta combinação é referente a um relatório geral com as informações relativas aos cadastros dos usuários divididos por grupo:

Grupo	Estofone	Codigos	Nome	Nascimento	Sexo	Data RG	Telefone	Email
5			Thomas Beltrame	29/01/1987	M	43408080	(16) 8803-7001	thomasbeltrame@hotmail.co

Média de idade:

Figura 24: Relatório geral com as informações relativas aos cadastros dos usuários divididos por grupo.

5.2.-) A **Figura 25** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “Relatórios” → “Acompanhamento”. Esta combinação é referente a um relatório com os valores dos parâmetros obtidos em diversas visitas, o que poderá ser utilizado como acompanhamento da evolução dos valores obtidos nas análises. O “range” das datas deve ser definido pelo usuário na porção superior do formulário:

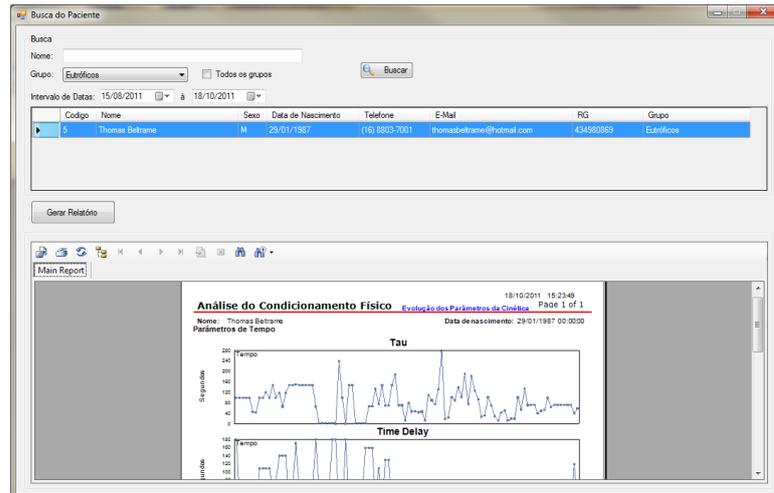


Figura 25: Relatório dos parâmetros obtidos em diferentes análises separadas por datas (tela de teste).

5.3-) A **Figura 26** a seguir mostra a tela acessada pela combinação “Relatórios” → “Visitas”. Esta combinação é referente a um relatório específico de uma determinada visita. O “range” das datas deve ser definido pelo usuário na porção superior do formulário:

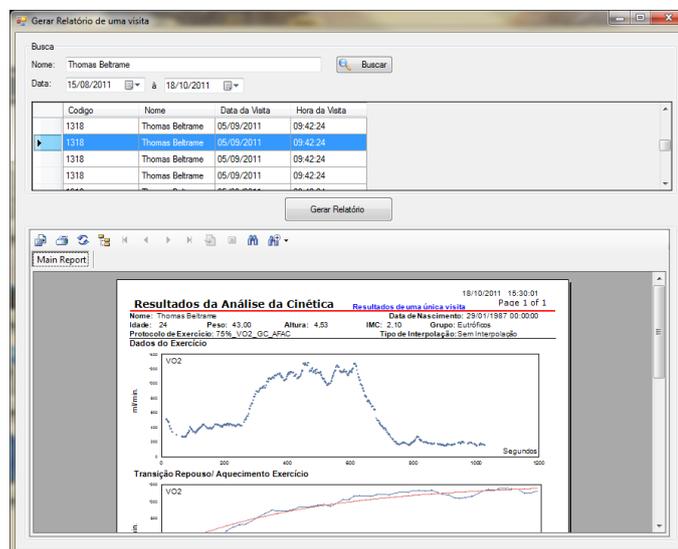


Figura 26: Relatório dos parâmetros obtidos em uma única visita.

6-) As figuras a seguir mostram as telas acessadas em “Configurações”. Neste formulário, a primeira aba (**Figura 27**) possibilita que o usuário defina o tempo (i.e., o tamanho da amostra)

que será considerado em suas análises e a faixa do parâmetro “ τ ” que será considerada como “faixa fisiológica”. A segunda aba (**Figura 28**) permite a manutenção da conexão com o Banco de Dados.



Figura 27: Aba do formulário de configurações que permite modificar o tamanho da amostra que será considerada na análise e o valor de seu τ aproximado.

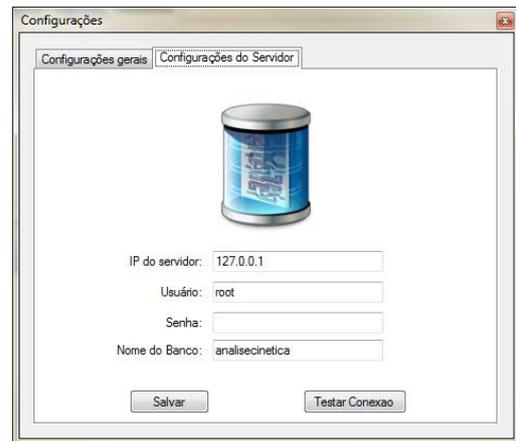


Figura 28: Aba do formulário de configurações que permite estabelecer e/ou modificar a comunicação com o banco de dados.

7-) A **Figura 29** a seguir mostra a tela acessada em “Contato”. Este formulário pode ser utilizado para entrar em contato com os desenvolvedores do software.

Figura 29: Formulário para entrar em contato com os autores deste software.

8-) A **Figura 30** a seguir mostra a tela acessada em “Sobre”. Este formulário estático mostra as informações quanto aos direitos autorais do software.

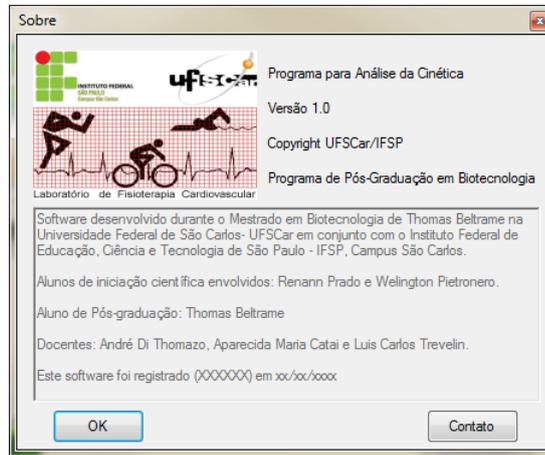
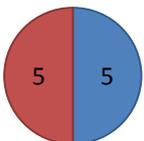
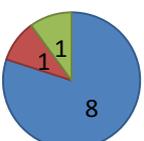
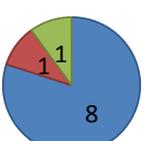
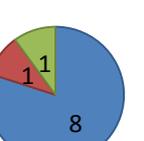
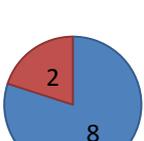


Figura 30: Direitos autorais do software.

8.2. Teste de interface

A seguir são apresentadas as respostas obtidas na aplicação do questionário específico (ANEXO III) para o teste de interface.

Perguntas:	Respostas:
1) Foi fácil aprender a utilizar este software	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente
2) Consegui utilizar este software da forma que eu queria	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente
3) Eu entendia o que acontecia na minha interação com o software	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente

4) Foi fácil ganhar habilidade no uso deste software		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente
5) Foi fácil lembrar como realizar uma análise com o uso deste software		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente
6) Considero este software fácil de usar		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente ■ Concordam Parcialmente
7) Este software me permitiu executar a análise da cinética do consumo de oxigênio		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Parcialmente ■ Não Sei
8) Usar este software pode melhorar o meu desempenho durante o processo de avaliação de um paciente		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente
9) Considerando o que aprendi sobre análise da cinética, usar este software facilitou a execução deste tipo de análise		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente ■ Não Concordam
10) Usar este software aumentou meu conhecimento sobre como executar a análise da cinética		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente ■ Concordam Parcialmente
11) Eu considero este software útil para executar minhas análises		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente

<p>12) A separação dos menus principais (cadastrar, alterar/excluir, exportar, etc) e as informações referentes a cada item (submenus) são fáceis de compreender</p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente ■ Concordam Parcialmente
<p>13) As informações disponíveis no preenchimento dos campos dos formulários são fáceis de compreender</p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ Concordam Plenamente ■ Concordam Amplamente ■ Concordam Parcialmente

O gráfico a seguir (**Figura 31**) mostra o tempo necessário para se realizar duas análises consecutivas:

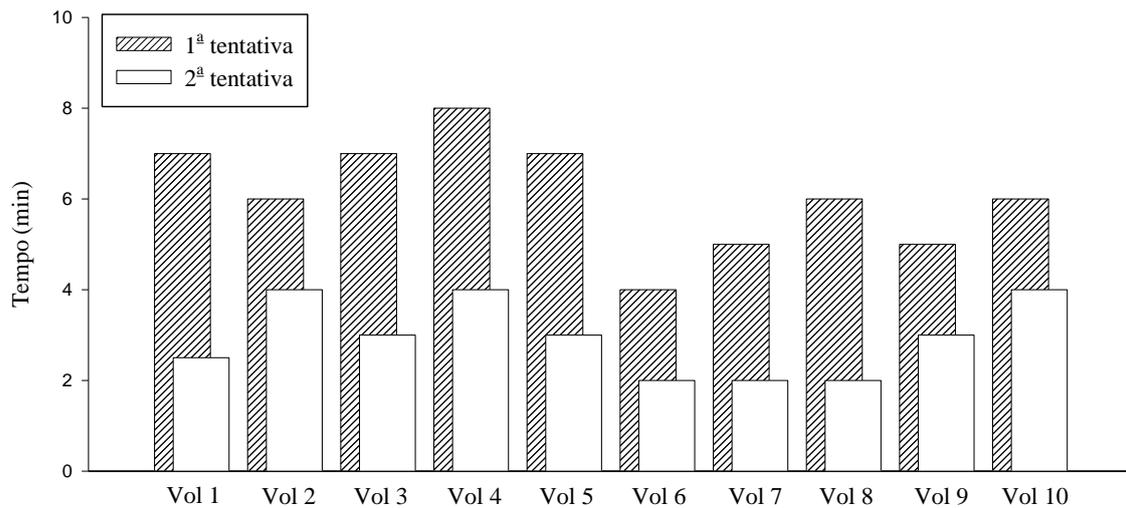


Figura 31: Gráfico dos valores do tempo necessário para cada usuário realizar uma análise durante a primeira e a segunda tentativa

Assim como **Figura 31**, a tabela a seguir (**Tabela 2**) mostra o tempo necessário em (média e desvio padrão) para se realizar duas análises consecutivas:

Tabela 2: Valores do tempo necessário para o usuário realizar uma análise durante a primeira e a segunda tentativa.

	1 ^a Tentativa	2 ^a Tentativa	Redução de Tempo	Valor de p
Minutos	6 ± 1	2 ± 1	3 ± 1	0,002

Dados expressos em média ± desvio padrão. Teste de Wilcoxon entre os tempos de utilização do software na primeira e segunda tentativa.

Houve uma redução significativa de 3 minutos (cerca de 50%) no tempo necessário para se realizar uma análise da cinética do VO₂ entre a primeira e a segunda tentativa, o que demonstra um bom efeito aprendizagem.

8.3. Outputs

As comparações entre os diferentes softwares foram realizadas utilizando-se os mesmos arquivos que foram importados nos dois softwares e a análise foi realizada respeitando o mesmo momento do início do incremento da carga constante.

Na **Tabela 3** podemos observar valores estatisticamente iguais entre os resultados das análises da cinética obtidos entre diferentes softwares, o que mostra uma boa reprodutibilidade do software proposto.

Tabela 3: Valores dos parâmetros encontrados após a análise da cinética do VO₂ por meio do SigmaPlot 11.0 e pelo novo software durante a transição “on” de um exercícios moderado de carga constante com seus respectivos valores dos níveis de significância.

	SigmaPlot 11.0	Novo Software	Valores de p
τ	51,85 ± 15,94	49,31 ± 13,74	0,413
a	470,56 ± 269,98	469,79 ± 272,38	0,700
AD	26257 ± 20575	25663 ± 21099	0,638

Dados expressos em média ± desvio padrão. Teste t pareado entre os dados submetidos à análise tradicional e pelo novo software. “τ” constante de tempo, “a” amplitude e “AD” área de déficit de todos os voluntários estudados na carga 75% do limiar de anaerobiose ventilatório.

As **Figuras 32 e 33** mostram o comportamento das variáveis τ e a na carga estudada.

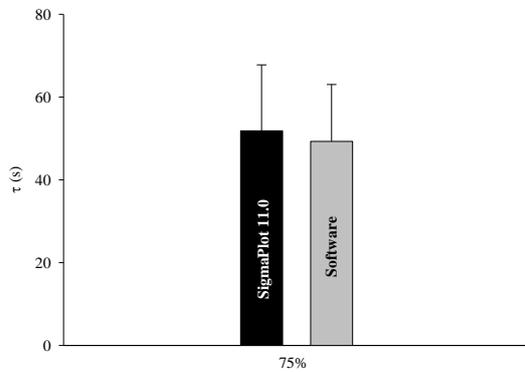


Figura 32: Gráfico dos valores das médias e desvio-padrão do parâmetro τ obtido pelo novo software e pelo SigmaPlot 11.0 na intensidade de exercício analisada.

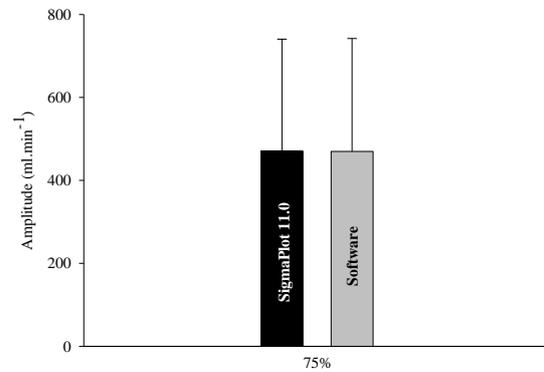


Figura 33: Gráfico dos valores das médias e desvio-padrão do parâmetro a obtido pelo novo software e pelo SigmaPlot 11.0 na intensidade de exercício analisada.

A análise de concordância entre os diferentes softwares empregados na análise da cinética foi realizada pela plotagem de Bland-Altman, considerando o software SigmaPlot como método *“gold standard”*. Foi verificado nas **Figuras 34, 35 e 36** que a média das diferenças, ou seja, a concordância entre os dois softwares foi de -0,11 (s) para o parâmetro τ , -0,6 (ml.min⁻¹) para o parâmetro a e -117,6 (ml.min⁻¹) para o parâmetro AD , respectivamente. Portanto, foi possível constatar concordância entre os softwares.

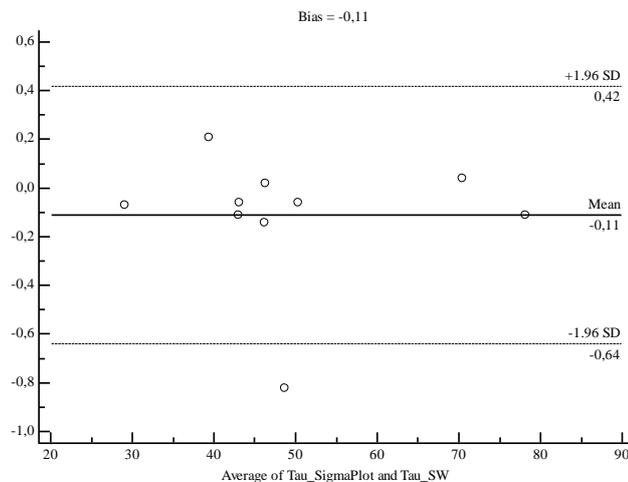


Figura 34: Grau de concordância ente o software SigmaPlot e o software proposto, de acordo com o método Bland-Altman, para a constante de tempo τ . Bias = média da diferença entre as médias; $\pm 1,96$ = limite de concordância de 95%.

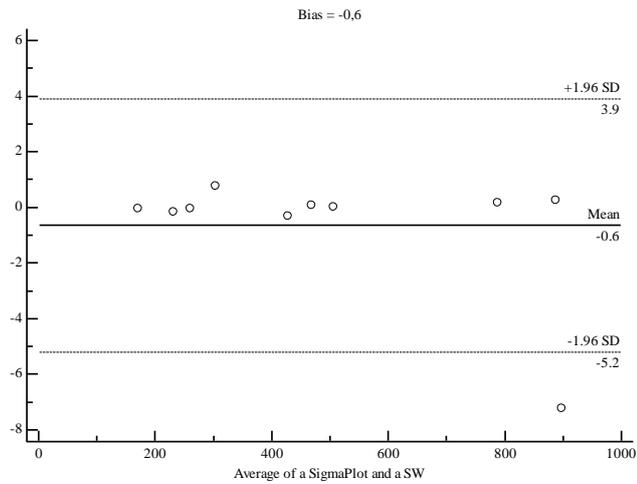


Figura 35: Grau de concordância ente o software SigmaPlot e o software proposto, de acordo com o método Bland-Altman, para o parâmetro a. Bias = média da diferença entre as médias; $\pm 1,96$ = limite de concordância de 95%; a = amplitude do estado estável.

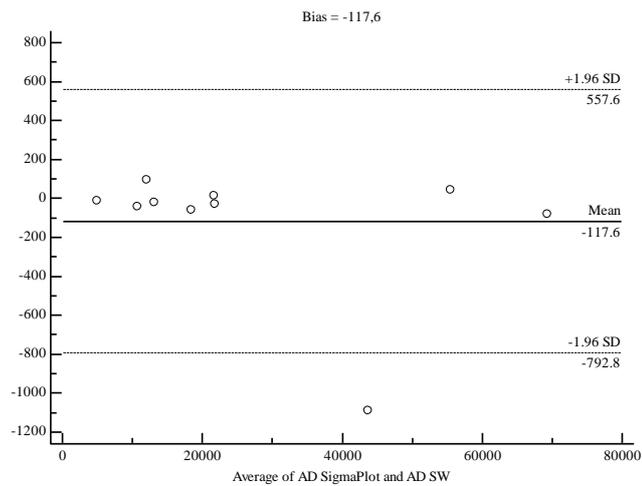


Figura 36: Grau de concordância ente o software SigmaPlot e o software proposto, de acordo com o método Bland-Altman, para o parâmetro AD. Bias = média da diferença entre as médias; $\pm 1,96$ = limite de concordância de 95%; AD = área de déficit de O_2 .

9. DISCUSSÃO

Os resultados principais deste estudo revelam que o software proposto realiza as análises da cinética do VO_2 de maneira semelhante ao método tradicional (sem diferença estatística [Tabela 3] e com concordância [Figuras 34, 35 e 36] em comparação ao SigmaPlot®). Adicionalmente, nossos resultados sugerem que a interface é amigável aos futuros usuários, pois 64% dos usuários concordam plenamente e 24% deles concordam amplamente (88% ao todo), o que garante uma melhor acessibilidade a esta forma de análise, e apenas 2% não concordaram com as afirmações de boa usabilidade.

9.1. Metodologia de análise aplicada

Diante das divergências existentes na literatura sobre os métodos aplicados para caracterizar o comportamento do VO_2 na transição repouso-exercício (Andrew P. Jones, 2005), algumas considerações metodológicas foram levadas em conta no desenvolvimento dos algoritmos implementados nesta ferramenta computacional:

- Cálculo do *Time delay*

Esta ferramenta computacional não calcula o *time delay* da função que caracteriza a resposta, porém, este cálculo poderá ser implementado posteriormente em uma versão comercial (veja mais em “Considerações finais e trabalhos futuros”). Sua inclusão nos cálculos pode fornecer outros dados referentes ao condicionamento físico (Andrew P. Jones, 2005), porém, inicialmente a opção por excluir este parâmetro do cálculo se baseou na descrição de Brian J. Whipp, Harry B. Rossiter (Whipp e Rossiter, 2005) e Lamarra N. (Lamarra, Whipp *et al.*, 1987), que verificaram que o número de parâmetros no modelo da função de caracterização afetam a confiabilidade do ajuste (Rossiter, Ward *et al.*, 1999). Onde, quanto maior o número de parâmetros, maior é a interdependência entre eles (que

acabam por reduzir a confiabilidade do ajuste) e mais dependente da estimativa inicial do usuário o ajuste se torna.

Devido a estas características e ao fato deste software ser focado para usuários não experientes (que teoricamente não possuem conhecimentos quanto a observação do melhor ajuste e estimativa inicial dos parâmetros), esta opção de cálculo foi excluída a priori.

- Exclusão da fase I

Esta ferramenta computacional possibilita a exclusão da fase I (cardiodinâmica). A influência desta fase nos parâmetros obtidos na análise da cinética foi amplamente discutida (Whipp e Rossiter, 2005), e a influência de sua exclusão foi tratada no estudo “*Exclusion of the phase I may influence oxygen uptake on-kinetics analysis*” desenvolvido pelo nosso grupo. Este estudo revelou que a exclusão desta fase subestima os valores de *time delay* e amplitude da fase subsequente, o que reforça a opção por não caracterizar o *time delay* da função. Segundo nossos achados, caso o usuário não tenha conhecimento suficiente para decidir o tamanho da fase I, é recomendado que ele inclua esta fase em suas análises e não utilize valores predeterminados de duração da fase I.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou um software que caracteriza, por modelos matemáticos, o comportamento do VO_2 na transição do repouso para o exercício moderado. Adicionalmente, através de uma interface amigável, os resultados obtidos mostram que ele pode ser utilizado como uma ferramenta simples para caracterizar o comportamento do VO_2 .

Este software é um protótipo, e assim como todos os sistemas de computação, seu aperfeiçoamento é constante e a principal limitação deste estudo está relacionada à dificuldade em estabelecer metodologia padronizada para a análise da cinética do VO_2 . A proposta futura é que este software tenha mais recursos, de maneira a torna-lo comercialmente viável, inclusive com sistemas de captação com tecnologia nacional que poderiam ser utilizados inclusive em ambiente acadêmico. A curto prazo, este software possibilitará que o usuário obtenha outros parâmetros relacionados ao condicionamento físico, como o *time delay* da função, o $t_{1/2}$ e a análise da cinética *off* não só do VO_2 mas de outras variáveis como a FC e o débito cardíaco por exemplo.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBAHARI J., A. B. **C# 3.0 - Guia de bolso**. 1. São Paulo: Altabooks, 2008.

ANDREW P. JONES, D. C. P. **Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine**. 1. Routledge, 2005. 432 ISBN 0415305616.

BARSTOW, T. J.; CASABURI, R.; WASSERMAN, K. O₂ uptake kinetics and the O₂ deficit as related to exercise intensity and blood lactate. **J Appl Physiol**, v. 75, n. 2, p. 755-62, Aug 1993. ISSN 8750-7587 (Print)

0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8226479> >.

BARSTOW, T. J.; MOLE, P. A. Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **J Appl Physiol**, v. 71, n. 6, p. 2099-106, Dec 1991. ISSN 8750-7587 (Print)

0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1778898> >.

BEARDEN, S. E.; MOFFATT, R. J. Leg electromyography and the VO₂-power relationship during bicycle ergometry. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 7, p. 1241-5, Jul 2001a. ISSN 0195-9131 (Print)

0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11445775> >.

_____. VO₂ and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. **J Appl Physiol**, v. 90, n. 6, p. 2081-7, Jun 2001b. ISSN 8750-7587 (Print)

0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11356769> >.

BELL, C. et al. A comparison of modelling techniques used to characterise oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. **Exp Physiol**, v. 86, n. 5, p. 667-76, Sep 2001. ISSN 0958-0670 (Print)

0958-0670 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11571496> >.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, v. 1, n. 8476, p. 307-10, Feb 8 1986. ISSN 0140-6736 (Print)

0140-6736 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2868172> >.

BOOCH, G. J., IVAR; RUMBAUGH, JAMES. **Uml - Guia do Usuário - Tradução da 2ª Edição**. 2. Campus, 2009.

CASABURI, R. et al. Influence of work rate on ventilatory and gas exchange kinetics. **J Appl Physiol**, v. 67, n. 2, p. 547-55, Aug 1989. ISSN 8750-7587 (Print)

0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2793656> >.

GALLO JÚNIOR L, M. B., MARIN-NETO JA, MARTINS LEB, LIMA-FILHO EC, GOLFETTI R, CHACON MPT, FORTI VAM. Control of heart rate during exercise in health and disease. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 28, p. 6, 1995.

GRASSI, B. et al. Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. **J Appl Physiol**, v. 80, n. 3, p. 988-98, Mar 1996. ISSN 8750-7587 (Print)

0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8964765> >.

GUEDES, G. T. A. **UML 2 - Uma abordagem Prática**. 1. São Paulo: Novatec, 2009. ISBN 978-85-7522-193-8.

HAGBERG, J. M. et al. Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state. **J Appl Physiol**, v. 48, n. 2, p. 218-24, Feb 1980. ISSN 0161-7567 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7364606> >.

HEPPLE, R. T. The role of O₂ supply in muscle fatigue. **Can J Appl Physiol**, v. 27, n. 1, p. 56-69, Feb 2002. ISSN 1066-7814 (Print) 1066-7814 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11880691> >.

HIGA, M. N. et al. Comparison of anaerobic threshold determined by visual and mathematical methods in healthy women. **Braz J Med Biol Res**, v. 40, n. 4, p. 501-8, Apr 2007. ISSN 0100-879X (Print) 0100-879X (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17401493> >.

HUGHSON, R. L. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 34, n. 5, p. 840-50, Oct 2009. ISSN 1715-5312 (Print). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19935845> >.

HUGHSON, R. L. et al. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. **J Appl Physiol**, v. 88, n. 5, p. 1812-9, May 2000. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10797146> >.

JACOBSON, I. **Object Oriented Software Engineering: A Use Case driven Approach**. United States: Addison-Wesley Professional, 1992. ISBN 0201544350.

KELLY, G. E. et al. Estimation of the gas exchange threshold in humans: a time series approach. **Eur J Appl Physiol**, v. 85, n. 6, p. 586-92, Oct 2001. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11718289> >.

KROGH, A.; LINDHARD, J. The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. **J Physiol**, v. 47, n. 1-2, p. 112-36, Oct 17 1913. ISSN 0022-3751 (Print) 0022-3751 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16993229> >.

LAMARRA, N. et al. Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. **J Appl Physiol**, v. 62, n. 5, p. 2003-12, May 1987. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3110126> >.

LINNARSSON, D. Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. **Acta Physiol Scand Suppl**, v. 415, p. 1-68, 1974. ISSN 0302-2994 (Print) 0302-2994 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4621315> >.

LINNARSSON, D.; LINDBORG, B. Breath-by-breath measurement of respiratory gas exchange using on-line analog computation. **Scand J Clin Lab Invest**, v. 34, n. 3, p. 219-24, Nov 1974. ISSN 0036-5513 (Print)
0036-5513 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4428164> >.

MACIEL, B. C. et al. Autonomic nervous control of the heart rate during dynamic exercise in normal man. **Clin Sci (Lond)**, v. 71, n. 4, p. 457-60, Oct 1986. ISSN 0143-5221 (Print)
0143-5221 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3757442> >.

MOLICH, R.; NIELSEN, J. Improving a Human-Computer Dialog. **Communications of the Acm**, v. 33, n. 3, p. 338-348, Mar 1990. ISSN 0001-0782. Disponível em: < <Go to ISI>://A1990CR23300026 >.

MOTULSKY, H. J.; RANSNAS, L. A. Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. **FASEB J**, v. 1, n. 5, p. 365-74, Nov 1987. ISSN 0892-6638 (Print)
0892-6638 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3315805> >.

MURIAS, J. M.; KOWALCHUK, J. M.; PATERSON, D. H. Speeding of VO₂ kinetics with endurance training in old and young men is associated with improved matching of local O₂ delivery to muscle O₂ utilization. **J Appl Physiol**, v. 108, n. 4, p. 913-22, Apr 2010. ISSN 1522-1601 (Electronic)
0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20150562> >.

NEDER JA, N. L. **Fisiologia Clínica do Exercício. Teoria e Prática**. 1. São Paulo: 2003.

NIELSEN, J. Enhancing the explanatory power of usability heuristics. 1994. p.152-158.

NIELSEN, J.; LANDAUER, T. K. A Mathematical-Model of the Finding of Usability Problems. **Human Factors in Computing Systems**, p. 206-213, 1993. Disponível em: < <Go to ISI>://A1993BZ64B00037 >.

OZYENER, F. et al. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **J Physiol**, v. 533, n. Pt 3, p. 891-902, Jun 15 2001. ISSN 0022-3751 (Print)
0022-3751 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11410644> >.

PATERSON, D. H.; WHIPP, B. J. Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. **J Physiol**, v. 443, p. 575-86, Nov 1991. ISSN 0022-3751 (Print)
0022-3751 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1822539> >.

POWERS, S. K.; DODD, S.; BEADLE, R. E. Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in VO₂max. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 54, n. 3, p. 306-8, 1985. ISSN 0301-5548 (Print)
0301-5548 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4065115> >.

ROSSITER, H. B. et al. Inferences from pulmonary O₂ uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. **J Physiol**, v. 518 (Pt 3), p. 921-32, Aug 1 1999. ISSN 0022-3751 (Print)

0022-3751 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10421675> >.

SOLER, A. M. et al. Anaerobic threshold estimation by statistical modelling. **Braz J Med Biol Res**, v. 22, n. 6, p. 795-7, 1989. ISSN 0100-879X (Print)
0100-879X (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2620195> >.

TAKAHASHI, A. C. et al. The effect of eccentric strength training on heart rate and on its variability during isometric exercise in healthy older men. **Eur J Appl Physiol**, v. 105, n. 2, p. 315-23, Jan 2009. ISSN 1439-6327 (Electronic)
1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18987877> >.

WASSERMAN, K. **Principles of exercise testing & interpretation: including pathophysiology and clinical applications**. 3. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999.

WESTERBLAD, H.; ALLEN, D. G.; LANNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? **News Physiol Sci**, v. 17, p. 17-21, Feb 2002. ISSN 0886-1714 (Print)
0886-1714 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11821531> >.

WHIPP, B. J. Dynamics of pulmonary gas exchange. **Circulation**, v. 76, n. 6 Pt 2, p. VI18-28, Dec 1987. ISSN 0009-7322 (Print)
0009-7322 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3119250> >.

_____. The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26, n. 11, p. 1319-26, Nov 1994. ISSN 0195-9131 (Print)
0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7741865> >.

_____. Point: the kinetics of oxygen uptake during muscular exercise do manifest time-delayed phases. **J Appl Physiol**, v. 107, n. 5, p. 1663-5, Nov 2009. ISSN 1522-1601 (Electronic)
0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19228993> >.

WHIPP, B. J.; ROSSITER, H. B. The kinetics of oxygen uptake: Physiological inferences from the parameters. In: (Ed.). **Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine**. 1: Routledge, 2005. cap. 3, ISBN 0415305616.

WHIPP, B. J.; WARD, S. A. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 22, n. 1, p. 62-71, Feb 1990. ISSN 0195-9131 (Print)
0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2406547> >.

WHIPP, B. J. et al. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **J Appl Physiol**, v. 52, n. 6, p. 1506-13, Jun 1982. ISSN 0161-7567 (Print)
0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6809716> >.

WHIPP, B. J.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. **J Appl Physiol**, v. 33, n. 3, p. 351-6, Sep 1972. ISSN 0021-8987 (Print)
0021-8987 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5056210> >.

XIE D., L. J. **Programando em C# 3.0**. 1. São Paulo: Altabooks, 2009.

XU, F.; RHODES, E. C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Med**, v. 27, n. 5, p. 313-27, May 1999. ISSN 0112-1642 (Print)
0112-1642 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10368878> >.

YOSHIDA, T.; YAMAMOTO, K.; UDO, M. Relationship between cardiac output and oxygen uptake at the onset of exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 66, n. 2, p. 155-60, 1993. ISSN 0301-5548 (Print)
0301-5548 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8472698> >.

A EXCLUSÃO DA FASE CARDIODINÂMICA PODE INFLUENCIAR A ANÁLISE DA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO.

Resumo

A fase cardiodinâmica (i.e. fase I) na cinética do consumo de oxigênio (VO_2) é geralmente atribuída a um incremento do débito cardíaco e da elevação do fluxo sanguíneo pulmonar, logo, esta fase não reflete a troca de O_2 que está ocorrendo na musculatura ativa. Teoricamente, esta fase pode ser excluída da análise. Porém, esta exclusão pode modificar a estimativa dos parâmetros das fases subsequentes. O propósito desta investigação foi examinar as diferenças entre os parâmetros estimados através de procedimentos e modelos distintos utilizados para se avaliar o comportamento do VO_2 na transição repouso-exercício. Foram avaliados nove homens saudáveis (35-65 anos) que realizaram teste em esteira ergométrica com carga constante equivalente a 125% do limiar de anaerobiose ventilatório. Os dados referentes ao VO_2 foram submetidos a nove diferentes procedimentos de análise considerando diferentes tempos de análises, com ou sem a fase I. ANOVA one-way de medidas repetidas ou teste de Friedman com post-hoc Student-Newman-Keuls foram utilizados para as comparações entre os diferentes procedimentos de análises. Houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os seguintes parâmetros: o time delay e a amplitude da fase II foram subestimados quando a fase I foi excluída; a constante de tempo da fase II foi superestimada quando a fase I e/ou fase II foram padronizadas em 20 e 180 segundos, respectivamente. Logo, nós concluímos que a exclusão da fase I durante a análise da cinética do VO_2 influencia a estimativa dos demais parâmetros das fases subsequentes.

Descritores: Cinética, consumo de oxigênio, métodos e condicionamento físico.

Apoio financeiro: CNPq (#130549/2011-8) concedido a Thomas Beltrame.

QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DO GRAU DE CONHECIMENTO SOBRE “ANÁLISE DA CINÉTICA” PARA PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DE PESQUISA: “SOFTWARE PARA ANÁLISE DA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO DURANTE EXERCÍCIO MODERADO”

Você está sendo convidado para participar, como voluntário, de uma pesquisa. O resultado final desta pesquisa é a criação de um software amigável que analisará o condicionamento físico. Para tal, precisamos saber qual é seu grau de conhecimento técnico sobre este assunto através de um questionário rápido e simples.

RESPONSÁVEIS PELO PROJETO

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Aparecida Maria Catai e Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin

Orientado: Thomas Beltrame

DICAS:

- Este questionário trata de conhecimentos técnicos específicos e não cabe a ele avaliar seu grau de conhecimento geral, portanto, não se preocupe se não souber a resposta.
- Só preencha os campos caso tenha certeza de sua resposta.

QUESTÕES

Você já ouviu falar algo sobre “análise da cinética do VO₂” ?

SIM

NÃO (Não é necessário preencher o restante)

Se “SIM”, coloque verdadeiro (V) ou falso (F) nas seguintes afirmativas:

1. () A análise da cinética pode ser realizada no início e/ou final do exercício.
2. () Esta análise caracteriza os ajustes do VO₂ no início e/ou final do exercício.
3. () A caracterização da cinética é realizada por ajustes matemáticos de regressão linear.
4. () A análise da cinética é realizada apenas no VO₂.
5. () O número de componentes exponenciais depende da intensidade do exercício.
6. () Esta forma de análise é recente, e começou a ser utilizada a partir dos anos 90.
7. () A fase inicial da cinética tem uma duração média de 120 segundos.
8. () Em exercício leve, o ee é atingido cerca de 360 seg após o início do exercício.
9. () A amplitude estima o VO₂ necessário para suprir a demanda gerada pelo exercício .
10. () A cinética do VO₂ em exercício supra-máximo tem boa reprodutibilidade de ajuste.

OBRIGADO !!!

São Carlos, ___ de _____ de 20__.

Assinatura do Voluntário

CONTATO:

E-MAIL E TELEFONE:

Thomas Beltrame:

- thomasbeltrame@.com

- 16 8803 7001

Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular da Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Fisioterapia: Rodovia Washington Luiz, km 235 – CEP 13.565-905 – CP 676 – São Carlos/SP – Brasil. Telefone (16) 3351 8705

Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos: Rodovia Washington Luiz, km 235

CEP 13.565-905 – CP 676 – São Carlos/SP – Brasil. Telefone (16) 3351 8110, (16) 3351 8109. E-mail:

cephumanos@power.ufscar.br

Nome do entrevistado: _____

Em relação à sua percepção sobre a facilidade de uso deste software, qual o seu grau de concordância em relação às seguintes afirmações:

	Concordo Totalmente	Concordo Amplamente	Concordo Parcialmente	Não Concordo	Não Sei
1) Foi fácil aprender a utilizar este software					
2) Consegui utilizar este software da forma que eu queria					
3) Eu entendia o que acontecia na minha interação com o software					
4) Foi fácil ganhar habilidade no uso deste software					
5) Foi fácil lembrar como realizar uma análise com o uso deste software					
6) Considero este software fácil de usar					
7) Este software me permitiu executar a análise da cinética do consumo de oxigênio					
8) Usar este software pode melhorar o meu desempenho durante o processo de avaliação de um paciente.					
9) Considerando o que aprendi sobre análise da cinética, usar este software facilitou a execução deste tipo de análise					
10) Usar este software aumentou meu conhecimento sobre como executar a análise da cinética					
11) Eu considero este software útil para executar minhas análises					
12) A separação dos menus principais (cadastrar, alterar/excluir, exportar, etc) e as informações referentes a cada item (submenus) são fáceis de compreender.					
13) As informações disponíveis no preenchimento dos campos dos formulários são fáceis de compreender					

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DE PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DE
PESQUISA: "SOFTWARE PARA ANÁLISE DA CINÉTICA DO CONSUMO DE
OXIGÊNIO DURANTE EXERCÍCIO MODERADO"

Você está sendo convidado para participar, como voluntário, de uma pesquisa. Após ser esclarecido sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável.

RESPONSÁVEIS PELO PROJETO

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Aparecida Maria Catai e Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin

Orientado: Thomas Beltrame

LOCAL DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO: Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular – Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico e Serviço de Fisioterapia Cardiovascular da Unidade Saúde Escola, instalados no campus da Universidade Federal de São Carlos.

Eu, _____, _____ anos de idade,
portador do RG nº _____ / _____, residente à Rua:
_____, nº _____, complemento _____, bairro
_____, cidade de _____, UF _____,

voluntariamente concordo em participar no projeto de pesquisa acima mencionado, a serem realizadas no Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular – Núcleo de Pesquisa do Exercício Físico e Serviço de Fisioterapia Cardiovascular da Unidade Saúde Escola, instalados no campus da Universidade Federal de São Carlos.

A pesquisa tem por finalidade avaliar a capacidade em realizar exercícios, avaliar o controle dos batimentos cardíacos em homens saudáveis, com idade entre 35 e 75 anos.

Antes do início do estudo, farei avaliação clínica e cardiológica (entrevista, eletrocardiograma em repouso e teste ergométrico), avaliação funcional (teste de exercício em esteira rolante, e espirometria) e avaliação fisioterápica (entrevista, avaliação muscular e postural), com o objetivo de identificar minha

condição de saúde e observar condições que impeçam minha participação na pesquisa. Estas avaliações serão conduzidas por médicos (clínico geral e cardiologista) e fisioterapeutas.

Caso seja percebida alguma alteração durante as consultas ou exames, os pesquisadores me informarão e farão encaminhamento para a realização de novos exames ou acompanhamento.

A seguir, serei avisado sobre sinais e sintomas como: “dor no peito”, “dificuldade na respiração”, “suor intenso”, “tontura”, “vista embaçada”, “náusea” e “cansaço”, que servirão de alerta e poderão motivar a interrupção dos testes.

Durante a realização dos testes, serei observado por uma equipe de fisioterapeutas treinados, que estará alerta a qualquer alteração que possa sugerir a interrupção dos procedimentos.

As informações obtidas durante as avaliações e exames laboratoriais serão mantidas em sigilo e não poderão ser consultadas por pessoas leigas sem minha expressa autorização por escrito. As informações obtidas no presente estudo, no entanto, poderão ser utilizadas para fins estatísticos ou científicos, sempre resguardando minha privacidade. Durante a realização do estudo serei identificado pelas iniciais do meu nome completo.

Tenho a garantia de receber respostas a qualquer pergunta ou esclarecimento a qualquer dúvida a respeito dos procedimentos, riscos e benefícios e de outras situações relacionadas com a pesquisa.

Além disso, os pesquisadores responsáveis se comprometem a me fornecer informações atualizadas sobre o estudo, mesmo que isso possa afetar a minha vontade em continuar participando da pesquisa.

Durante qualquer período poderei deixar de participar da pesquisa, sem que isso traga nenhum tipo de penalidade ou prejuízo à minha relação com os pesquisadores e com a instituição.

Os pesquisadores me informaram que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, cujo endereço e telefone estão apresentados neste termo.

Receberei uma cópia deste termo, no qual consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar minhas dúvidas sobre o projeto e minha participação, agora ou a qualquer momento.

Declaro que eu li, entendi e concordo inteiramente com as informações que me foram apresentadas.

Dessa maneira, manifesto livremente minha vontade em participar deste projeto de pesquisa.

São Carlos, _____ de _____ de 20__.

Assinatura do Voluntário ou Responsável

Responsáveis pela Pesquisa:

Profª Dra. Aparecida Maria Catai
Coordenadora do Núcleo de Pesquisa
em Exercício Físico – UFSCar e
orientadora

Thomas Beltrame
Fisioterapeuta - CREFITO 37057-LTF
CPF 360.998.818-59

Prof Dr. Luís Carlos Trevelin
Orientador do projeto – Dep. de
computação - UFSCar

CONTATO:

E-MAIL E TELEFONE:

Thomas Beltrame: - thomasbeltrame@com - 16 8803 7001

Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular da Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Fisioterapia: Rodovia Washington Luiz, km 235 – CEP 13.565-905 – CP 676 – São Carlos/SP
– Brasil. Telefone (16) 3351 8705

Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos: Rodovia Washington Luiz,
km 235

CEP 13.565-905 – CP 676 – São Carlos/SP – Brasil. Telefone (16) 3351 8110, (16) 3351 8109. E-mail:

cephumanos@power.ufscar.br


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS

Via Washington Luiz, Km. 235 - Caixa Postal 676

CEP 13.565-905 - São Carlos - SP - Brasil

 Fones: (016) 3351-8028 Fax (016) 3351-8025 Telex 162369 - SCUF - BR
cephumanos@power.ufscar.br <http://www.propp.ufscar.br>
Parecer nº. 399/2010

Título do projeto: Software para a avaliação da cinética e da área sob a curva da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio

Área de conhecimento: 4.00 - Ciências da Saúde / 4.08 - Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Pesquisador Responsável: THOMAS BELTRAME

Orientador: Luiz Carlos Trevelin

CAAE: 0074.0.135.000-10

Processo número: 23112.002350/2010

Grupo: III

Parecer

As pendências apontadas no Parecer nº. foram satisfatoriamente resolvidas. **Projeto aprovado.** Atende as exigências contidas na Resolução 196/96, do Conselho Nacional de Saúde.

Normas a serem seguidas

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.3.z), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (Item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item III.2.e).
- Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente dentro de 1 (um) ano a partir desta data e ao término do estudo.

São Carlos, 9 de novembro de 2010.


 Prof. Dr. Daniel Vendruscolo
 Coordenador do CEP/UFSCar