



Programa de Pós Graduação em Ciências da Saúde
Cardiologia e Ciências Cardiovasculares



CHARLES DE MORAES STEFANI

**UMA EQUAÇÃO NACIONAL PARA PREDIÇÃO DO
CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO**

Porto Alegre, 2014

CHARLES DE MORAES STEFANI

**UMA EQUAÇÃO NACIONAL PARA PREDIÇÃO DO
CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO**

Dissertação para obtenção de título de
Mestre em Cardiologia pela Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Stein.

Porto Alegre, 2014

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre junto comigo

Ao Meu Mestre, Professor Ricardo Stein por além de sua dedicação e sabedoria, ensinar-me a enobrecer o conhecimento constantemente.

Ao Dr. Antônio Eduardo Monteiro de Almeida, pela confiança e opiniões fundamentais no desenvolvimento dessa etapa.

Ao Professor Jorge Pinto Ribeiro por ser o maior exemplo de ética e verdade que conheci no meio clínico e acadêmico.

Aos meus familiares, especialmente minha avó Maria Eloar Haag de Moraes por caminhar ao meu lado desde o jardim de infância ao vestibular para o curso de medicina.

À Michelle Brollo, minha linda noiva, pelo amor, paciência e companheirismo nessa jornada.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências Cardiovasculares da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, especialmente ao Eduardo Garcia.

SUMÁRIO

Parte 1

1) Embasamento Teórico	09
1.1 Definição de Consumo de Oxigênio	09
1.2 Definição de Consumo Máximo de Oxigênio	09
1.3 Fatores que Interferem no Consumo Máximo de Oxigênio	11
1.3.1 Idade e Gênero.....	11
1.3.2 Nível de Atividade Física.....	12
1.3.3 Altura e Peso Corporal.....	13
1.3.4 Genética.....	15
1.3.5 Etnia.....	17
1.3.6 Sistema Respiratório.....	18
1.3.7 Sistema Cardiovascular.....	19
1.3.8 Modalidade de Exercício	21
1.4 Fisiologia do Exercício.....	22
1.4.1 Resposta Metabólica.....	22
1.4.2 Resposta Respiratória.....	25
1.4.3 Resposta Cardiovascular.....	27
1.5 Equações.....	30
1.6 Teste Cardiopulmonar de Exercício.....	35

2) Racionalização para Realização do Estudo

2.1 Justificativa.....37

2.2 Objetivos.....38

3) Referências.....39

Parte 2

ARTIGO: UMA EQUAÇÃO NACIONAL PARA PREDIÇÃO DO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO

Resumo	44
Introdução	45
Métodos	46
Aspectos Éticos	46
População em Estudo	46
Resultados	48
Discussão	49
Limitações do Estudo	51
Aplicabilidade	51
Conclusões	52
Referências	53
Lista de Tabelas	56
Anexos	61

LISTA DE ABREVIATURAS

(A-v)O ₂	Diferença Arteriovenosa de Oxigênio
AC	Anidrase Carbônica
ATP	Adenosina Trifosfato
CaO _{2máx}	Conteúdo Máximo de Oxigênio
CVF	Capacidade Vital Forçada
FC	Frequência Cardíaca
FR	Frequência Respiratória
H ₂ CO ₃	Ácido Carbônico
HCO ₃	Bicarbonato Sanguíneo
IMC	Índice de Massa Corpórea
P	Fosfato de Alta de Energia
PAS	Pressão Arterial Sistólica
PAD	Pressão Arterial Diastólica
PCr	Fosfocreatina
PO ₂	Pressão de O ₂
MET	Equivalente Metabólico
Q	Débito Cardíaco
QCO ₂	Produção Periférica de CO ₂
QO ₂	Captação Periférica de O ₂
R	Quociente Respiratório
SaO ₂	Saturação da Oxi-hemoglobina
TCEP	Teste Cardiopulmonar de Exercício
VAC	Volume de Ar Corrente
VCO ₂	Produção de Gás Carbônico
VEF ₁	Volume Expiratório Forçado no 1º segundo
VO ₂	Consumo de Oxigênio
VO _{2máx}	Consumo Máximo de Oxigênio
VO _{2pico}	Consumo de Oxigênio de Pico
VS	Volume Sistólico

LISTA DE TABELAS E ANEXOS

TABELAS

Tabela 1	56
Tabela 2	57
Tabela 3	58
Tabela 4	59
Tabela 5	60
Tabela 6	62
Tabela 7	63
Tabela 8	69
Tabela 9	70

ANEXOS

Anexos 1	61
Anexos 2	64

1. EMBASAMENTO TEÓRICO

1.1 Conceito do Consumo de Oxigênio

O consumo de oxigênio (VO_2) é o volume de oxigênio captado em nível alveolar, transportado pela circulação sanguínea e consumido pelos tecidos. Em intensidades de exercício extenuantes o VO_2 pode atingir valores máximos ($VO_{2máx}$)^{1,2}.

1.2 Conceito de Consumo Máximo de Oxigênio

No ano de 1923 Hill e Lupton¹ descreveram o fenômeno do $VO_{2máx}$, observando que em alguns indivíduos, a partir de um determinado ponto após alta carga de exercício, ocorria um platô no consumo de oxigênio. O conceito por eles descrito é que se atingia uma intensidade crítica a partir da qual essa variável não aumentava, mesmo que a intensidade do esforço (carga) aumentasse. O $VO_{2máx}$ é o padrão-ouro na mensuração da capacidade funcional e, portanto, tem sido tradicionalmente utilizado como referência da potência aeróbica em avaliações diagnósticas da função cardiovascular, bem como na prescrição de treinamento aeróbico¹⁻⁶.

Durante o exercício a demanda de oxigênio para a musculatura esquelética ativa pode aumentar em até 20 vezes comparado ao repouso, diferente da musculatura inativa o incremento no consumo não é de grande monta⁷. O $VO_{2máx}$ pode ser expresso em valores absolutos (L/min) ou em valores relativos ao peso

corporal ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Como a necessidade de energia varia em função do tamanho corporal, o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ normalmente é expresso em valores relativos. Em alguns esportes ou no caso de diferenças de composição corporal verifica-se a importância de medir valores relativos para uma comparação mais precisa, como corredores de diferentes tamanhos. Já em nadadores, onde não há sustentação do peso corporal, o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ é melhor aferido em valores absolutos^{7,8}.

Diante da estabilização do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ser pouco frequente mesmo em intensidade crítica de exercício, critérios são utilizados para sua determinação: (*Criteria for Determination of Maximal Oxygen Uptake, 2007*)⁹.

- a) Aumento no VO_2 de 150 mL ou $2,1\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para aumento de 2,5 % na velocidade em esteira.
- b) Aumento de VO_2 inferior a 2 desvios padrão das médias de mudanças entre as intensidades prévias de exercício.
- c) Aumento no VO_2 inferior a $2\text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para um aumento de 5 à 10% na intensidade do exercício.

Independente do critério utilizado, somente a minoria dos indivíduos atingem o verdadeiro platô de VO_2 durante o exercício máximo. Além disso, o VO_2 atingido durante o esforço máximo depende do protocolo ou ergômetro utilizado e do tipo de modalidade de treinamento. Diante disso, Armstrong e Jackson⁸ em 1995, propuseram o termo consumo de oxigênio de pico ($\text{VO}_{2\text{pico}}$), o qual representa o maior VO_2 obtido durante um teste com incremento de carga que leva o sujeito à exaustão. Quando se analisa o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ em grupos heterogêneos com diferenças na faixa etária, gênero, nível de atividade física e localidade pode-se encontrar valores entre 20 à $80\text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, como descritos por Lacour e Flandrois⁸ em 1977. Já em

grupos homogêneos como sedentários analisados por Astrand^{2,3}, as variações foram bem menores, ficando entre 15 à 20%.

Diante da diversidade de critérios e a não padronização dos mesmos para determinar o $VO_{2máx}$, Howley e colaboradores⁴⁻⁶ sugeriram que as diretrizes do *American College of Sports Medicine*⁹ de 2007 é quem deveriam promover a uniformidade e padronização dos critérios desenvolvidos para atingir o $VO_{2máx}$.

1.3 Fatores que Interferem no Consumo Máximo de Oxigênio

O $VO_{2máx}$ varia de acordo com a composição corporal, nível de atividade física, faixa etária, etnia, hereditariedade/genética e gênero. Tanto a predição quanto a estimativa do $VO_{2máx}$ podem ser bastante desafiadoras, especialmente porque a área geográfica, dimensões corporais e níveis de atividade física de uma determinada população podem diferir daquela de referência¹⁰⁻¹⁴. É digno de nota que a estimativa por equações pode apresentar margem de erro de 15-20% ou mais, especialmente se aplicadas em populações diferentes daquela utilizada para as quais as equações foram desenvolvidas¹⁴⁻¹⁶.

1.3.1 Idade e Gênero

O $VO_{2máx}$ aumenta desde a infância, em média a partir dos 8 anos, atingindo seu maior valor em torno dos 20 anos. Após, passa a declinar progressivamente, reduzindo década após década. Sedentários apresentam declínio de aproximadamente 9% a cada década, atingindo aos 65 anos apenas 70% do $VO_{2máx}$ que tinham aos 25 anos de idade. Pollock e colaboradores⁸, em 1987,

sugeriram que o exercício regular pode reduzir a queda do $VO_{2m\acute{a}x}$ para valores inferiores a 5% por década. Astrand e colaboradores^{2,3} mediram o $VO_{2m\acute{a}x}$ no ciclo ergômetro em 66 homens e mulheres treinados, com idade entre 20 e 30 anos. Vinte um anos depois os autores repetiram o Teste Cardiopulmonar de Exercício (TCPE) e observaram diminuição média no $VO_{2m\acute{a}x}$ de 22% nas 35 mulheres e 20% nos 31 homens. Bruce e colaboradores¹⁶ utilizaram-se de análise de regressão múltipla graduada para identificar se o gênero, idade, peso, altura e nível de atividade física auxiliariam na previsão do $VO_{2m\acute{a}x}$ durante o teste de exercício em esteira em adultos. Os autores¹⁶ sugeriram que idade e gênero eram os fatores mais importantes. Eles também relataram que o $VO_{2m\acute{a}x}$ em mulheres representava 77% daquele alcançado pelos homens quando ajustado para peso corporal e nível de atividade física¹⁴⁻¹⁶. Em 2009, através de estudo de base populacional publicado por Koch e colaboradores²⁰ no qual foram arrolados 1708 indivíduos saudáveis entre 20 e 79 anos, os autores observaram que o $VO_{2m\acute{a}x}$ mensurado através do TCPE em ciclo-ergômetro sofria influência principalmente da faixa etária e gênero.

1.3.2 Nível de Atividade Física

Balke e colaboradores¹⁷ descreveram que o $VO_{2m\acute{a}x}$ é diretamente proporcional ao nível de atividade física ao avaliarem soldados da Força Aérea Americana, os quais foram testados em relação aos seus padrões de atividade física¹³. Na década de setenta, Drinkwater e colaboradores¹⁸ relataram que o $VO_{2m\acute{a}x}$ de mulheres extremamente ativas não declinava durante duas décadas após a primeira mensuração. O interessante neste estudo é que a despeito da manutenção do $VO_{2m\acute{a}x}$ durante essas duas décadas consecutivas, houve um aumento gradual do

peso corporal e esse achado não foi suficiente para atenuar o efeito do treinamento sobre o $VO_{2m\acute{a}x}$. Por sinal, diversos autores^{2,3,14,17-19} descrevem que em períodos de treinamento mais intenso, pode-se inclusive aumentar o $VO_{2m\acute{a}x}$ (entre 15 à 25%). Mesmo em se tratando de sedentários que realizam um programa de treinamento a 75% do $VO_{2m\acute{a}x}$, três vezes por semana, com duração de 30 minutos diários por seis meses, pode-se observar aumento do $VO_{2m\acute{a}x}$ superior a 20%. Quando o percentual de massa gorda é perdido durante o programa e o $VO_{2m\acute{a}x}$ é expresso em valores relativos ao peso corporal, pode-se verificar elevação em torno de 40%⁸.

1.3.3 Altura e Peso Corporal

A altura pode apresentar grande variabilidade em relação ao índice de massa corporal (IMC), a massa corporal magra, assim como em relação ao nível de atividade física do sujeito. No que diz respeito a interação entre a altura e o $VO_{2m\acute{a}x}$, tanto em homens quanto em mulheres com peso corporal normal, existe grande variabilidade. Tais achados foram evidenciados em três séries norte-americanas¹², uma japonesa e uma brasileira¹³. Nos homens houve declínio do $VO_{2m\acute{a}x}$ com o aumento da faixa etária para todas as alturas, havendo variabilidade menor para quem apresentava 170 cm e maior nos extremos durante pelo menos duas décadas consecutivas. Nas séries de Jones¹², a variabilidade é menor para 160 cm e maior para 190 cm. Nas mulheres também foi verificado declínio funcional, apesar das japonesas apresentarem valores mais altos de queda e as brasileiras mais baixos^{12,13}.

O $VO_{2m\acute{a}x}$ não aumenta em proporção direta com o peso composto de tecido adiposo e sim pela massa magra. Além disso, é improvável que a função cardiovascular, respiratória e musculoesquelética acompanhe o aumento do peso corporal total. Na série de Bruce e colaboradores¹⁶ havia discordância para previsão do $VO_{2m\acute{a}x}$ ao se comparar indivíduos de peso normal com os que estavam acima do peso. Taylor e colaboradores²¹, ao avaliarem estudantes e soldados ativos, demonstraram que o $VO_{2m\acute{a}x}$ se correlacionava mais adequadamente com uma medida de peso corporal sem gordura ($r = 0,85$), do que quando avaliado o peso corporal total ($r = 0,63$).

Jones e colaboradores^{11,12}, ao analisarem aproximadamente 1000 indivíduos aparentemente saudáveis, observaram que, ao adicionar peso como uma variável da estatura, faixa etária e gênero, a previsão da capacidade de exercício na bicicleta ergométrica não era aperfeiçoada. Já os trabalhos de Wasserman e colaboradores^{14,19} demonstraram relação direta entre o tamanho dos membros inferiores e o $VO_{2m\acute{a}x}$. Estimava-se que o $VO_{2m\acute{a}x}$ aumentava em $6 \text{ mL.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ de peso corporal extra¹⁴. Indivíduos acima do peso apresentam valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ e de limiar anaeróbico (LA) mais elevados que outros indivíduos com mesma idade, gênero, estatura e peso corporal normal. Isso se explica porque durante a caminhada ou pedalada nas mesmas distâncias o grupo com sobrepeso consome mais energia e seus músculos tornam-se mais treinados. Sendo assim, o peso corporal pode modificar sem afetar a capacidade de trabalho externo máximo sobre o ciclo-ergômetro¹⁴. Em mais de 1000 TCPE analisados no laboratório de Wasserman e colaboradores¹⁴, identificou-se uma amostra populacional clínica mais próxima daquela da população americana. Isto se deveu a mesma, ser em média, menor e mais obesa que em outras séries norte americanas. No grupo masculino,

70% excederam o peso normal, 45% apresentavam acima de 110% do peso, 26% acima de 120% e 6% acima de 160%. Para o grupo feminino, 70% excederam o peso normal, 56% excederam 110% do peso, 42% acima de 120%, 25% acima de 140% e 12% acima de 160%. Embora seja difícil prever os valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ em pacientes com sobrepeso, recomenda-se para cada quilograma (kg) de peso, aumento de 6 mL/min no $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto.

No entanto, em indivíduos abaixo do peso, há uma relação direta entre diminuição do $VO_{2m\acute{a}x}$ com redução de peso corporal. Se a massa muscular for adequada ou elevada, o $VO_{2m\acute{a}x}$ comporta-se de modo inverso. Em se tratando de crianças, Cooper e colaboradores⁴ verificaram relação direta entre $VO_{2m\acute{a}x}$ com peso e altura em não obesos entre seis e 17 anos. Seus dados foram semelhantes aos encontrados por Astrand e colaboradores^{2,3}, exceto nas meninas, que apresentaram $VO_{2m\acute{a}x}$ inferior²⁻⁴.

1.3.4 Genética

No início dos anos 90, Bouchard e colaboradores²², ao analisarem 10 pares de gêmeos monozigóticos submetidos a um programa de treinamento por 20 semanas, descreveram que o $VO_{2m\acute{a}x}$ variou bastante entre alguns pares de irmãos, enquanto em outros pares, quase não houve modificação. Tal achado sugere que, em alguns irmãos, ocorre resposta significativa do $VO_{2m\acute{a}x}$ e, em outros, há discreta ou nenhuma resposta ao mesmo programa de treinamento. Fahey e colaboradores²³ já descreviam, na década de 70, que, quanto maior for o nível inicial de condicionamento físico, menor será a melhora relativa determinada pelo mesmo programa de treinamento. Os maiores valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ são atingidos dentro de oito

a 18 meses de exercício, indicando que cada indivíduo tem um limite a ser atingido que parece ser influenciado pelo nível de atividade física realizado na infância.

Por volta de 1999, novamente Bouchard e colaboradores²² analisaram 481 sedentários caucasianos adultos oriundos de 98 famílias de duas gerações consecutivas. Eles foram treinados por 20 semanas e o $VO_{2máx}$ foi avaliado em cicloergômetro por duas vezes (antes e após o programa de treinamento). O aumento médio do $VO_{2máx}$ foi 400 mL/min, mas houve heterogeneidade considerável na capacidade de resposta, com alguns pares de indivíduos que experimentam pouco ou nenhum ganho, enquanto outros obtiveram um aumento no $VO_{2máx}$ superior a 1,0 L/min.

É interessante mencionar que os modelos mais parcimoniosos renderam uma máxima estimativa de herdabilidade de 47% para o $VO_{2máx}$, sendo a transmissão materna na ordem de 28%. A partir destas observações em gêmeos idênticos, é vigente até aos dias de hoje que a individualidade em treinabilidade do $VO_{2máx}$ é altamente familiar, tendo um componente genético não desprezível. Existem fenótipos de performance física e mais de 200 variantes genéticas já foram identificadas, tendo sim efeito na capacidade funcional²⁴. O fenótipo $VO_{2máx}$ é influenciado por múltiplos genes: dentre eles, o codificador da citrato sintase (CS, cromossomo 12q 13.2-q13.3), a enzima do ciclo de Krebs envolvida no metabolismo oxidativo e o gene codificador da enzima conversora de angiotensina (ECA, cromossomo 17q23), está envolvida na caracterização do tipo de fibras musculares.

Zhang e colaboradores²⁵, em 2003, verificaram que o genótipo I/I do gene da (ECA) está associado a maior percentagem de fibras do tipo I na musculatura esquelética, maior capacidade oxidativa e maior densidade mitocondrial. Estes

mecanismos explicam, pelo menos em parte, a possibilidade dos portadores terem um maior $VO_{2m\acute{a}x}$.

Em 2007, Hautala e colaboradores²⁶ mostraram que negros com genótipo C/C (exon 4) apresentavam elevação mais discreta no $VO_{2m\acute{a}x}$ comparado a outra população de raça negra, em um mesmo programa de treinamento, mas com genótipos C/T e T/T. Tais achados sugerem que a genética pode explicar variações interindividuais nas respostas bioquímicas, fisiológicas, musculares e cardiopulmonares relacionadas ao exercício²⁴⁻²⁶.

1.3.5 Etnia

Há muitos anos, observam-se diferenças entre etnia e performance no exercício. O $VO_{2m\acute{a}x}$, por exemplo, mostrou valores superiores em escandinavos quando comparados a norte-americanos. Já Edwards e colaboradores avaliaram, a partir de 1972, através do Programa Biológico Internacional, diferenças entre a potência aeróbica em grupos étnicos caribenhos. Jones e colaboradores, por sua vez, descreveram que a diferença entre o $VO_{2m\acute{a}x}$ nas populações depende da composição corporal, atividade física habitual, níveis de hemoglobina e altitude no local de moradia^{11,12}. Swaminathan e colaboradores²⁷, analisaram o $VO_{2m\acute{a}x}$ através do TCPE em 95 crianças sul-indianas entre sete e 14 anos. Ao compará-las com crianças norte americanas, os autores observaram diferença de $VO_{2m\acute{a}x}$ relacionada ao gênero e, principalmente, à composição corporal. As crianças norte-americanas com altura entre 149 e 160 cm apresentaram $VO_{2m\acute{a}x}$ superior independentemente do gênero. No entanto, os meninos com 120 cm obtiveram $VO_{2m\acute{a}x}$ inferior no grupo norte-americanos e as meninas com mesma estatura apresentaram valores

inferiores no grupo sul indiano. Em se tratando de peso entre 20 e 40 kg, todas as meninas norte-americanas apresentaram $VO_{2m\acute{a}x}$ superior às sul-indianas, e todos os meninos sul-indianos apresentaram valores superiores aos norte-americanos. Esta diferença entre gêneros em diferentes etnias foram justificadas por aspectos ambientais e, principalmente, socioculturais, já que as indianas vivem mais dentro de casa, sendo menos ativas que os meninos.

Em 2008, Babak e colaboradores²⁸ também analisaram o $VO_{2m\acute{a}x}$ através do TCPE em adolescentes iranianos com idades entre treze e 17 anos. Os autores encontraram valores médios inferiores aos encontrados em países ocidentais ou indianos. Características antropométricas, estruturais, funcionais, bioquímicas e fisiológicas podem estar envolvidas de acordo com a localidade de origem do indivíduo. Afinal, mesmo que a metodologia desse estudo tenha sido diferente da utilizada em estudos ocidentais, a população era de faixa etária, composição corporal e nível de atividade física semelhantes, mas os valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ foram muito inferiores, tanto para meninas quanto para meninos.

Ceaser e colaboradores²⁹, analisaram entre 1999 à 2004, mais de 3000 indivíduos saudáveis com idades entre 18 e 49 anos. Ao mensurar a capacidade funcional destes sujeitos em esteira ergométrica, o $VO_{2m\acute{a}x}$ médio nos hispânicos foi de $41\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, enquanto nos brancos foi de $40,2\text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e, nos afro-americanos, de $37,9\text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Diferenças étnicas responderam por até 18,5% de variação no $VO_{2m\acute{a}x}$ nessas populações.

1.3.6 Sistema Respiratório

Jones e colaboradores^{11,12}, em 1981, descreveram que medidas da função pulmonar, como capacidade vital forçada (CVF) e volume expiratório forçado no

primeiro segundo (VEF_1), poderiam ter alguma influência na capacidade funcional da população saudável. Estas medidas têm relação com o tamanho pulmonar e a massa corporal magra. Segundo alguns o VEF_1 pode ser usado como preditor do $VO_{2máx}$ em saudáveis. Dempsey e colaboradores³⁰, em 1984, ao analisarem 2 grupos de atletas observaram diferença na queda da saturação arterial de oxigênio entre os grupos, embora ambos obtiveram valores elevados de $VO_{2máx}$. Os atletas que tiveram maior queda de saturação apresentavam leve redução na ventilação alveolar, mostrado pela maior PCO_2 alveolar e uma maior diferença na tensão alvéolo-capilar de oxigênio, resultando menor saturação de oxigênio (87% x 92%). Em um segundo momento, eles foram submetidos ao exercício com hiperóxia (concentração de oxigênio de 26%). Isso foi suficiente para evitar a queda de saturação e aumentar o $VO_{2máx}$ de 70 para 75 mL.kg⁻¹.min⁻¹. Diante disso, pode-se perceber que, em indivíduos treinados, o sistema respiratório pode influenciar o $VO_{2máx}$.

1.3.7 Sistema Cardiovascular

O volume sistólico (VS) pode aumentar 50% ao exercício intenso, enquanto a frequência cardíaca (FC) pode elevar-se até 270% do valor basal. O aumento da FC é, sem dúvida alguma, responsável por uma maior proporção do aumento do débito cardíaco (Q) comparado a elevação do volume sistólico (VS). Em condições normais, o VS atinge seu valor máximo quando o Q só aumentou até menos da metade de seu valor máximo. Como o débito cardíaco (Q) = volume sistólico (VS) X frequência cardíaca (FC), verifica-se que o débito cardíaco representa 90% do valor máximo passível de ser alcançado pelo indivíduo em

relação a sua capacidade funcional. Isso contrasta com apenas o valor aproximado de 65% do máximo para a ventilação pulmonar. Pode se perceber que o sistema cardiovascular é mais importante para o $VO_{2máx}$ que o sistema respiratório, visto que a utilização de oxigênio pelo organismo não pode ser superior a velocidade de transporte de oxigênio do sistema cardiovascular para os tecidos. Por essa razão, admite-se que o desempenho passível de ser obtido pelo maratonista depende, sobretudo, do seu coração³¹.

O $VO_{2máx}$ é produto do débito cardíaco pela diferença arteriovenosa de oxigênio $(a-v)O_2$ durante o esforço máximo. Determina a performance aeróbica depende da capacidade cardiovascular de aumentar o débito cardíaco, das condições vasculares periféricas e do transporte do oxigênio, como também da capacidade de extração de O_2 pelo músculo exercitado. A oferta central de oxigênio depende do débito cardíaco máximo e do conteúdo máximo de oxigênio $Q_{máx} \times CaO_{2máx}$. A extração periférica de oxigênio transportado depende da diferença arteriovenosa de oxigênio $(a-v)O_2$. Diante disso, o $VO_{2máx}$ pode ser expresso pela equação de Fick : $VO_{2máx} = Q_{máx} \times (a-v)O_2$ ^{13,31}.

Em 1968, Saltin e Strange³² verificaram que indivíduos inativos por 21 dias consecutivos apresentavam redução de 26% de $VO_{2máx}$ e $Q_{máx}$. O principal contribuinte para esse decréscimo foi o VS, pois não se observou modificação na $(a-v)O_2$. Ekblom e colaboradores³³, em 1972, observaram que a retirada de 20% da volemia em atletas reduzia o $VO_{2máx}$ na mesma proporção. No entanto, transfundir glóbulos vermelhos 4 semanas mais tarde resultou em aumento no $VO_{2máx}$ superior ao comparado do grupo controle não atleta. Vinte anos após, Saltin e Strange³⁷ defenderam o componente central como o principal envolvido na determinação do $VO_{2máx}$. Ao analisarem indivíduos que detinham alta performance aeróbica,

observaram que a elevação do consumo de oxigênio foi acompanhada de maior oferta aos músculos. Este aumento $VO_{2máx}$ foi devido ao volume sistólico (VS), já que a frequência cardíaca máxima e o $CaO_{2máx}$ não se modificaram com o treinamento. Por sua vez, o componente periférico baseia-se no pressuposto que o $VO_{2máx}$ é influenciado pelo potencial aeróbico das fibras musculares, ou seja, pela concentração das enzimas oxidativas e também pelo tamanho e número das mitocôndrias. Saltin e Strange³² submeteram indivíduos a um protocolo em ciclo-ergômetro, utilizando apenas um dos membros inferiores. Observaram que o membro contra lateral não apresentou aumento de capilares e de enzimas oxidativas como o ocorrido no membro treinado³⁴. Mais recentemente, um grupo de pesquisadores liderados por Peter Wagner³⁵ propôs um modelo para explicar a limitação periférica do $VO_{2máx}$ a partir da difusão periférica de oxigênio. Descreveram a frequência pelo qual o oxigênio poderá se difundir da hemoglobina até a mitocôndria muscular. Além disso, relataram haver uma relação linear entre $VO_{2máx}$ e a pressão venosa (PO_2) da musculatura ativa. Esta relação diretamente proporcional indica a compatibilidade da teoria da difusão periférica de oxigênio³⁵.

1.3.8 Modalidade de Exercício

O tipo de exercício é um determinante importante do $VO_{2máx}$. Por exemplo, na ciclo-ergometria de membros superiores - que é bem menos comum na maioria dos laboratórios brasileiros, o $VO_{2máx}$ pode ser de até 70% daquele observado na realização da ciclo-ergometria tradicional (de membros inferiores - pedalar). Isso se deve a menor massa muscular e taxa de trabalho envolvida^{11,12}. O $VO_{2máx}$ é maior quando envolve grandes grupamentos musculares, por períodos

prolongados e movimentos ritmados, como os exercícios aeróbios (caminhar, correr, marchar, pedalar, nadar, dançar e remar). Dessa forma, se membros superiores e inferiores forem agregados ao ciclo-ergômetro, o $VO_{2m\acute{a}x}$ será superior ao ciclo-ergômetro de membros inferiores, que, por sua vez, será superior ao ciclo-ergômetro de membros superiores³⁶. O ergômetro de escolha tem papel preponderante nesse contexto, visto que desde o estudo de Hermansen e Davis^{37,38} existe evidência que o $VO_{2m\acute{a}x}$ ao se pedalar representa 90% daquele alcançado na esteira. Segundo Magel e colaboradores³⁹ as adaptações fisiológicas, bioquímicas e estruturais determinadas pelo exercício físico são altamente específicas para o tipo de treinamento realizado. Por exemplo, corredores de longa distância apresentam redução de $VO_{2m\acute{a}x}$ em torno de 11% quando avaliados em ciclo-ergômetro comparados a avaliação em esteira rolante. Por sinal, Stromme e colaboradores⁴⁰ verificaram que atletas treinados em remo, ciclismo e esqui de longa distância, apresentam valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ medidos em seu ergômetro específico iguais ou até superiores aos encontrados em esteira rolante.

1.4 Fisiologia do Exercício

1.4.1 Resposta Metabólica

A análise das características da troca de gases nos tecidos periféricos constitui-se na origem para o entendimento dos processos fisiológicos envolvidos no exercício dinâmico. O termo metabolismo é também usado como sinônimo de intercâmbio gasoso sistêmico, já que O_2 é consumido e o CO_2 liberado (VCO_2) como consequência da aceleração da atividade metabólica, principalmente a da muscular

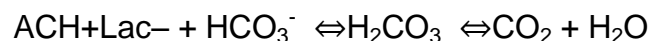
esquelética. O exercício físico envolve aumento das necessidades orgânicas de suprimento de energia para a contração muscular. Esta energia origina-se dos complexos fosfato de alta energia (P), a grande maioria dos quais disponível na forma de adenosina trifosfato (ATP). Como o organismo dispõe de ATP estocado para apenas algumas poucas contrações, necessitamos regenerá-lo continuamente. Embora algum “novo” ATP possa ser inicialmente obtido pela quebra da reserva de fosfato muscular (denominada de fosfocreatina ou PCr), após algum tempo (cerca de 20-30 segundos), o organismo precisa recorrer a, pelo menos, uma das seguintes opções:

- a) metabolismo anaeróbico (glicólise anaeróbica), que é capaz de fornecer energia prontamente, mas com um gasto elevado de substrato (glicose) e produção de um ácido forte, o ácido láctico;
- b) metabolismo aeróbico ou oxidativo (ciclo de Krebs e cadeia do transporte de elétrons), que, embora demande tempo para o ajuste necessário, apresenta um grande potencial para sustentar uma atividade prolongada.

Há uma hierarquia cronológica na sequência de obtenção de ATP (ATP armazenado → sistema PCr → glicólise anaeróbica e/ou metabolismo oxidativo). Em determinado instante, deve-se observar que todas as vias metabólicas estejam ativas: na realidade, o adjetivo “predominante” deveria sempre anteceder a denominação “aeróbico” ou “anaeróbico”.⁴¹ A grande vantagem do metabolismo anaeróbico é que ele independe do aporte de O₂ à mitocôndria e, portanto, do funcionamento rápido e adequado do complexo sistema de captação, transporte e oferta de O₂. Em vista disso, logo na transição entre o repouso e o exercício, existe um certo atraso no início do metabolismo aeróbico, um verdadeiro “déficit de O₂”,

sendo este suprido pelos depósitos locais de O₂ (ligado a mioglobina, por exemplo), a PCr e a alguma glicólise anaeróbica. Logo, no início do exercício, haverá uma geração temporária, não sustentada, de ácido láctico. Após algum tempo que será mais curto em indivíduos mais treinados, as necessidades aeróbicas são quase totalmente supridas e o organismo passa a depender crucialmente da integridade dos ajustes “cardiorrespiratórios”. Desta forma, caso a intensidade do exercício seja aumentada progressivamente (exercício incremental), observa-se que o VO₂ também aumenta linearmente com a carga aplicada. Isso ocorre até um certo ponto, muito próximo à tolerância máxima de exercício, a partir do qual, por mais que a carga seja aumentada, o VO₂ se estabiliza, definindo-se o VO_{2máx}⁴².

Outro fenômeno especialmente marcante na resposta metabólica ao exercício progressivo é a ocorrência de uma modificação, relativamente abrupta, da relação entre as taxas de incremento do VO₂ e da VCO₂. Ocorre, em algum ponto do exercício, uma liberação adicional de CO₂⁴³. A fonte principal deste extra-CO₂ resulta da dissociação do ácido carbônico (H₂CO₃), formado a partir do tamponamento do ácido láctico pelo bicarbonato sanguíneo (HCO₃⁻), ou seja:



Onde AC representa a enzima anidrase carbônica, que acelera substancialmente esta reação na hemácia e no capilar pulmonar. Este “extra”- CO₂ é adicionado ao CO₂ que está sendo produzido pela respiração celular: no exercício intenso, por exemplo, o CO₂ advindo do tamponamento do lactato aumenta a VCO₂, relativamente ao exercício puramente aeróbico, num fator de até 2,5 vezes⁴⁴. Embora ainda suscetível de controvérsia, a hipótese mais provável é que a falta relativa de O₂ no final da cadeia de transporte de elétrons desequilibre o potencial do citosol, cuja correção seria tentada pela formação de lactato a partir do piruvato.

Como esta modificação do metabolismo predominantemente oxidativo para o progressivamente anaeróbico parece ter “limiar” de surgimento (limiar de lactato), Wasserman e colaboradores^{45,46} utilizaram a denominação de limiar anaeróbico(LA). Independente do mecanismo exato, entretanto, este extra-CO₂ constitui importante resposta ventilatória para detectar não-invasivamente o limiar de lactato.

1.4.2 Resposta Respiratória

As trocas de O₂ e CO₂ entre pulmões e capilares pulmonares ocorrem em consequência da ventilação e da difusão pulmonar. Entende-se por ventilação pulmonar o processo mecânico de mobilização do ar para dentro e fora dos pulmões, enquanto a difusão pulmonar corresponde ao movimento aleatório das moléculas de uma área de concentração elevada para outra de menor concentração. A condição essencial para que a ventilação pulmonar ocorra é a contração dos músculos respiratórios. Essa atividade mecânica faz com que o tórax aumente o volume e os pulmões se expandam, permitindo a passagem de ar. O músculo inspiratório responsável pela inspiração basal é o diafragma. No entanto, na inspiração forçada, como a observada no exercício físico extenuante, outros músculos (esternocleidomastoideo, escaleno, intercostais externos e peitoral menor) podem ajudar a atender à maior demanda ventilatória. Já a expiração, no estado basal, é um processo passivo, provocado pelo relaxamento do diafragma, que leva à diminuição do volume pulmonar e à expulsão do CO₂. Quando, porém, envolve expiração forçada, é necessária a participação de músculos abdominais e intercostais internos.^{46,47} O processo da difusão pulmonar, por outro lado, depende do gradiente das pressões parciais de O₂ e CO₂ entre os alvéolos e o capilar

alveolar. Como a pressão parcial de O_2 é maior nos alvéolos que no sangue, o O_2 entra no capilar. Similarmente, como a pressão parcial de CO_2 no sangue é superior à dos alvéolos, o CO_2 passa do sangue para os pulmões⁴⁹.

A ventilação em repouso corresponde aproximadamente a 5-6 L/min. Com o incremento do exercício, observa-se elevação rápida na ventilação, em resposta ao aumento do metabolismo celular. Durante o exercício leve ou moderado, a ventilação aumenta linearmente com a captação de O_2 e a produção de CO_2 , atingindo valores entre 25 e 30L/min. Nessas condições iniciais, a ventilação aumenta principalmente pelo aumento do volume corrente, enquanto a frequência respiratória passa a representar papel mais importante em intensidades mais altas de exercício. Por exemplo, atletas do sexo masculino, altamente treinados, conseguem atingir volumes ventilatórios a 200L/min no exercício máximo^{49,50}.

As modificações na ventilação-minuto do repouso para o exercício podem ser resumidas nas três fases da resposta ventilatória. A fase inicial (resposta antecipatória, aumento rápido) estende-se até os 10-20 segundos iniciais do exercício. Durante esta fase, a ventilação pulmonar aumenta bruscamente em resposta a estímulos neurogênicos provenientes do córtex motor (comando central) e mecanoceptivos provenientes dos membros ativos para o centro respiratório bulbar. Esse influxo neural persiste durante todo o exercício. Na segunda fase (estável), as mudanças ventilatórias ocorrem mais lentamente quando comparadas ao início do exercício. Neste momento, há a participação dos quimiorreceptores centrais e periféricos no ajuste fino da resposta ventilatória. A ventilação pulmonar pode continuar aumentando até o estado estável como resposta tipicamente característica do exercício em intensidade submáxima. No exercício máximo, a ventilação continua aumentando progressivamente em resposta à demanda de

oxigênio. Nessa terceira fase, conhecida como rápida e contínua, que nem sempre é alcançada, os fatores que controlam a ventilação são obtidos pelo intercâmbio entre quimiorreceptores centrais e periféricos, nos quais modificam-se ao avaliarem as concentrações de O_2 , CO_2 e de íons hidrogênio. Após a interrupção do exercício, o rápido declínio na ventilação-minuto é reflexo da parada brusca, tanto da sinalização do comando central quanto dos mecanorreceptores nos músculos previamente ativos. Ao final do exercício, encontra-se a fase final de recuperação, conhecida como fase lenta, provavelmente a responsável pelo restabelecimento da gasometria arterial, com a retirada dos impulsos do sistema respiratório bulbar⁵⁰⁻⁵².

1.4.3 Resposta Cardiovascular

Um dos efeitos mais precoces no sistema cardiovascular durante a atividade física é o aumento da frequência cardíaca. Essa elevação ocorre de forma linear e proporcional ao aumento da intensidade de exercício. Assim, durante o exercício submáximo, a frequência cardíaca aumenta até a intensidade alvo e é mantida constante desde que a carga não se modifique. Entretanto, durante o exercício progressivo máximo, como no teste ergométrico ou no TCPE, a frequência cardíaca aumenta de forma linear e proporcional ao aumento da potência executada, até a interrupção do esforço por exaustão do indivíduo. Nessa situação de esforço máximo, não ocorre estabilização da frequência cardíaca, comportamento observado tanto em indivíduos treinados como em não treinados. Basicamente o aumento da frequência cardíaca ocorre por diminuição do tônus vagal e ativação do componente simpático.⁵³ Um dos efeitos mais marcantes do exercício realizado cronicamente sobre o sistema cardiovascular é a bradicardia de repouso. O efeito

crônico do exercício promove redução da frequência cardíaca de repouso por um ou mais dos seguintes mecanismos: aumento do tônus vagal, diminuição do tônus simpático e redução da frequência intrínseca de marcapasso⁵⁴. A pressão arterial (PA) também apresenta modificações relacionadas ao exercício. A pressão arterial sistólica (PAS) aumenta gradativamente com o incremento do exercício em indivíduos normais. Já a pressão arterial diastólica (PAD) tende a permanecer com valores semelhantes ao repouso ou apresentar discreto declínio em alguns indivíduos. Os mecanismos pressóricos parecem estar influenciados por mudanças eferentes simpáticas e parassimpáticas sobre a resposta hemodinâmica⁶¹. Outro parâmetro cardiovascular influenciado pelo exercício e fundamental é o débito cardíaco (Q) que garante o adequado suprimento de oxigênio para os tecidos e para a musculatura ativa envolvida no exercício. A quantidade de sangue bombeada pelos ventrículos a cada minuto aumenta continuamente durante a realização do exercício dinâmico progressivo máximo. Débito cardíaco (Q) = volume sistólico (VS) X frequência cardíaca (FC). Durante o incremento do exercício ocorre aumento do VS proporcional a intensidade do exercício, no entanto, essa elevação é responsável apenas até 50% do $VO_{2máx}$ ⁵⁵.

O volume sistólico (VS) consiste na diferença entre o volume diastólico final e o volume sistólico final. Gledhill e colaboradores⁵⁶, em 1994, acreditaram que o VS podia aumentar após intensidade de 50% à 60% do $VO_{2máx}$. O débito cardíaco garantia o adequado suprimento de oxigênio para os tecidos e para a musculatura ativa envolvida no exercício. A quantidade de sangue bombeada pelos ventrículos a cada minuto aumentou continuamente durante a realização do exercício progressivo máximo. Após um período de treinamento físico aeróbico, o débito cardíaco em repouso quase não se modificou, permaneceu em níveis semelhantes aos

verificados no período anterior ao treinamento. Isso ocorreu porque o indivíduo treinado apresentava menor FC que o sedentário, mas maior VS, permanecendo o Q bastante semelhante. A propósito, o exercício físico realizado em mesma carga apresenta Q semelhante pelo mesmo motivo, tanto antes quanto após o treinamento⁵⁷. Entretanto, durante o exercício máximo, o Q de atletas (de 35 a 40 L/min) apresentam níveis marcadamente superiores em relação ao sedentário (de 20 a 25 L/min). Além da contribuição do Q para aumentar o suprimento de oxigênio para musculatura ativa, a captação do oxigênio nos tecidos pode ser modificada, extraindo-se maior quantidade de oxigênio do sangue arterial. Em repouso a hemoglobina transporta 20mL de oxigênio em cada 100mL de sangue, sendo que apenas 5mL são utilizados pelos capilares teciduais. A diferença entre os valores de oxigênio transportado no sangue arterial e o que deixa os tecidos (venoso misto) é denominada diferença arteriovenosa de oxigênio (a-v)O₂. Esta diferença aumenta tanto em sedentários quanto em indivíduos treinados. Entretanto, a contribuição da (a-v)O₂ em relação ao Q é expressivamente inferior, quando se trata de suprimento de oxigênio para a musculatura esquelética. A explicação periférica³²⁻³⁴ para captação de oxigênio nos tecidos está primariamente relacionada ao aumento da densidade capilar e, secundariamente, ao aumento da quantidade de mitocôndrias. Ainda assim, o treinamento físico não modifica os valores de repouso da (a-v)O₂. No entanto, indivíduos treinados apresentam maior (a-v)O₂ que os sedentários durante o esforço máximo⁵⁸⁻⁶⁰.

O fisiologista Adolph Fick aplicou a lei de ação das massas no fluxo corporal de oxigênio, sugerindo que: $VO_{2\text{máx}} = Q \times (a-v)O_2$ onde Q é o débito cardíaco (frequência cardíaca x volume sistólico ou FC x VS) e (a-v)O₂ representa a diferença entre os conteúdos arterial e venoso de O₂. Esta relação ilustra o

importante conceito de que o $VO_{2m\acute{a}x}$ é diretamente relacionado à magnitude dos ajustes cardiovasculares, tanto são eles, e não os ajustes pulmonares, que efetivamente explicam a capacidade de exercício em seres humanos saudáveis^{61,62}.

1.5 Equações

O padrão-ouro para avaliação da capacidade cardiorrespiratória é a medida direta do $VO_{2m\acute{a}x}$. Tal medida envolve a análise de ar expirado coletada enquanto o indivíduo realiza exercício em intensidade progressiva. Quando as medidas diretas não são possíveis, muitos procedimentos para calculá-lo têm sido desenvolvidos. Esses testes são validados examinando a correlação entre o $VO_{2m\acute{a}x}$ medido no TCPE com estimado através de equações ou testes de desempenho³⁶.

Enquanto os testes de exercício máximo são usados para medir o $VO_{2m\acute{a}x}$, testes submáximos são utilizados para construir a estimativa. A decisão entre usar teste máximo ou submáximo depende das razões para o exame, tipo de indivíduo, disponibilidade de equipamento ou pessoal treinado e apto para realizar o procedimento. O TCPE proporciona a melhor determinação; entretanto, é mais dispendioso, necessita equipe especializada e tende a ser mais demorado. Em vista disso, a medida direta do $VO_{2m\acute{a}x}$ normalmente é reservada para a pesquisa, para uso no treinamento desportivo ou é utilizada em ambiente clínico específico, sendo menos conhecida no meio médico. O próximo método mais exato constitui-se na estimativa do $VO_{2m\acute{a}x}$ por intensidade de esforço. Este tem a desvantagem de que o indivíduo precisa se exercitar ao ponto de fadiga voluntária. No entanto, quando comparado ao teste de esforço submáximo, apresenta utilidade clínica para o diagnóstico de cardiopatia isquêmica em indivíduos assintomáticos. Em alguns

cenários o teste de esforço (ergometria) pode não ser usado para avaliação da capacidade cardiorrespiratória máxima. Nesse particular foram desenvolvidos testes de esforço submáximo com o objetivo básico de estimar a relação entre a resposta da frequência cardíaca de um indivíduo e seu VO_2 durante o exercício progressivo e usá-lo para prever o $VO_{2máx}$. Para determinar com exatidão esta relação, precisa-se medir a frequência cardíaca e o VO_2 em, pelo menos, duas ou mais intensidades de esforço submáximo. É um método prático, simples, barato, rápido e de muito baixo risco, entretanto, é bem menos preciso. A modalidade primária para testes de esforço submáximo tem sido o ciclo-ergômetro, embora, em muitos ambientes, utilizam-se a esteira rolante. Testes submáximos em esteira rolante geralmente encerram em uma frequência cardíaca determinada previamente, em regra 85% da frequência cardíaca máxima prevista ($FC_{máxima} - FC_{em\ repouso} \times 0,85 + FC_{repouso}$). Os protocolos de Bruce e Ellestad¹⁶ são os mais frequentemente usados em esteira rolante. No de Bruce, ocorre incrementos progressivos de carga a cada três minutos, de modo que, a cada minuto, corresponda a 1 MET. Se um indivíduo atingiu 10 minutos no protocolo de Bruce¹⁶, podemos inferir que atingiu 10 METS ou $35\text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Já o protocolo de Ellestad caracteriza-se por aumentos maiores de velocidade a cada 2 minutos e inclinação fixa até o oitavo minuto. A partir desse ponto passa a inclinar-se 15% . Testes submáximos em ciclo-ergômetro são constituídos de técnicas populares para avaliar a capacidade cardiorrespiratória. O protocolo da YMCA utiliza dois a quatro estágios de três minutos de exercício contínuo. O teste destina-se a aumentar a frequência cardíaca, de um estado estável do indivíduo para 110 a 150 bpm através de dois estágios consecutivos. A previsão do $VO_{2máx}$ ocorre através dessas duas medidas consecutivas da frequência cardíaca entre 110 a 150 bpm³⁶.

O Teste de Cooper⁴ é um dos testes de campo mais usados para avaliar a capacidade cardiorrespiratória. Elaborado pelo Doutor Kenneth H. Cooper em 1968 para ser usado pelas forças armadas dos EUA, teve como objetivo verificar o nível de condicionamento físico de 115 oficiais da Força Aérea Americana. Em sua forma original, o objetivo do teste é correr a maior distância possível em 12 minutos. Outro teste de campo bastante utilizado é o Teste da Milha. Esse teste objetiva correr os 1600 metros em um período de tempo tão curto quanto possível. Tais testes são de fácil aplicabilidade, no entanto, o nível individual de motivação e o esforço máximo sem monitorização podem gerar resultados passíveis de erros, além de gerarem algum risco.

As equações estimativas, como a do Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM)⁵³, na qual o $VO_{2máx}$ ($mL.kg^{-1}.min^{-1}$) = $0,1 \times$ velocidade (em m/minuto) + $1,8 \times$ velocidade x inclinação + $3,5$, têm sido frequentemente usadas, sendo esta frequentemente incluída em *softwares* de fabricantes nacionais para testes ergométricos. Tal equação foi desenvolvida para exercício aeróbico submáximo em estado estável de equilíbrio (*steady state*) e sem pegada no corrimão da esteira, o que a torna inapropriada em várias situações clínicas, tendo isso já sido evidenciado. Já a equação de Foster⁶⁴, na qual o $VO_{2máx}$ (também em $mL.kg^{-1}.min^{-1}$) = $0,694 \times$ ACSM + $3,33$, foi desenvolvida independentemente do protocolo em esteira, para indivíduos segurando ou não o corrimão, deixando o executor livre para selecionar a velocidade e/ou inclinação, tendo evidenciado melhor correlação na estimativa do $VO_{2máx}$ em diferentes amostras testadas^{64,65}. Por sua vez, Bruce e colaboradores¹⁶ descreveram equação de predição na qual o $VO_{2máx}$ é uma variável dependente das características físicas anteriores ao teste, tais como: faixa etária, gênero, composição corporal e nível de atividade física. É importante frisar que as

equações de predição propostas por Bruce se diferem das equações estimativas nas quais o $VO_{2m\acute{a}x}$ é dependente de variáveis obtidas no Teste Ergométrico, tais como: velocidade, inclinação, carga, duração do teste e frequência cardíaca atingida. É de uso rotineiro que a predição do $VO_{2m\acute{a}x}$ para normalidade é realizada através de equações que não foram validadas na população brasileira. As mais utilizadas em *softwares* de TCPE no Brasil são a citada por Jones¹¹, a qual é modificada para esteira, e o algoritmo para previsão de $VO_{2m\acute{a}x}$ de Wasserman¹³. As mesmas superestimam o valor do $VO_{2m\acute{a}x}$ predito quando comparadas as medidas diretas realizadas através do TCPE, pois dependem das características físicas de uma determinada população e não foram validas no Brasil. A Equação citada por Jones¹¹ e modificada para o gênero masculino é: $VO_{2m\acute{a}x} \text{ Previsto} = (60,0 - (0,55 \times \text{idade})) \times 1,11$ e para o gênero feminino: $VO_{2m\acute{a}x} \text{ Previsto} = (48,0 - (0,37 \times \text{idade})) \times 1,11$. A Equação de Wasserman e colaboradores¹³ segue o algoritmo abaixo para predição apropriada do $VO_{2m\acute{a}x}$.

Algoritmo de Wasserman

Homens Sedentários:

Fator da bicicleta = $50,72 - 0,372 \times I$ (idade)

Passo 1. Medir o peso (P, kg), altura (H, cm) e a idade (anos)
Passo 2. Calcular o (P) peso (previsto) normal em kg como a seguir P (previsto) normal = $0,79 \times H - 60,7$
Passo 3A. Se o P (peso) real é igual ao P normal: $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto (mL/min) = P real x fator da bicicleta
Passo 3B. Se o P real é menor que o P normal: $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto (mL/min) = (P normal + P real) / 2 x fator da bicicleta
Passo 3C. Se o P real excede o P normal: $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto (mL/min) = (P normal x fator da bicicleta) + 6 x (P real – P normal)
Passo 4. Se uma esteira for utilizada, multiplicar o $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto por 1,11

Mulheres Sedentárias

Fator da bicicleta = $22,78 - 0,17 \times I$ (idade)

Passo 1. Medir o peso (P,kg), altura (H,cm) e a idade (anos)
Passo 2. Calcular o (P) peso (previsto) normal em kg como a seguir P (previsto) normal = $0,65 \times H - 42,8$
Passo 3A. Se o P (peso) real é igual ao P normal: $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto (mL/min) = (P real + 43) x fator da bicicleta
Passo 3B. Se o P real é menor que o P normal: $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto (mL/min) = (P normal + P real + 86) / 2 x fator da bicicleta
Passo 3C. Se o P real excede o P normal: $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto (mL/min) = (P normal + 43) x fator da bicicleta + 6 x (P real – P normal)
Passo 4. Se uma esteira for utilizada, multiplicar o $VO_{2m\acute{a}x}$ previsto por 1,11

1.6 Teste Cardiopulmonar de Exercício

Desde 1929 tem-se tentado medir a capacidade funcional dos indivíduos. No entanto, apesar do $VO_{2m\acute{a}x}$ ser um índice objetivo do grau de esforço realizado, somente a partir de 1955 foi considerado nos protocolos de teste de esforço (quando as técnicas de medidas dos gases tornaram-se disponíveis)¹⁴. Foi em 1964 que Wasserman e colaboradores¹⁹ introduziram o termo limiar anaeróbico e deram continuidade à análise de gases expirados através do TCPE. Para mensurar mais precisamente o $VO_{2m\acute{a}x}$, utiliza-se o TCPE com aumento progressivo da carga, seja em protocolo escalonado ou em rampa. Através desse método propedêutico objetiva-se obter o consumo máximo de oxigênio (até a exaustão)^{11,12,14,61}. Esse tipo de teste de exercício permite que se estude a integração entre os sistemas respiratório, cardiovascular e esquelético⁶². Além de avaliar objetivamente a capacidade funcional, fornece dados para compreensão mais abrangente de respostas clínicas, hemodinâmicas, eletrocardiográficas e, principalmente, ventilatórias ao longo do exercício com aumento progressivo de carga quando comparado com ao Teste Ergométrico convencional. É um método diagnóstico não invasivo que, além de medir a capacidade funcional em indivíduos saudáveis, sedentários e atletas, também é capaz de avaliar o prognóstico de pacientes com insuficiência cardíaca e fazer o diagnóstico diferencial de dispnéia ao esforço. Por essas razões, este método tem sido usado não só em pacientes com baixa capacidade cardiorrespiratória, mas também em indivíduos não condicionados e atletas de diferentes modalidades esportivas^{14,19,61-63,66}.

Considerando que são poucos os centros que dispõem do TCPE, equações de predição do consumo máximo de oxigênio são corriqueiramente empregadas. A equação de Wassermann, por exemplo, pode não ser muito acurada ao ser utilizada em amostras populacionais brasileiras, já que são oriundas de populações com características cardiovasculares, antropométricas e biomecânicas diferentes daquelas observadas na nossa população^{11,12,14,19,61}.

2–RACIONALIZAÇÃO DO ESTUDO

2.1 JUSTIFICATIVA

Tem sido descrito que autores como Jones e Wassermann desenvolveram equações de predição do $VO_{2máx}$ com o objetivo de aproximar os valores obtidos em testes de exercício sem análise dos gases expirados com a medida do consumo máximo de oxigênio observada no TCPE. Cabe salientar que tais equações estimam o $VO_{2máx}$ de maneira menos onerosa por não necessitar de equipamentos específicos, profissionais especializados ou laboratórios mais equipados. Portanto, utilizar equações na prática pode ser mais fácil, pois elas estão amplamente disponíveis. No entanto, considerando a heterogeneidade da população de um determinado local em relação à composição corporal, faixa etária e nível de atividade física, torna-se um desafio desenvolver uma equação acurada o suficiente que vise estimar o consumo máximo de oxigênio. Para tanto, deve-se comparar consumo máximo previsto pela equação com aquele mensurado de forma direta através do TCPE.

Diante do exposto, surge a proposta de se desenvolver uma equação brasileira que demonstre a estimativa do $VO_{2máx}$ na população estudada, ou seja, população brasileira e a compare com aquele medido pelo TCPE. Além disso, comparar o consumo máximo estimado pela fórmula com os consumos previstos e já consagrados pelas equações propostas por Jones e por Wasserman.

2.2 OBJETIVOS

Objetivo primário

Construir e validar uma equação nacional para predição do VO_2 máximo através da faixa etária, gênero, composição corporal e nível de atividade física que se aproxime do medido através do teste cardiopulmonar de exercício (padrão ouro).

Objetivo secundário

Comparar a equação nacional com as equações já validadas na literatura e amplamente utilizadas (Jones modificada e Wassermann).

REFERÊNCIAS

1. Hill DK and Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Quarterly Journal of Medicine*. 1923;16:135-71.
2. Astrand PO. Experimental studies of physical work capacity in relation to sex and age. Copenhagen: Ejnar Munksgaard; 1952.
3. Astrand PO, Rodahl K. Textbook of work physiology. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 1986.
4. Cooper KH. A mean of assessing maximal oxygen uptake. *Journal of the American Medical Association*. 1968;203(3):135-8.
5. Basset DR, Howley JR, Edward T et al. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:591-603.
6. Basset DR and Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:70-84.
7. Noakes TD. Lore of running. 3rd ed. Chanpaing: Human Kinetics; 1991.
8. Midgley AW, McNaughton LR, Polmanand R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake. *Sports Med*. 2007;37(12):1019-28.
9. Denadai BS. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. *Atividade Física e Saúde*. 1995:85-94.
10. Jones NL and Campbell EL. *Clinical Exercise Testing*. Philadelphia: Saunders; 1982.
11. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C et al.. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis*. 1985;131:700-8.
12. Jones NL, Summers E and Killian KJ. Influence of age and stature on exercise during incremental cycle ergometry in men and women. *Am Rev Respir Dis*. 1989;140:1373-80.
13. Neder JA, Nery LE, Castello A et al. Normal values for clinical exercise testing: a prospective and randomized study. *Am J Respir Crit Care Med*. 1988;157:A89.
14. Wasserman K, Hansen JE, Whipp BJ et al *Principles exercise testing and interpretation*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.

15. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
16. Bruce RA, Kusumi F and Hosmer D. Maximal oxygen intake and normographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal*. 1973;85(4):546-62.
17. Balke B and Ware RW. An experimental study of "physical fitness" of Air Force personnel. *US Armed Forces Med J*. 1959;10:675-88.
18. Drinkwater B, Horvath SM and Wells CL. Aerobic power of females, ages 10 to 68. *Gerontology*. 1975;30:385-94.
19. Wasserman K, Hansen JE, Whipp BJ et al. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol*. 1979;46:1039-46.
20. Koch B, Schaper C, Ittermann T et al. Reference values for cardiopulmonary exercise testing in healthy volunteers: the SHIP study. *Eur Respir J* 2009; 33: 389–397.
21. Taylor HL and Buskirk E. Maximal oxygen intake and its relation to body composition, with special reference to chronic physical activity and obesity. *J Appl Physiol*. 1957;11:72-8.
22. Bouchard C, Dionne FT, Simoreau J A et al. Genetics of aerobic and anerobic performances. *Exerc Sport Sci Rev*. 1992;20:27-58.
23. Fahey TD, Oehlsen G, Trieb MI et al. Pubertal stage differences in hormonal and hematological response to maximal exercise in males. *Journal of Applied Physiology*. 1979;46:832-7.
24. Bray MS, Hagberg JM, Pérusse L et al. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006-2007 update. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:35-73.
25. Zhang B, Tanaka H, Shono N et al. The allele of the angiotensin-converting enzyme gene is associated with an increased percentage of slow-twitch type I fibers in human skeletal muscle. *Clin Genet*. 2003;63(2):139-44.
26. Hautala AJ, Leon AS, Skinner JS et al. Peroxisome proliferator-activated receptor-delta polymorphisms are associated with physical performance and plasma lipids: The HERITAGE Family Study. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2007;292(5):H2498-505.

27. Swaminathan VK, Vijayan P and Kuppurao KV. Aerobic capacity and cardiopulmonary response to exercise in healthy south indian children. *Indian Pediatrics*. 1997;34:600-31.
28. Babak A, Roya K and Mohammad G. Peak oxygen uptake of healthy Iranian adolescents. *Arch Med Sci*. 2009;5(1):69-73.
29. Ceaser TG, Fitzhugh EC, Thompson DL et al. Association of physical activity, fitness, and race: NHANES 1999-2004. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45:286-93.
30. Dempsey JA, Hanson PG and Henderson KS. Exercise induced arterial hypoxaemia healthy human subjects at sea level. *Physiol*. 1984;355:161-75.
31. Guyton AC and Hall JE. *Tratado de Fisiologia Médica*. 12nd ed. Elsevier; 2011.
32. Hermansen L and Saltin B. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 1969;26:31-37
33. Ekblom B, Astrand PO, Stemberg J et al. Effect of training on circulatory response to exercise. *J Appl Physiol*. 1968;24(4):518-28.
34. Esposito F, Reese V, Wagner P et al. Isolated quadriceps training increases maximal exercise capacity in chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58:1353-62.
35. Wagner PD. Gas exchange and peripheral diffusion limitation. *Med Sci Sports Exerc*.1992;24(1):54-8.
36. Araújo CG, Mahler DA, Froelicher VF et al. *Manual do ACMS para Teste de Esforço e Prescrição do exercício*. 5th 2000.
37. Saltin B and Strange S. Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Med Sci Sports Exerc*. 1992 Jan;24(1):30-7.
38. Davis JA and Kasch FW. Aerobic and anaerobic differences between maximal running and cycling in middle-aged males. *Aust J Sports Med*. 1975;7:81-4.
39. Magel JR, Foglia GF, McArdle WD et al. Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*. 1975;38:151-5.
40. Stromme SB, Ingjer F, Meen HD et al. Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *Journal of Applied Physiology*. 1977;42:833-7.

41. Whipp BJ and Wasserman K. The bioenergetic and gas exchange basis of exercise testing. *Clin Chest Med.* 1994;15:173-92.
42. Astrand PO and Rodahl K. *Textbook of work physiology.* 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1986.
43. Wasserman K and Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis.* 1975;112:219-49.
44. Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17:22-34.
45. Wasserman K, Stringer WW, Casaburi R et al. Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Z Kardiol.* 1994;83(Suppl 3):1-12.
46. Wasserman K. Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. *Circulation.* 1987;76(6 Pt 2):VI29-39.
47. Whipp BJ, Ward SA and Wasserman K. Ventilatory responses to exercise and their control in man. *Am Rev Respir Dis.* 1984;129(2 Pt 2):S17-S20.
48. Whipp BJ. Ventilatory control during exercise in humans. *Annu Rev Physiol.* 1983;45:393-413.
49. Dempsey JA, Johnson BD and Saupe KW. Adaptations and limitations in the pulmonary system during exercise. *Chest.* 1990;97(3 Suppl):81S-7S.
50. Johnson BD, Reddan WG, Pegelow DF et al. Flow limitation and regulation of functional residual capacity during exercise in a physically active aging population. *Am Rev Respir Dis.* 1991;143(5Pt 1):960-7.
51. Dempsey JA, Harms CA and Ainsworth DM. Respiratory muscle perfusion and energetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:1123-8.
52. Dale DB. Pulmonary response to exercise and training. In: Garret WE. *Exercise and sports science.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000. p. 117-33.
53. William LH, Faha IL and Russell RP. Physical activity and public health updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation.* 2007;39:1423-34.
54. Stein R, Zimmerman L, Ribeiro JP et al. Intrinsic sinus and atrioventricular node electrophysiologic adaptations in endurance athletes. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39:1033-8.

55. Crawford MH, Petru MA and Rabinowitz C. Effect of isotonic exercise training on left ventricular volume during upright exercise. *Circulation* 1985;72: 1237-43
56. Glenny R, Wagner PD, Roca J, Rodriguez-Roisin R. Gas exchange in health: rest, exercise, and aging. In: Roca J, Rodriguez-Roisin R, Wagner PD, editors. *Pulmonary and peripheral gas exchange in health and disease*. New York: Marcel Dekker; 2000. p. 121-48.
57. Rowell LB. *Human cardiovascular control*. New York: Oxford University Press; 1993.
58. Higginbotham MB, Morris KG, Williams RS et al. Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal man. *Circ Res*. 1986;58:281-91.
59. Sullivan MJ, Cobb FR and Higginbotham MB. Stroke volume increases by similar mechanisms during upright exercise in normal men and women. *Am J Cardiol*. 1991;67:1405-12.
60. Poliner LR, Dehmer GJ, Lewis SE et al. Left ventricular performance in normal subjects: a comparison of the responses to exercise in the upright and supine positions. *Circulation*. 1980;62:528-34.
61. Neder JA and Nery LE. *Fisiologia clínica do exercício: teoria e prática*. São Paulo: Artes Médicas, 2002.
62. Neder JA and Nery LE. Teste de Exercício Cardiopulmonar. *J Pneumol* 28(Supl 3) – outubro de 2002
63. Myers J, Buchanan N, Walsh D et al. Comparison of the Ramp Versus Standard Exercise Protocols *JACC* 1991;17:1334-42.
64. Foster C, Crowe AJ et al Daines E. Predicting functional capacity during treadmill testing independent of exercise protocol. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(6):752-6.
65. Peterson MJ, Pieper CF et al Morey MC. Accuracy of VO_{2max} prediction equations in older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(1):145-9.
66. Rondon MU, Forjaz CL, Nunes N et al. Comparação Entre Prescrição de Intensidade de Treinamento Físico Baseado na Avaliação Ergométrica Convencional e na Ergoespirométrica. *Arq Bras Cardiol* 1998; 70(3): 159-166.

ARTIGO ORIGINAL

UMA EQUAÇÃO NACIONAL PARA PREDIÇÃO DO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO

Resumo

Fundamento: As equações que predizem o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) atualmente utilizadas em *softwares* de Teste Cardiopulmonar de Exercício (TCPE) no Brasil não foram adequadamente validadas e as mesmas têm importância fundamental no algoritmo diagnóstico para esse método propedêutico.

Objetivo: Construir e validar uma Equação Nacional para predição do $VO_{2máx}$, comparando-a com a equação citada por Jones e com o algoritmo de Wasserman.

Métodos: Foram avaliados 3.119 indivíduos através de TCPE respiração a respiração em esteira. Destes, 2.495 eram normais e pertenceram ao grupo de construção (GC) da equação e 624, de forma aleatória, foram alocados para o grupo de validação interna (GV). Na Equação Nacional (derivada de modelo de análise multivariada), considerou-se faixa etária, gênero, índice de massa corporal (IMC) e nível de atividade física, sendo a mesma posteriormente testada no GV. Gráficos de dispersão e análise de Bland-Altman foram realizados.

Resultados: No GC, a média de idade foi de 42,6 anos (DP:15), 51,5% eram homens, o IMC médio foi de 27,2 (DP:5), sendo a distribuição quanto ao nível de atividade física: 51,3% sedentários, 44,4% ativos e 4,3% atletas. Observou-se correlação ótima entre a Equação Nacional e o $VO_{2máx}$ mensurado pelo TCPE (0,807). Por outro lado, ocorreu diferença entre o valor médio do $VO_{2máx}$ previsto pelas Equações de Jones e Wasserman e o $VO_{2máx}$ obtido pelo TCPE, assim como na Equação Nacional ($p = 0,001$).

Conclusão: A Equação Nacional apresenta valores do $VO_{2máx}$ próximos do valor medido através do TCPE, enquanto que as Equações de Jones e Wasserman diferem significativamente do $VO_{2máx}$ real. Sendo assim, tais Equações não devem ser empregadas na população nacional devido à sua baixa acurácia.

INTRODUÇÃO

A capacidade máxima de um indivíduo para executar um trabalho aeróbico é definido pelo consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) que é produto do débito cardíaco e diferença arteriovenosa do oxigênio durante o esforço máximo¹. Respostas integradas dos sistemas respiratório, cardiovascular e muscular em exercícios que envolvam grandes grupos musculares aumentam até um limite que define o $VO_{2máx}$ ou condição aeróbica máxima do indivíduo². Vários fatores interferem na determinação do $VO_{2máx}$, tais como: faixa etária, gênero, genética, etnia, composição corporal, nível de atividade usual e tipo de exercício³. O $VO_{2máx}$ fornece importantes informações diagnósticas e prognósticas em diversas situações clínicas. Estudos clássicos com grandes amostras de indivíduos de meia-idade e idosos de diferentes partes do mundo têm repetidamente encontrado que o risco de mortalidade por todas as causas em seguimentos entre 5 a 20 anos pode variar de uma a cinco vezes para os indivíduos dispostos nos quartis ou quintis mais extremos de $VO_{2máx}$.⁴⁻⁹ Na insuficiência cardíaca, o $VO_{2máx}$ é um marcador prognóstico independente importante sendo utilizado para critério de indicação do transplante cardíaco¹⁰⁻¹².

O $VO_{2máx}$ pode ser medido de forma direta através da análise dos gases expirados durante um teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) ou predito-estimado através de equações. Bruce e colaboradores¹³ definem como equação de predição aquela em que o VO_{2max} é uma variável dependente das características físicas pré-teste como gênero, idade, nível de atividade física, peso e altura. Por sua vez, na equação estimativa o $VO_{2máx}$ é dependente das variáveis obtidas de um teste de exercício (teste ergométrico), como velocidade, inclinação, carga, duração e frequência cardíaca. Na predição ou estimativa é importante saber as características estruturais e locais da população em que a equação foi criada ou validada para atingir o $VO_{2máx}$ mais próximo do real consumo^{3,14}. O $VO_{2máx}$ medido diretamente pelo TCPE é comparado ao $VO_{2máx}$ previsto para faixa populacional³. É digno de nota que a predição do $VO_{2máx}$ para normalidade é comumente realizada através de equações que não foram validadas na população brasileira. As duas mais frequentemente utilizadas em *softwares* de TCPE no Brasil são a citada por Jones¹⁵, a qual é modificada para esteira, e o Algoritmo para predição de $VO_{2máx}$ de Wasserman³. Há indicativo observacional¹⁶ de que as mesmas superestimam o valor

do $VO_{2m\acute{a}x}$ predito quando comparadas as medidas diretas realizadas através do TCPE.

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo construir e validar uma Equação Nacional para prever o $VO_{2m\acute{a}x}$, comparando a mesma com as Equações citada por Jones¹⁵ e com o Algoritmo de Wasserman³.

MÉTODOS

População

Foi avaliado um total de 3119 indivíduos que foram encaminhados a uma Clínica Privada da cidade de João Pessoa (Paraíba) para realização de TCPE, no período entre fevereiro de 2007 a janeiro de 2013. Todos os indivíduos eram assintomáticos, não tinham enfermidades diagnosticadas, apresentavam eletrocardiograma normal e assinaram o termo de informação e consentimento para realização do exame. O estudo foi aprovado pela Plataforma Brasil e pelo comitê de ética e pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre tendo sido aprovado sob o número 13-0474. Da população geral 2495 indivíduos compuseram o grupo de construção (GC) da equação e 624 foram extraídos por sorteio para compor o grupo de validação interna (GV). Foram excluídos os exames que não preenchessem os critérios para teste máximo e não houvesse concordância na determinação do $VO_{2m\acute{a}x}$ entre os avaliadores.

TCPE

A aparelhagem utilizada para a mensuração dos gases expirados foi o Metalyzer 3B – CórteX (Leipzig-Alemanha), com medidas a cada respiração, associado ao ErgoPC Elite – (Micromed, Brasília - Brasil). Todos os exames foram precedidos por calibração. Todos os testes foram realizados em esteira ergométrica (Centurion-200 Micromed, Brasília - Brasil), com aplicação de carga crescente em protocolo de rampa, o qual foi ajustado para cada indivíduo, prevendo a conclusão do teste em 8-12 min. Todos os sujeitos receberam orientações prévias sobre a metodologia do TCPE e realizaram teste sintoma-limitado, sendo observados os critérios de maximalidade. Escala de Borg modificada entre 9 e 10, além de um coeficiente respiratório (R) $\geq 1,09$.

Consumo Máximo de Oxigênio

O $VO_{2m\acute{a}x}$ foi determinado pela concordância entre dois especialistas em TCPE, ambos independentes e cegos para o estudo. O $VO_{2m\acute{a}x}$ foi mensurado no ponto mais alto, considerando uma média de 10 segundos ou no platô da curva do pico do esforço³.

Equações Utilizadas para comparação

A equação citada por Jones¹⁵ modificada para esteira: sexo masculino - $VO_{2m\acute{a}x} \text{ Previsto} = (60,0 - (0,55 \times \text{idade})) \times 1,11$; sexo feminino - $VO_{2m\acute{a}x} \text{ Previsto} = (48,0 - (0,37 \times \text{idade})) \times 1,11$.

O algoritmo de Wasserman para previsão do $VO_{2m\acute{a}x}$ em homens e mulheres foi colocado em planilha do *software* Microsoft Excel – Windows 2007 conforme a sequência de condicionais recomendadas³.

Para construção da Equação Nacional utilizamos um modelo de análise multivariada $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon$ para as variáveis gênero, idade, índice de massa corporal (IMC), e nível de atividade física, sendo realizada análise de variância, estimativa da regressão através do método *stepwise*, além de coeficiente de determinação (R^2) individualizado dos fatores para determinar a importância, ordem e percentual de participação das mesmas na construção do modelo para previsão do VO_{2max} . Os valores foram codificados no modelo para o sexo masculino = 1 e feminino = 2. A avaliação do nível de atividade física foi determinado de acordo com as recomendações do ACSM¹⁷ modificado pelos autores sendo assim definidas: a) sedentários são aqueles sujeitos que não praticam nenhum exercício físico regular ou em uma frequência inferior a 3 dias na semana ou que suas atividades diárias ou laborais gerem um gasto energético inferior a 3,2 METs; b) ativo é o sujeito que se exercita de forma regular de 3 a 6 dias na semana há mais de 3 meses ou que suas atividades diárias ou laborais gerem um gasto energético entre 3,2 a 10,2 METs; c) Atleta é o indivíduo que pratica esporte a nível competitivo, com treinamento diário regular acima de 2 horas e que tenha um gasto energético superior a 10,3 METs. Na equação os valores foram codificados para sedentários = 1; ativos = 2; atletas = 3. O modelo assim ficou estabelecido: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon$ onde $Y = VO_{2max}$; β = coeficientes da equação de regressão com variáveis independentes; X_1 = gênero; X_2 = idade; X_3 = IMC; X_4 = atividade física e ε = erro aleatório.

Análise Estatística

Todos os parâmetros foram digitados por um único investigador treinado e independente das coletas, em uma base de dados para posterior análise. A avaliação dos dados se efetuou com o programa estatístico IBM SPSS statistics 19 (IBM Company, EUA). As variáveis contínuas foram descritas com média \pm desvio padrão. Para avaliação das características dos grupos foram utilizadas as medidas descritivas e teste do Qui-Quadrado. Para escolha das variáveis na construção do modelo da equação usamos a análise de variância e a ordem de importância foi obtida através do método *stepwise* para regressão e R^2 de cada variável. Na construção da equação foi utilizado modelo de regressão multivariado e na comparação das suas médias utilizado o teste t-student. As avaliações das equações foram feitas através do Erro Estimativo Padrão (SEE), Erro Total [ET = Raiz quadrada da \sum do $(VO_{2max}$ medido – VO_{2max} predito)² / n], Percentual do Erro Total [%ET = 100 (ET / média VO_{2max} medido)] e a associação pela Correlação Intraclasse (CCI). Para comparação entre as equações foram utilizados o teste t-student emparelhado e teste de Wilcoxon. A correlação e dispersão dos valores previstos das equações foram representadas pelos gráficos de Bland-Altman e de Dispersão. A distribuição dos resíduos positivos e negativos das equações foi apresentada em valores absolutos e percentuais. Para avaliação da validação interna foi utilizado a medida estatística de alpha de Crombach. Considerou-se significativa uma probabilidade de erro $\alpha < 5\%$.

RESULTADOS

A participação das variáveis atividade física (31,70%), idade (26,70%), gênero (23,90%) e IMC (11,10%) foram importantes na determinação do VO_{2max} pela análise de variância ($p < 0,001$) e com grau de importância na ordem decrescente acima colocado. O modelo de regressão multivariado aplicado no GC gerou a Equação Nacional: **$VO_2 = 53,478 + (- 7,518 \times \text{sexo}) + (- 0,254 \times \text{idade}) + (- 0,430 \times \text{IMC}) + (6,132 \times \text{Atividade Física})$** com R^2 de 0,679 e $p < 0,001$.

As características gerais da população do GC e GV (Tabelas 1 e 2) mostram uma média de idade de 42 anos com discreta predominância do sexo masculino, sendo a maioria com sobrepeso, além de predominância de sedentários em ambos os grupos. A Tabela 3 do GC mostra a média e mediana do VO_{2max} previsto pela Equação Nacional bem próximo ao medido pelo TCPE, enquanto a

Equação de Wasserman é mais distante e a citada por Jones superestima os valores do $VO_{2máx}$. Os menores valores do SEE, ET e %ET mostram o melhor desempenho da Equação Nacional em prever o $VO_{2máx}$. Comportamento semelhante pode ser observado na Tabela 4 para o GV. A comparação das médias entre o $VO_{2máx}$ medido e o previsto pela Equação Nacional não mostra diferença estatística com $p = 1,000$ (IC 95% -0,213 a 0,213). Já a Equação de Wasserman apresenta um $p < 0,001$ (IC 95% -3,568 a -3,047) e a citada por Jones evidencia um $p < 0,001$ (IC 95% -9,492 a -8,877), mostrando diferenças significativas. O mesmo comportamento se observa no GV (Tabela 5). A análise de correlação intraclasse mostrou boa relação entre o $VO_{2máx}$ medido e as equações Nacional (0,894), Wasserman (0,846) e Jones (0,766) no GC, com comportamento similar no GV.

O Anexo 1 mostra os gráficos de Bland-Altman e de Dispersão para o $VO_{2máx}$ com melhor concordância e menor dispersão para Equação Nacional comparadas as de Wasserman e a citada por Jones.

Analisou-se o comportamento das equações nos subgrupos conforme a faixa etária (até 20; 21 a 30; 31 a 40; 41 a 50; 51 a 60; 61 a 70; 71 a 80; > 81 anos), sexo (masculino e feminino), IMC (< 18,5 abaixo do peso; 18,5 a 24,9; normal; 25 a 29,9; sobrepeso; 30 a 39,9; obesidade I e II; ≥ 40 obesidade III) e atividade física (sedentário; ativo; atleta) (Tabelas 6 e 7). A Equação Nacional mostrou um melhor desempenho em prever o $VO_{2máx}$ nos subgrupos quando comparada as demais equações.

DISCUSSÃO

A Equação Nacional envolveu faixa etária, gênero, composição corporal e nível de atividade física, sendo capaz de prever o $VO_{2máx}$ com muito boa acurácia quando o consumo máximo previsto comparado ao $VO_{2máx}$ mensurado diretamente através do TCPE.

Ela foi construída a partir de uma amostra de mais de 3000 indivíduos aparentemente saudáveis, com ampla variação de peso, assim como faixa etária, além desta amostra apresentar diferentes níveis de atividade física. Mesmo nesse cenário, a Equação Nacional mostrou-se superior a equações consagradas na literatura internacional, como aquela citada por Jones e conhecida como Jones modificada, assim como foi mais acurada que o Algoritmo de Wasserman.

A determinação de valores do $VO_{2máx}$ previstos é um problema desafiador, principalmente porque diferenças genéticas, étnicas, hábitos, tamanho do corpo e níveis distintos de atividade física de uma população clínica específica podem diferir daquela população em que a equação foi testada^{1,3,14,17-19}. Tanto a equação de predição quanto a equação de estimação podem ser uma superestimativa do real consumo. Aqui se faz necessário a diferenciação entre equação de predição e equação de estimação do $VO_{2máx}$. Na primeira, $VO_{2máx}$ é variável dependente das características físicas pré-teste como faixa etária, gênero, composição corporal, nível de atividade física. Na segunda (de estimação), o $VO_{2máx}$ é dependente das variáveis obtidas durante um teste de exercício baseado em velocidade, inclinação, carga e duração do teste¹⁵. Cabe salientar que tanto a equação citada por Jones¹⁵ quanto o algoritmo de Wasserman³ são equações de predição e que nenhuma delas foi previamente validada no Brasil. Por sinal, um problema real que nossos achados denotam é que a superestimativa dos valores previstos induz a erro sistemático no laudo final do TCPE e este fato deve estar ocorrendo corriqueiramente em nosso país, já que os *softwares* de TCPE comercializados no mercado se utilizam destas equações.

Vários fatores interferem na determinação do $VO_{2máx}$, tais como: idade, sexo, tamanho corporal, nível de atividade usual e tipo de exercício³. Bruce e colaboradores¹³ avaliaram 295 sujeitos normais (138 homens) e usaram análise de regressão múltipla para identificar se gênero, idade, atividade física, peso e altura auxiliavam na previsão do $VO_{2máx}$ durante o exercício na esteira com protocolo escalonado, determinou que gênero e idade eram as variáveis mais importantes seguido de atividade física, peso e altura. Em nosso estudo a importância em seu ordenamento decrescente foi da atividade física, idade, gênero e IMC. A explicação da diferença com o estudo de Bruce¹³ talvez se deva primeiro: pela diferença de protocolos utilizados, onde Myers e colaboradores²⁰ demonstraram que o protocolo de Bruce estima maiores valores de $VO_{2máx}$ quando comparado com o protocolo de rampa individualizado; segundo: pela bem definida caracterização de atividade física quanto ao modo, frequência, duração e intensidade e sua distribuição uniforme nos fatores sexo, idade e IMC no nosso estudo, e terceiro: uma grande população com maior número de indivíduos com características similares ao paciente avaliado, permitindo melhor visualização destas diferenças^{3,14}.

A aplicação da Equação citada por Jones em nossa população apresentou superestimação do $VO_{2m\acute{a}x}$ de 65,4%. É digno de nota que tal achado foi diferente de outras séries de do mesmo autor^{15,16}, nas quais foram avaliados 1071 indivíduos (731 homens) e nos quais a predição de carga máxima demonstrou valores mais próximos da carga medida. Quando tal equação foi avaliada nos extremos da faixa etária e da altura, apenas nas faixas extremas os valores eram diferentes do real consumo. Isto se deve ao fato de tanto a predição quanto a estimativa apresentar maior variação com o envelhecimento^{21,22}. Ainda assim é possível esperar um razoável poder de predição quando a equação foi aplicada na população para qual foi derivada, entretanto, quando analisada em nossa população a superestimativa foi significativa¹⁷.

A comparação com o Algoritmo de Wasserman também mostrou diferenças significativas com a nossa equação, mostrando que o mesmo superestima o $VO_{2m\acute{a}x}$ em 54,9% quando aplicados à nossa população. Isto se deve provavelmente a fatores como as diferenças entre as populações²³⁻²⁵ que originaram as equações. A população de Wasserman é menos sadia e de faixa etária mais elevada. A Nacional, além de ser a população oriunda pelo qual a equação foi derivada, apresenta como medida adicional o nível de atividade física que por ordem de importância representou a variável de maior influência no $VO_{2m\acute{a}x}$ (Tabela 9).

Limitações

O IMC é um parâmetro pouco preciso em relação à constituição corporal, pois não descreve a quantidade de massa magra que é fundamental para o aporte energético. Em relação aos níveis de atividade física é mais restrito compreender o mesmo $VO_{2m\acute{a}x}$ em indivíduos com semelhantes características físicas de faixa etária, gênero, composição corporal, uma vez que são pessoas com constituições diferentes. Em relação à população estudada, há diferentes constituições físicas na população da Paraíba comparada a de outras regiões do país, já que os ascendentes na primeira são descendentes de portugueses e de índios, enquanto em outras áreas do Brasil a descendência é de outra natureza como os estados do sul do país.

Aplicabilidade dos achados

Tentar aproximar o $VO_{2m\acute{a}x}$ medido no TCPE com o predito através da Equação Nacional, pois esta é capaz de descrever características locais,

constitucionais e funcionais de nossa população e, quando comparada a outras equações de utilização corriqueira em nosso meio, apresentou melhor resultado em relação ao $VO_{2m\acute{a}x}$ real.

CONCLUSÃO

A Equação Nacional apresenta valores do $VO_{2m\acute{a}x}$ próximos do valor medido através do TCPE, mostrando-se bastante acurada. Por sua vez, as equações de Jones e Wasserman diferem significativamente do $VO_{2m\acute{a}x}$ real. Sendo assim, tais equações não devem ser empregadas na população brasileira devido a sua baixa acurácia.

REFERÊNCIAS

1. Fleg JL, Piña IL, Balady GJ et al. Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Applications. An advisory from the committee on exercise, rehabilitation, and prevention, council on clinical cardiology, American Heart Association. *Circulation*. 2000; 102: 1591-1597.
2. Araújo CGS, Herdy AH e Stein R. Medida do Consumo Máximo de Oxigênio: Valioso Marcador Biológico na Saúde e na Doença. *Arq Bras Cardiol* 2013;100(4):e51-e53.
3. Wasserman k, Stringer WW, Whipp BJ et al. Principles Exercise Testing and Interpretation, Fourth Edition, 2005. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
4. Kokkinos P, Myers J, Faselis C et al. Exercise capacity and mortality in older men: a 20-year follow-up study. *Circulation*. 2010;122:790-7.
5. Myers J, Prakash M, Froelicher V et al. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*. 2002;346:793-801.
6. Gulati M, Pandey DK, Arnsdorf MF et al. Exercise capacity and the risk of death in women: the St James women Take Heart project. *Circulation*. 2003; 108: 1554-1559.
7. Wei M, Kampert JB, Barlow CE et al. Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal weight, overweight and obese men. *JAMA*. 1999; 282: 1547-1553.
8. Erikssen G, Bodegard J, Bjornholt JV et al. Exercise testing of healthy men in a new perspective: from diagnosis to prognosis. *Eur Heart J*. 2004; 25: 978-986.
9. Mora S, Redberg RF, Cui Y et al. ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-years follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*. 2003; 290: 1600-1607.
10. Exercise and Heart Failure. A Statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention. *Circulation*. 2003; 107: 1210-1225.
11. Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure: full text (update 2005). The Task Force for the diagnosis and treatment of CHF of the European Society of Cardiology.

- 12 ACC/AHA 2005 Guidelines Update for the Diagnosis and Management of Chronic Heart Failure in the Adult – summary Article. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure). *Circulation*. 2005; 112: 1825-1852.
- 13 Bruce R A, Kusumi F and Hosmer D. Maximal oxygen intake and normographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal* 1973;85(4):546-562.
- 14 Myers JN. *Essentials of Cardiopulmonary Exercise Testing*. Champaign, Ill: Human Kinetics 1996.
- 15 Jones NL & Campbell EJM. *Clinical Exercise Testing*. Philadelphia: Saunders, 1982.
- 16 Jones, NL. Influence of age and stature on exercise during incremental cycle ergometry in men and women. *Am Rev Respir Dis*. 1989; 140:1373-1380.
- 17 Almeida AM, Ribeiro JP e Stein R. Equação brasileira de previsão de VO₂ máximo no teste de exercício cardiopulmonar. *Rev DERC* 2011;17(4):122
- 18 ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription - seventh edition 2006 Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia, Pennsylvania.
- 19 Franklin BA. Pitfalls in estimating aerobic capacity from exercise time or work load. *Appl Cardiol*. 1986; 14: 25-26.
- 20 Myers J, Buchanan N, Froelicher VF et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols *J Am Coll Cardiol* 1991;17:1334-1342.
- 21 Foster C, Crowe AJ, Daines E et al. Predicting functional capacity during treadmill testing independent of exercise protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1996; 28(6):752-756.
- 22 Peterson MJ, Pieper CF and Morey MC. Accuracy of VO_{2max} Prediction Equations in Older Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002;
- 23 Rondon MUPB, Forjaz CLM, Nunes N et al. Comparação Entre Prescrição de Intensidade de Treinamento Físico Baseado na Avaliação Ergométrica Convencional e na Ergoespirométrica. *Arq Bras Cardiol* 1998; 70(3): 159-166.

- 24 Greiwe JS, Kaminsky LA, Wharley Mh et al. Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating VO_{2max} . *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27(9):1315-1320.
- 25 Ahmadian H R, Clafani J S, Emmons E E et al Comparison of Predicted Exercise Capacity Equations and the Effect of Actual versus Ideal Body Weight among Subjects Undergoing Cardiopulmonary Exercise Testing. *Cardiology Research and Practice*. 2013

Tabela 1: Características Gerais da população do Grupo de Construção (n = 2.495)

Características		Dados (Média ± DP ou %)	Mínimo	Máximo
Idade (anos)		42,57 ± 15,00	8	90
Sexo	Masculino	1286 (51,5)	-	-
	Feminino	1209 (48,5)	-	-
Peso (kg)		73,71 ± 16,02	37,5	149,5
Altura (m)		1,65 ± 0,10	1,33	2,00
IMC		27,15 ± 5,00	14,53	66,93
Atividade física	Sedentário	1280 (51,3)	-	-
	Ativo	1107 (44,4)	-	-
	Atleta	108 (4,3)	-	-

Tabela 2: Características Gerais da população do Grupo de Validação (n = 624)

Características		Dados (Média ± DP ou %)	Mínimo	Máximo
Idade (anos)		41,28 ± 14,47	11	84
Sexo	Masculino	338 (54,2)	-	-
	Feminino	286 (45,8)	-	-
Peso (kg)		74,10 ± 15,85	36,8	134,7
Altura (m)		1,65 ± 0,10	1,38	1,93
IMC		27,10 ± 5,02	16,20	51,70
Atividade física	Sedentário	318 (51,0)	-	-
	Ativo	278 (44,6)	-	-
	Atleta	28 (4,5)	-	-

Tabela 3: Valores das medidas estatísticas das equações no GC

Medidas estatísticas	VO₂ Medido	Nacional	Jones	Wasserman
Média	29,22	29,22	38,41	32,53
Mediana	27,95	29,30	38,52	31,93
Desvio padrão	9,57	7,88	8,39	8,54
IC 95%	28,85 a	28,92 a	38,08 a	32,20 a
	29,60	29,54	38,74	32,87
SEE	-	4,46	6,54	5,77
ET		5,38	12,07	7,41
%ET		18,43	41,30	25,36

SEE = estimativa do erro padrão; ET= erro total; %ET = percentual do erro total; valores do VO₂ expressos em mL.kg⁻¹.min⁻¹.

Tabela 4: Valores das medidas estatísticas das equações no GV

Medidas estatísticas	VO₂ Medido	Nacional	Jones	Wasserman
Média	29,92	29,80	39,23	33,25
Mediana	28,02	29,66	39,73	32,65
Desvio padrão	9,82	7,87	8,27	8,59
IC 95%	29,15 a	29,18 a	38,58 a	32,58 a
	30,69	30,41	39,88	33,93
SEE		4,32	6,44	5,89
ET		5,40	12,23	7,64
%ET		18,05	40,87	25,55

SEE = estimativa do erro padrão; ET= erro total; %ET = percentual do erro total; valores do VO₂ expressos em mL.kg⁻¹.min⁻¹.

Tabela 5: Comparação $VO_{2\text{ máx}}$ medido e o previsto pelas equações no GV

Comparação	IC 95%	Valor p
VO_2 x Nacional	-0,302 a 0,547	0,571
VO_2 x Wasserman	-3,877 a -2,794	0,001
VO_2 x Jones	-9,937 a -8,690	0,001

Anexos 1 – Bland-Altman e Gráfico de Dispersão dos valores previstos das Equações Nacional, Wasserman e Jones

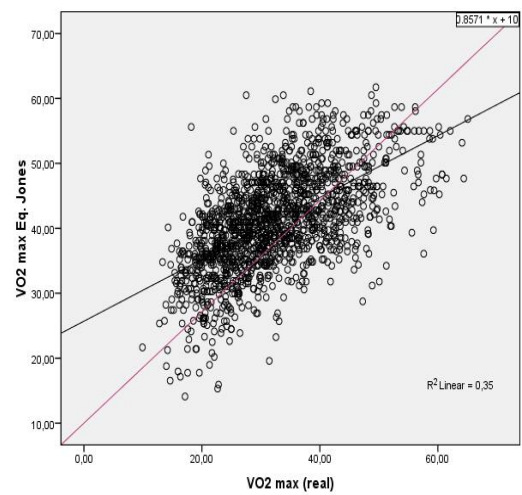
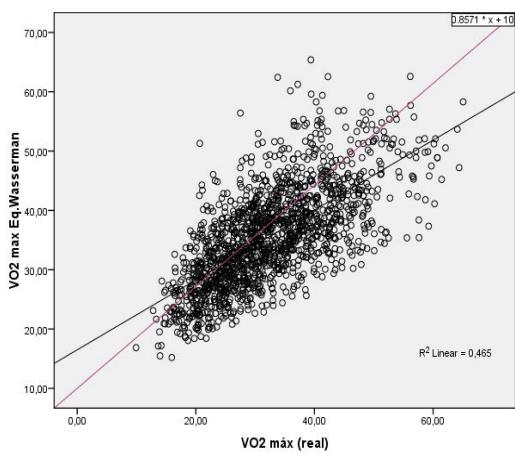
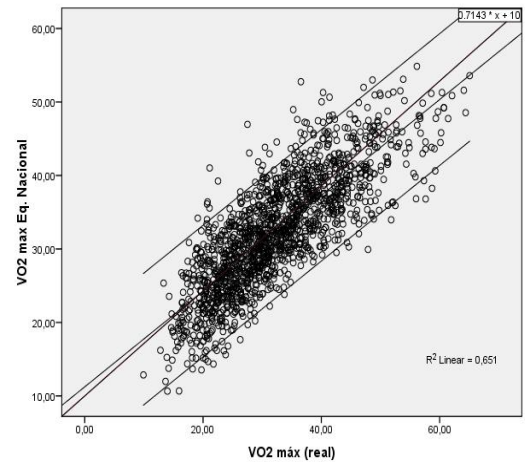
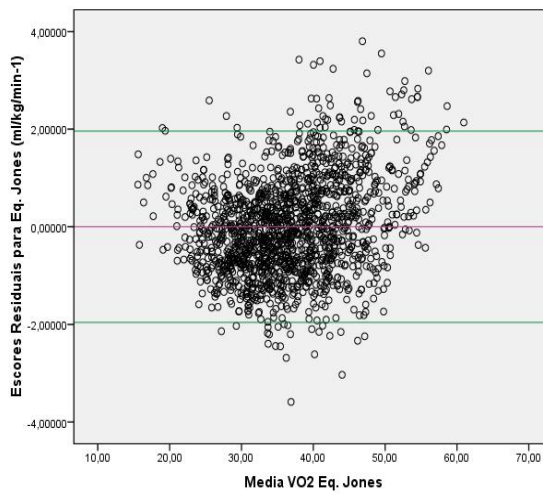
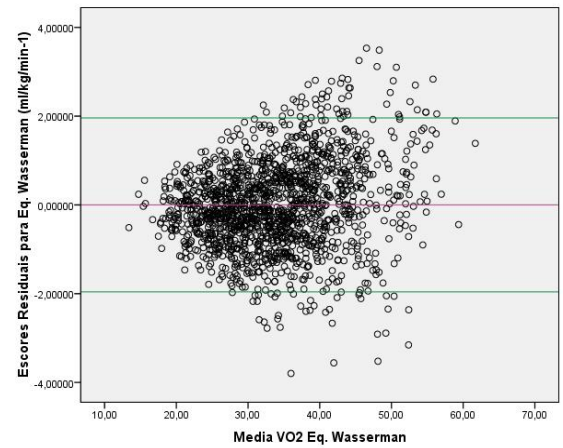
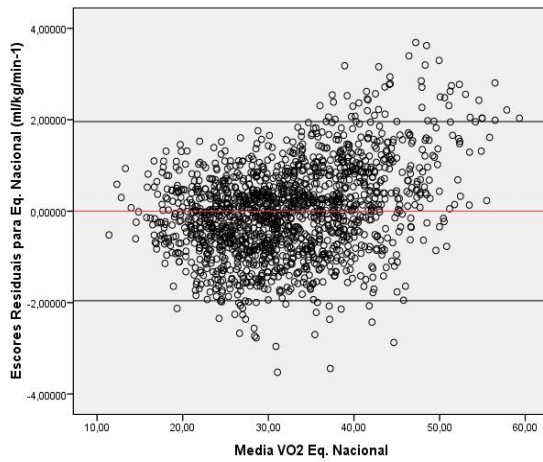


Tabela 6: Distribuição do SEE, ET e % ET das Equações nos sub-grupos: faixa etária, sexo, IMC e atividade física – Grupo de Construção

SUB-GRUPO	Variável (n)	NACIONAL			WASSERMAN			JONES		
		SEE	ET	%ET	SEE	ET	%ET	SEE	ET	%ET
Faixa Etária	Até 20 (144)	4,43	6,90	18,27	6,73	11,81	31,26	4,49	17,22	45,59
	21 a 30 (422)	3,89	5,38	15,83	5,55	8,82	25,94	3,75	14,90	43,82
	31 a 40 (638)	3,94	5,77	17,96	4,81	7,57	23,59	3,04	12,76	39,75
	41 a 50 (557)	3,91	5,42	18,85	4,23	6,77	23,56	2,39	11,10	38,63
	51 a 60 (388)	3,78	4,36	17,83	3,68	5,56	22,75	1,74	9,53	39,00
	61 a 70 (238)	4,58	5,13	23,61	3,42	5,38	24,74	1,94	24,13	110,9
	71 a 80 (91)	4,97	5,18	28,01	3,49	5,45	29,48	2,35	39,01	210,8
	>81 (17)	4,59	5,28	32,11	2,89	4,37	26,56	1,73	90,27	548,7
Sexo	Masc (1286)	4,14	5,93	17,59	5,79	7,87	23,34	7,51	10,37	30,78
	Fem (1209)	4,07	4,81	19,69	4,97	6,89	28,20	5,21	10,70	43,82
IMC	Baixo peso (40)	3,79	4,61	14,23	6,69	15,53	47,95	6,61	13,04	40,30
	Normal (870)	4,48	6,28	19,41	6,24	8,86	27,39	6,70	11,10	34,30
	Sobrepeso (991)	4,23	5,03	17,35	4,92	6,55	22,55	6,22	11,09	38,22
	Obesidade I (506)	4,11	4,57	18,14	3,87	5,23	20,76	6,02	13,67	54,29
	Obesidade II (71)	4,41	4,74	21,11	3,75	5,31	23,67	5,86	18,45	82,17
	Obesidade III (17)	6,17	6,54	32,55	3,94	6,23	31,05	6,79	90,27	449,3
Atividade Física	Sedentária (1280)	3,83	4,46	18,03	5,29	7,76	31,39	6,18	10,40	56,11
	Ativo (1107)	3,86	6,12	18,75	5,76	6,65	20,35	6,38	9,91	30,33
	Atleta (108)	4,30	7,60	23,27	6,87	10,05	30,78	6,84	8,72	26,71

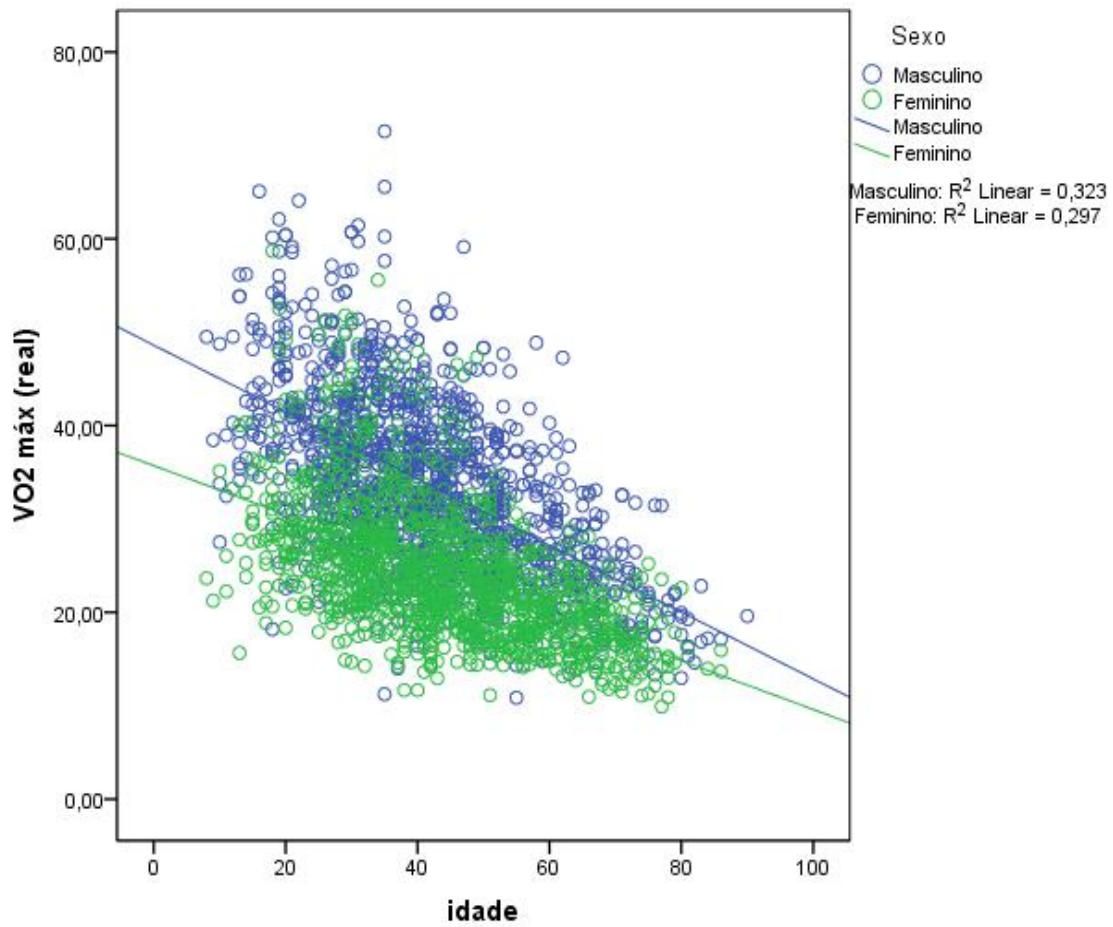
SEE = estimativa do erro padrão, ET= erro total, valores expressos em mL.kg⁻¹.min⁻¹.

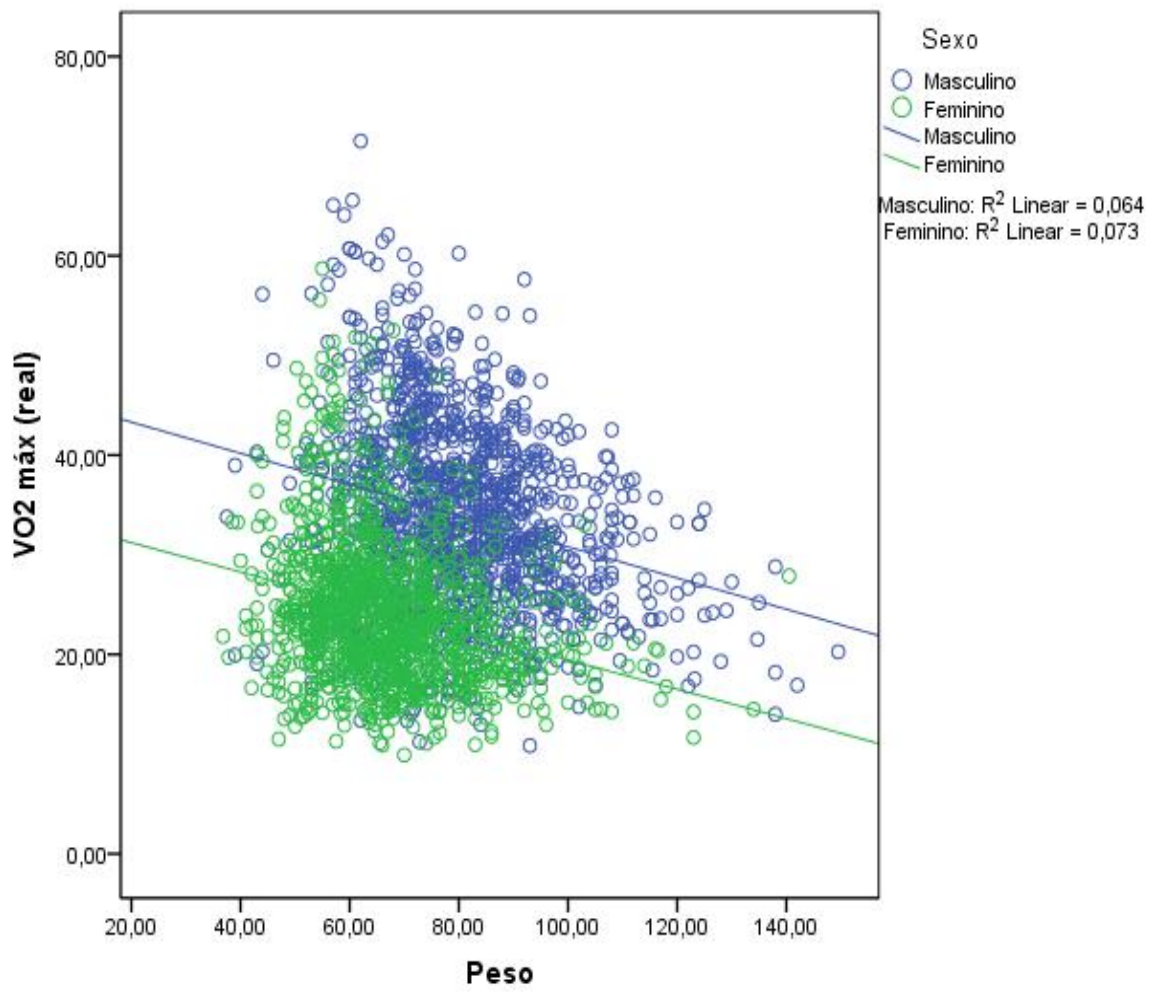
Tabela 7: Distribuição do SEE, ET e % ET das Equações nos sub-grupos: faixa etária, sexo, IMC e atividade física – Grupo de Validação

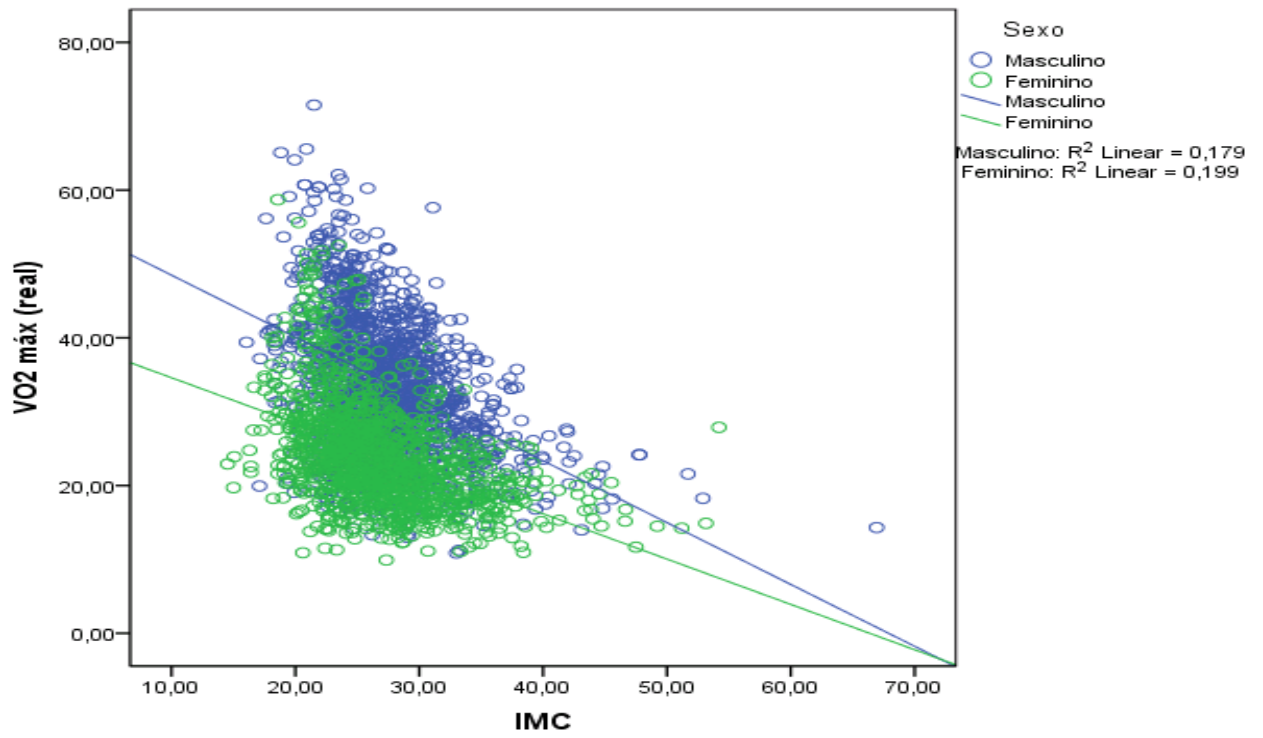
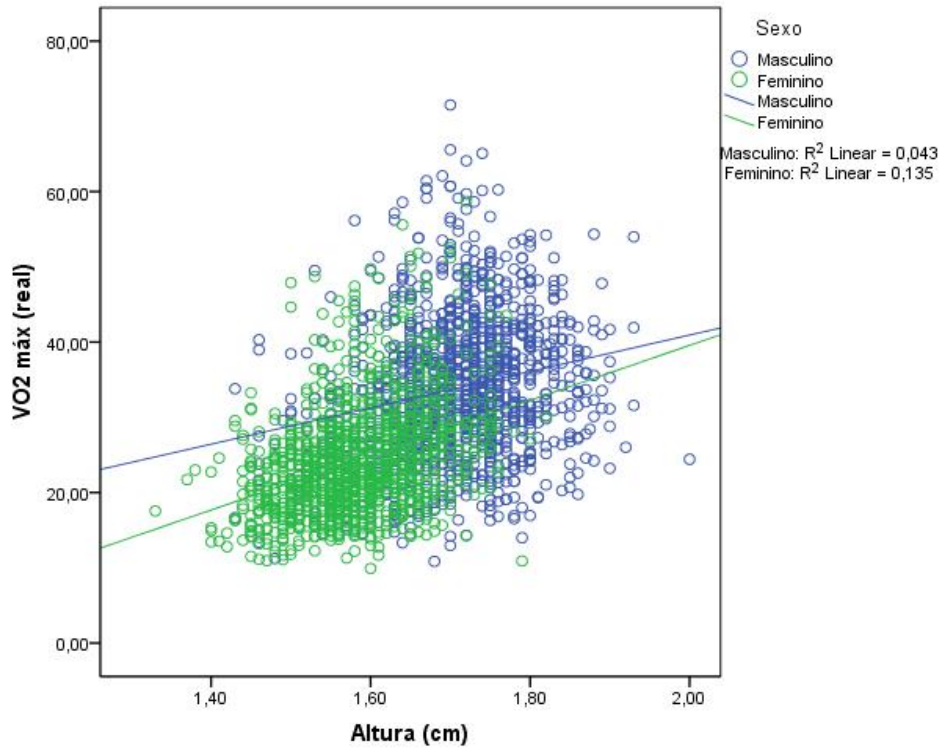
SUB-GRUPO	Variável (n)	NACIONAL			WASSERMAN			JONES		
		SEE	ET	%ET	SEE	ET	%ET	SEE	ET	%ET
Faixa Etária	Até 20 (43)	4,06	6,97	17,74	6,12	11,13	28,31	3,48	15,30	38,91
	21 a 30 (108)	4,26	6,07	17,47	6,07	9,07	26,08	4,31	15,06	43,30
	31 a 40 (166)	3,72	5,83	18,09	4,70	7,99	24,80	2,95	13,22	41,03
	41 a 50 (156)	3,48	4,54	16,40	4,31	6,52	23,52	2,33	11,36	40,99
	51 a 60 (83)	3,94	4,79	18,41	4,23	6,22	23,89	1,87	8,65	33,24
	61 a 70 (42)	4,11	4,26	20,36	3,53	5,62	26,90	2,21	7,60	36,36
	71 a 80 (24)	4,84	4,86	23,22	3,23	4,25	20,32	1,68	5,95	28,47
>81 (02)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sexo	Masc (338)	4,12	6,05	17,56	5,68	7,97	23,12	7,23	11,77	34,18
	Fem (286)	3,89	4,51	18,38	5,39	7,25	29,52	5,23	12,74	51,90
IMC	Baixo peso (09)	4,25	5,18	16,00	4,94	14,97	46,20	4,30	12,97	40,03
	Normal (219)	4,11	6,15	18,63	6,06	9,30	28,13	6,75	11,54	34,92
	Sobrepeso (253)	4,02	4,99	16,69	5,12	6,68	22,33	6,16	11,22	37,48
	Obesidade I (119)	4,33	4,82	19,06	4,20	5,53	21,91	5,79	13,76	54,47
	Obesidade II (20)	4,80	5,19	21,87	3,70	4,76	20,06	6,99	17,34	73,05
	Obesidade III (04)	2,31	3,18	15,70	3,06	5,40	26,60	3,63	23,59	116,1
Atividade Física	Sedentária (318)	3,91	4,51	18,06	5,52	8,37	33,52	6,16	14,37	57,60
	Ativo (278)	3,84	5,87	17,48	5,88	6,43	19,15	6,14	9,48	28,23
	Atleta (28)	3,98	8,78	26,14	6,32	9,84	29,29	7,16	9,65	28,72

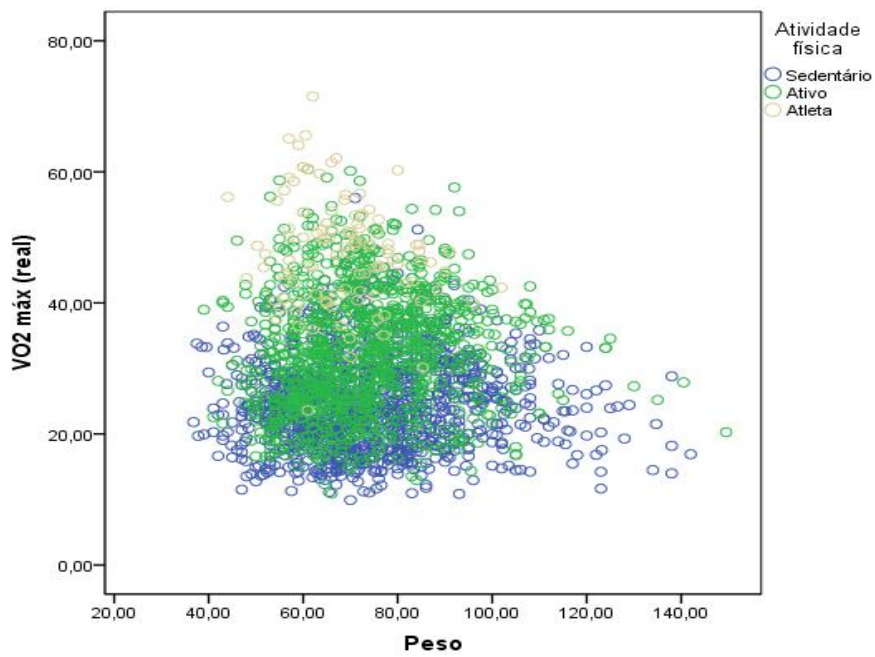
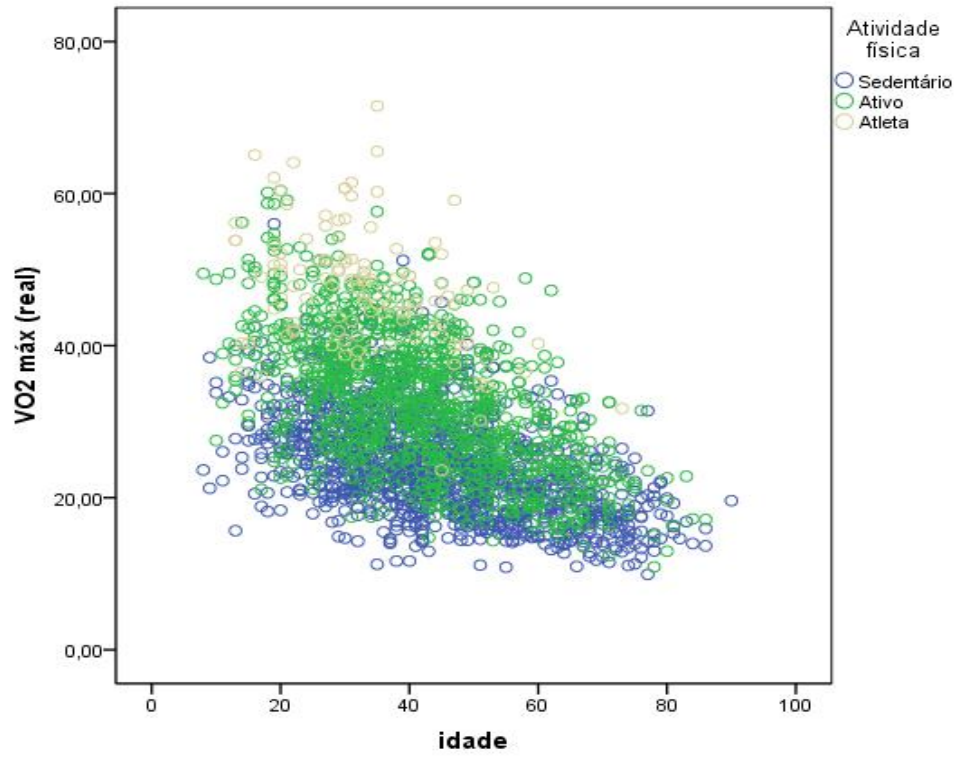
SEE = estimativa do erro padrão, ET= erro total, valores expressos em mL.kg⁻¹.min⁻¹.

Anexo 2- Relação do Consumo de Oxigênio Máximo com Faixa Etária, Gênero, Peso, Altura e Nível de Atividade









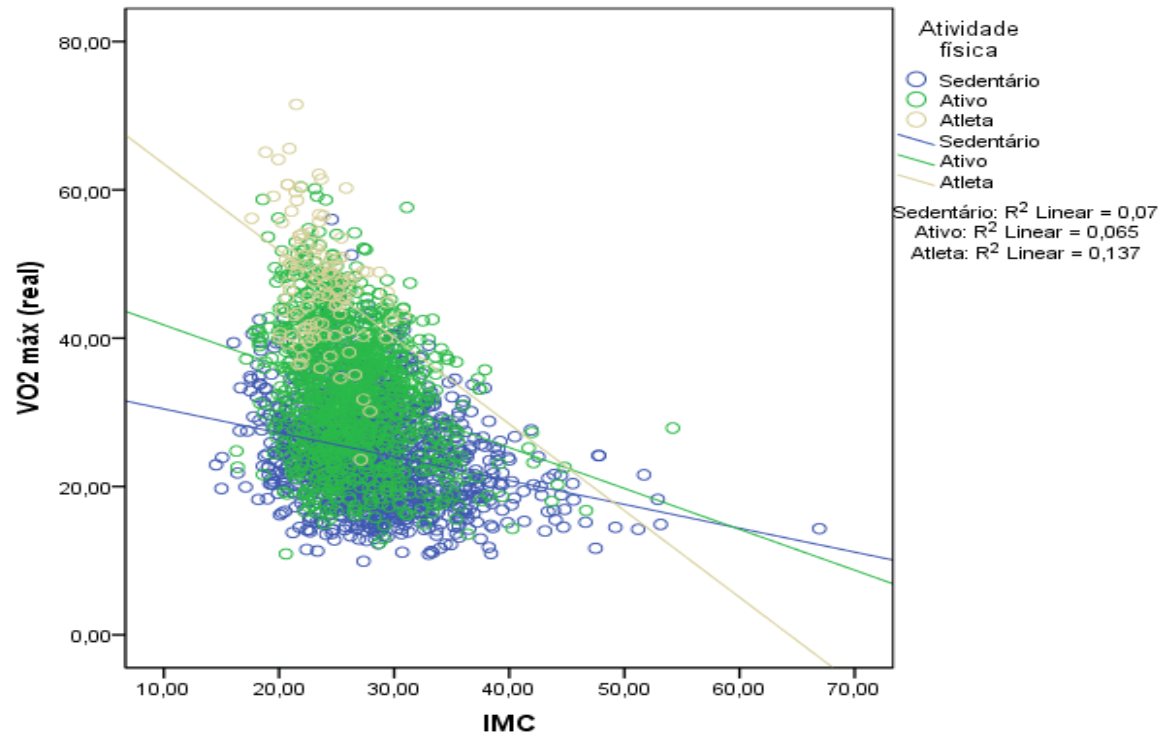
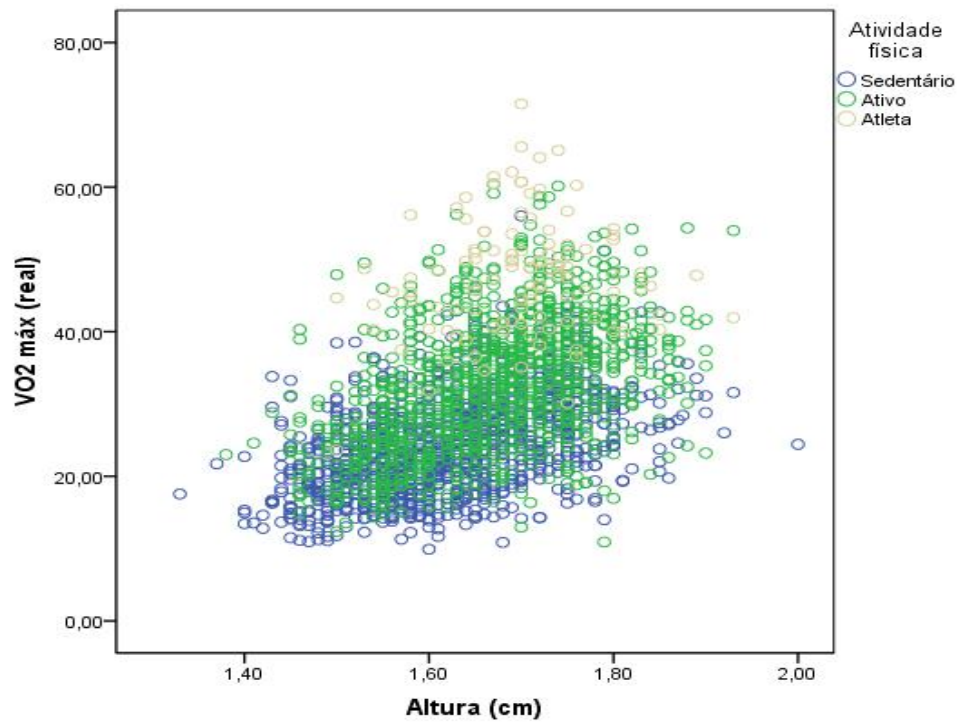


Tabela 8- Classificação de Atividade Física em relação ao Colégio Americano de Medicina do Esporte

Classificação de atividade física	
Sedentário	Aqueles que não desenvolveram nenhum exercício físico regular ou inferior a 3 dias na semana ou que suas atividades diárias ou laborais sejam < 3,2 MET.
Ativo	Aqueles que praticam exercícios físicos regulares de 3 a 6 dias semanais há mais de 3 meses ou que suas atividades diárias ou laborais sejam entre 3,2 a 10,2 MET.
Atleta	Indivíduos que praticam esporte a nível competitivo com treinamento diário regular acima de 2 horas com carga > 10,3 MET.

MET: necessidade de oxigênio para manter um adulto acordado em repouso 3,5ml/Kg/min de massa corporal

Tabela 9 – Lista de Equações

Equações	
Bruce	$VO_{2m\acute{a}x} = 6,70 - 2,82 (\text{g\^e}n\text{e}r\text{o} [\text{masc}=1, \text{fem}=2]) + 0,056 (\text{tempo em seg})$
ACMS	$VO_{2m\acute{a}x} = 0,1 \times \text{velocidade (em m/minuto)} + 1,8 \times \text{velocidade} \times \text{inclina\c{c}\~{a}o} + 3,5$
Foster (Com suporte de m\~{a}os)	$VO_{2m\acute{a}x} = 0,694 \times (\text{ACSM}) + 3,33$
Foster (Sem suporte de m\~{a}os)	$VO_{2m\acute{a}x} = 0,864 \times VO_2 (\text{ACSM}) - 0,07$
Jones Modificada	1 $VO_{2m\acute{a}x} \text{ Previsto} = (60,0 - (0,55 \times \text{idade})) \times 1,11.$ 2 $VO_{2m\acute{a}x} \text{ Previsto} = (48,0 - (0,37 \times \text{idade})) \times 1,11.$
Wasserman	$VO_{2m\acute{a}x} = 5,8 \times \text{Peso} + 151 + 10,1 \times \text{Watts}$
Nacional	$VO_{2m\acute{a}x} = 53,478 + (- 7,518 \times \text{g\^e}n\text{e}r\text{o}) + (- 0,254 \times \text{idade}) + (- 0,430 \times \text{IMC}) + (6,132 \times \text{Atividade F\^{\i}sica})$

g\^e}n\text{e}r\text{o} masculino= 1 , g\^e}n\text{e}r\text{o} feminino= 2 , seg= segundos

