

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO**

**HUMANO**

**EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE  
OXIGÊNIO E LIMIARES VENTILATÓRIOS DE JOGADORES DE FUTEBOL**

**GIOVANI DOS SANTOS CUNHA**

**Porto Alegre, março 2007.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO**  
**HUMANO**

**EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE  
OXIGÊNIO E LIMIARES VENTILATÓRIOS DE JOGADORES DE FUTEBOL**

**GIOVANI DOS SANTOS CUNHA**

**Orientador**

**Dr. ALVARO REISCHAK DE OLIVEIRA**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Escola de Educação Física, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre.**

**Porto Alegre, março 2007.**

*Quando caminhares, leva contigo flores  
para poderes distribuir aos passantes.*

*Flores de amor, flores de carinho, flores de  
perdão, flores de gratidão.*

*E então, talvez, cubras com pétalas de flores  
o teu próprio caminho, perfumando-o com  
**Amor...***

*Luz e Paz*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a UFRGS, ao Programa Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano e a todos os professores que contribuíram para a realização deste trabalho, através de seus ensinamentos.

Agradeço aos meus pais, Ely Roberto Vaucher Cunha (*in memoriam*) e Jacira dos Santos Cunha pela educação, amor e amizade. Agradeço de forma especial a minha mãe pelo apoio e respeito incondicional a todas as minhas decisões. Gostaria de agradecer aos meus avós José Alves dos Santos (*in memoriam*) e Celina Santos e ao meu irmão Silvio Cunha pelo amor e amizade.

Agradeço de forma especial ao meu orientador Prof. Alvaro Reischak de Oliveira pela oportunidade, amizade, confiança e principalmente por ser um exemplo de seriedade e competência.

Agradeço ao Prof. Adroaldo Gaya pela a oportunidade de trabalhar em conjunto com seu grupo de pesquisa PROESP-BR, onde novas amizades foram feitas e por suas sugestões na qualificação deste trabalho.

Agradeço a Prof<sup>a</sup> Flávia Meyer pelas suas sugestões na qualificação deste trabalho e por sua contribuição na elaboração de artigos.

Agradeço ao Prof. Marco Vaz pelos seus ensinamentos e principalmente pelo seu incentivo aos alunos na busca pelo conhecimento.

Gostaria de agradecer aos colegas do PPGCMH, principalmente aos do grupo GEFEX, como Jerri, Rafael, Estrela, Caroline, Cláudia, Katiuce, Cíntia, Ana e Orlando. Aos demais colegas do programa como Everton, Carol, Lets, Fábio, Gustavo, Thiago, Dourado, Daniel, Fernandão, Aline, Bini, Carpes, Flavio e Cristine.

Agradeço aos colegas Katiuce, Max, André, Gustavo e Dourado no seu auxílio na coleta de dados e ao colega Thiago Lorenzi no seu auxílio no tratamento estatístico.

Gostaria de agradecer ao Sport Club Internacional (Campeão do Mundo FIFA) e aos seus atletas por terem sido essenciais para a elaboração deste trabalho. Agradecendo de forma especial aos colegas Felipe Célia e Hilário Júnior.

É importante agradecer a todos os funcionários do PPGCMH e LAPEX pela assessoria prestada a nós alunos. Em especial ao André e Ana (Secretaria PPGCMH) e ao Luciano, Alex, Luis, Marcinha, Rosângela e Carla (Secretaria LAPEX).

Embora à distância e o tempo nos separem, é impossível esquecer os amigos de infância como Felipe, Rogério e Maurício. E aos amigos Ronei, Marcos, Nina, Zeca, Marcelo, Celso, Nitaele, Bruno, Tatiane, Rogério, Daiane, Pudim, Flavio, Alexandre e Hélio.

Gostaria de agradecer a minha namorada Evelise Assumpção pelo carinho e compreensão.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa de pesquisa, ao CENESP pelo treinamento e bolsa de avaliações que em muito contribuíram para a minha formação e ao LAPEX pela infra-estrutura para a realização deste trabalho.

Enfim, agradeço do fundo do coração a todas as pessoas e grupos citados, bem como aquelas que por acaso eu tenha esquecido de citar.

Muito Obrigado!

**Sumário**

Lista de Abreviaturas e Siglas.....	vii
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Resumo.....	x
Abstract.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	4
2.1 Objetivos Específicos.....	4
3. HIPÓTESES.....	5
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
4.1 Influência da Maturação Biológica sobre o $VO_2$ .....	6
4.2 Respostas Metabólicas ao Exercício em Crianças e Adolescentes.....	12
4.3 Metabolismo Aeróbio.....	14
4.4 Demandas Físicas do Futebol.....	16
4.4.1 Intensidade do Jogo.....	19
4.5 Perfil Fisiológico do Futebol.....	21
4.5.1 Potência Aeróbia Máxima de Jogadores Jovens e Adultos.....	21
4.5.2 Períodos Anaeróbios no Futebol.....	22
5. MÉTODOS E MATERIAIS.....	24
5.1 Delineamento da Pesquisa.....	24

5.1.1	Aspectos Éticos.....	24
5.2	Amostra.....	24
5.2.1	Critérios de Inclusão.....	25
5.2.2	Critérios de Exclusão.....	25
5.3	Instrumentos de Medida.....	25
5.3.1	Esteira Ergométrica.....	25
5.3.2	Ergoespirômetro.....	26
5.3.3	Máscara .....	27
5.3.4	Termômetro, Barômetro e Hidrômetro.....	27
5.3.5	Frequencímetro.....	27
5.3.6	Balança e Estadiômetro.....	28
5.3.7	Ficha Coleta de Dados.....	28
5.4	Variáveis.....	29
5.4.1	Variável Independente.....	29
5.4.2	Variáveis Dependentes.....	29
5.4.3	Variáveis de Controle.....	29
5.4.4	Variáveis de Caracterização da Amostra.....	29
5.5	Definição Operacional das Variáveis.....	30
5.5.1	Maturação Biológica.....	30
5.5.2	Consumo de Oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) e Limiares Ventilatórios ( $LV_1$ e $LV_2$ ).....	30
5.5.3	Consumo de Oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) Alométrico.....	30

5.5.4	Frequência Cardíaca.....	30
5.5.5	Velocidade de Corrida.....	30
5.6	Procedimento de Coleta de dados.....	31
5.7	Análise Estatística.....	32
6.	RESULTADOS.....	33
7.	DISCUSSÃO.....	41
7.1	Consumo Máximo de Oxigênio em Jogadores de Futebol.....	41
7.2	Limiar Anaeróbio em Jogadores de Futebol.....	48
7.3	VO <sub>2máx</sub> , Limiar Anaeróbio e Maturação Biológica – Perspectivas para o Futebol.....	55
8.	CONCLUSÕES.....	60
8.1	Limitações do Estudo.....	61
8.2	Sugestões para Novos Estudos.....	62
	REFERENCIAS.....	63
	ANEXOS.....	76



## Lista de Abreviaturas e Símbolos

AK	Adenilato Quinase
ATP	Trifosfato de Adenosina
CK	Creatina Quinase
CPT	Carnitina Palmitoiltransferase
FC	Frequência Cardíaca
FC <sub>máx</sub>	Frequência Cardíaca Máxima
FSH	Hormônio Folículo Estimulante
GH	Hormônio do Crescimento
GnRH	Hormônio Liberador da Gonodotrofina
H <sup>+</sup>	Hidrogênio
HES	Hormônio Esteróides Sexuais (Testosterona, Estradiol e Progesterona)
IGFs	Fator de Crescimento Similar a Insulina
LAN	Limiar Anaeróbio
LDH	Lactato Desidrogenase
LV <sub>1</sub>	Limiar Ventilatório 1
LV <sub>2</sub>	Limiar Ventilatório 2
OGDH	2-oxaglutarato desidrogenase
PCr	Fosfocreatina
PFK	Fosfofrutoquinase-1
PHV	Velocidade Máxima de Incremento da Estatura
P	Púbere
Pp	Pré-Púbere
PP	Pós-Púbere
PVVO <sub>2pico</sub>	Velocidade Máxima de Incremento do VO <sub>2pico</sub>
PWH	Velocidade Máxima do Incremento do Peso
RER	Taxa de Troca Respiratória
RER <sub>máx</sub>	Taxa de Troca Respiratória Máxima
RQ	Quociente Respiratório
s	Segundos
VCO <sub>2</sub>	Volume de Dióxido de Carbono
Vel	Velocidade de corrida
Vel <sub>máx</sub>	Velocidade máxima de corrida
VO <sub>2máx</sub>	Consumo máximo de oxigênio
VO <sub>2pico</sub>	Pico de Consumo de Oxigênio

**Lista de Figuras**

Figura 1	$VO_{2m\acute{a}x}$ , $LV_1$ e $LV_2$ na forma absoluta em jogadores de futebol.....	37
Figura 2	$VO_{2m\acute{a}x}$ , $LV_1$ e $LV_2$ na forma relativa em jogadores de futebol.....	37
Figura 3	$VO_{2m\acute{a}x}$ , $LV_1$ e $LV_2$ na forma alométrica em jogadores de futebol.....	38

**Lista de Tabelas**

Tabela 1	Características Antropométricas e Tempo de Treino de Jogadores de Futebol Divididos pelo Estágio Maturacional.....	35
Tabela 2	Perfil Fisiológico dos Jogadores Divididos pelo Estágio Maturacional....	36
Tabela 3	Correlação do $VO_{2máx}$ com as Variáveis Explicativas em Jogadores de Futebol.....	38
Tabela 4	Correlação do $LV_1$ com as Variáveis Explicativas em Jogadores de Futebol.....	39
Tabela 5	Correlação do $LV_2$ com as Variáveis Explicativas em Jogadores de Futebol.....	39
Tabela 6	Variáveis Explicativas para o $VO_{2máx}$ , $LV_1$ e $LV_2$ (formas absoluta, relativa e alométrica) em Jovens Jogadores de Futebol baseado na análise de Regressão Linear Múltipla.....	40

## Resumo

O objetivo do estudo foi verificar o efeito da maturação biológica sobre o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) e limiares ventilatórios ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) em jovens jogadores de futebol. A amostra foi composta de 122 atletas, divididos em 3 grupos, pré-púbere (Pp), púbere (P) e pós-púbere (PP) de acordo com os critérios de Tanner. O  $VO_{2máx}$ ,  $LV_1$  e  $LV_2$  foram determinados através de teste de esforço máximo juntamente com ergoespirometria, sendo estes expressos nas formas absoluta, relativa e alométrica.

Os dados foram expressos por média e desvio padrão, as diferenças entre os grupos foram verificadas através da análise de variância One-Way (ANOVA) e utilizamos a Análise de Regressão Linear Múltipla para estimar a contribuição das variáveis explicativas. O nível de significância foi  $p < 0,05$  e todo o tratamento estatístico foi realizado no programa SPSS *for Windows* 10.0.

Foram encontradas diferenças significativas no  $VO_2$  absoluto entre os grupos no  $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $VO_{2máx}$ . O  $VO_{2máx}$  relativo não apresentou diferenças significativas entre os grupos no  $LV_1$  e  $VO_{2máx}$ , mas apresentou diferenças no  $LV_2$  em favor dos grupos PP e P em relação ao grupo Pp. O  $VO_2$  alométrico apresentou diferenças significativas entre os grupos, o  $LV_1$  e  $LV_2$  apresentaram diferenças em favor dos grupos P e PP em relação ao grupo Pp. As principais variáveis explicativas para o  $VO_{2máx}$  absoluto, relativo e alométrico eram a massa corporal e maturação biológica em 82,8%, maturação biológica e massa corporal em 7,5% e maturação biológica em 34,1% respectivamente. A massa corporal era a principal variável explicativa para  $LV_1$  absoluto 71,8% e  $LV_1$  alométrico em 18,4%. A massa corporal e a maturação biológica explicavam em 84,5% e 6,6% o  $LV_2$  absoluto e relativo respectivamente, a maturação biológica explicava o  $LV_2$  alométrico em 32,2%.

Concluimos que a maturação biológica tem um claro efeito sobre o  $VO_{2máx}$  expresso nas formas absoluta e alométrica. A expressão relativa parece não ajustar adequadamente o efeito da massa corporal em jovens jogadores de futebol, obscurecendo os efeitos da maturação biológica sobre o  $VO_{2máx}$ . A maturação biológica demonstra um claro efeito sobre o  $LV_2$  em todas as formas de expressão e não demonstra efeito sobre o  $LV_1$ . A maturação biológica torna-se um componente importante no processo de detecção de talentos e no controle do treinamento esportivo, sendo o período de transição da pré-puberdade para a puberdade sensível ao desenvolvimento da potência aeróbia.

## Abstract

The present investigation evaluated the effect the biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds of young soccer players. One hundred and twenty two male amateur athletes were separated according to Tanner's maturation stage into three groups, prepubescent (Pp), pubescent (P) and postpubescent (PP).  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$ ,  $VT_1$  e  $VT_2$  were determined through a maximal-effort test with direct analysis of expired gases. Values obtained in the test were expressed as absolute (l/min), relative to body mass ( $\text{ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ ) and allometric ( $\text{ml.kg}^{-0,75}\text{.min}^{-1}$ ).

All data were expressed as mean and standard deviation. Differences between groups were determined using ANOVA One-way. Multiple linear regression was used to estimate relative contribution of each independent variable. Significance was set at  $p < 0,05$ . The statistical package used was SPSS for Windows, version 10.0.

Absolute form the values were statistically significant between groups in  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$ ,  $LV_1$  and  $LV_2$ . Values relative to body mass didn't present significant differences between groups  $VT_1$  and  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$ . However, it did showed differences in  $LV_2$  between PP and P groups with Pp group.

Allometric  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$  showed significant differences between groups, particularly when comparing P and PP groups with Pp group considering  $VT_1$  and  $VT_2$ . Main variables explaining absolute, relative and allometric  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$  were body mass and biological maturation (82,8%), body mass and biological maturation (7,5%) and biological maturation (32,2%), respectively. Body mass was the main variable explaining absolute  $VT_1$  (71,8%) and allometric  $VT_1$  (18,4%). Body mass and biological maturation explained 84,5% and 6,6% of absolute and relative  $VT_2$ , respectively. Biological maturation explained allometric  $VT_2$  in 32,2%.

We concluded that biological maturation has an effect upon absolute and allometric  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$ . However, relative  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$  seems not to adjust appropriately the body mass impact on  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$  in young soccer players, making difficult to understand biological maturation effect on  $VO_{2\text{m}\acute{a}\text{x}}$ . Biological maturation has an effect upon  $VT_2$  in any way it's expressed, while doesn't show effect on  $VT_1$ . Biological maturation has become an important factor in talent detection and in sports training planning. Also, it seems that prepubertal transition to puberty is the most sensible period for aerobic capacity development.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma limitação de estudos sobre os efeitos do exercício físico e do treinamento sobre o metabolismo das crianças e adolescentes<sup>4, 7, 9, 10, 38, 43, 48, 57, 59, 74, 84, 89</sup>. Mais especificamente no futebol, que é um dos esportes mais populares do mundo<sup>53</sup>, praticado por homens, mulheres e crianças com diferentes níveis de desempenho<sup>15</sup>. A maioria dos estudos com crianças são referentes à força e a velocidade<sup>37, 64, 117</sup>, consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ )<sup>34, 36, 52, 55, 70, 103</sup> e padrão de atividade física durante o jogo<sup>33, 103</sup>. Entretanto, a maioria dos estudos presentes na literatura é referente ao futebol internacional, existindo uma importante limitação de estudos sobre o futebol brasileiro, tanto em nível profissional como amador e categorias de base.

O  $VO_{2máx}$  em laboratório de jogadores de futebol internacional, varia de 50-75  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ,<sup>11, 34, 41, 52, 55, 70, 103, 117, 118</sup>, sendo que esta capacidade fisiológica está relacionada com a posição tática, onde jogadores de meio campo, laterais e atacantes possuem  $VO_{2máx}$  superior a 60  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , enquanto goleiros e zagueiros apresentam  $VO_{2máx}$  de 51 e 56  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  respectivamente<sup>90, 91, 115</sup>. Os valores de limiar anaeróbio (LAN) em jogadores de futebol são compreendidos entre aproximadamente 80% e 90% da frequência cardíaca máxima ( $FC_{máx}$ ). Estima-se que a intensidade de trabalho médio, mensurado como  $\%FC_{máx}$  durante os 90 minutos de uma partida de futebol coincide como os valores de LAN<sup>27, 32, 34, 52, 103</sup>.

Embora estes valores de  $VO_{2máx}$  e LAN sejam evidentes em jogadores adultos, em crianças e jovens jogadores de futebol ainda não existe um consenso sobre o comportamento do  $VO_{2máx}$  e do LAN, principalmente durante o processo maturacional<sup>90, 115</sup>.

A maturação biológica é referida como o progresso em direção ao estado biologicamente adulto que varia em *timing* e tempo<sup>21</sup>, é um fator relevante na detecção de talentos e no treinamento do atleta<sup>65, 88</sup>. Poucos estudos investigaram a relação entre o  $VO_{2máx}$  e a maturação biológica<sup>6</sup>. Alguns estudos sugerem evidências de que a maturação biológica pode influenciar o  $VO_{2máx}$  e o LAn, variáveis importantes para o controle e prescrição do treinamento<sup>5-7, 9, 25, 43, 48, 49, 64</sup>.

Algumas considerações importantes têm sido apresentadas sobre a maneira como o  $VO_{2máx}$  tem sido expresso. Tradicionalmente, pode ser expresso em valores absolutos ( $l \cdot min^{-1}$ ) ou relativos à massa corporal ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ). Neste último, é assumido que o  $VO_{2máx}$  está normalizado e a influência da massa corporal foi devidamente removida, entretanto, existem muitas limitações teóricas e estatísticas destes padrões de expressão do  $VO_{2máx}$ <sup>4, 5, 9, 51, 6, 96, 113, 114, 118</sup>. Quando  $VO_{2máx}$  é expresso na forma relativa à massa corporal ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), a potência aeróbia dos sujeitos mais leves é superestimada e a de sujeitos mais pesados subestimada<sup>36, 96</sup>.

No intuito de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferentes tamanhos corporais, alguns autores têm expressado o  $VO_{2máx}$  na forma alométrica<sup>34, 52, 54, 117, 118</sup>, visto que o  $VO_{2máx}$  não aumenta em direta proporção à massa corporal<sup>6, 24, 96, 117</sup>. Sendo a alometria o método matemático que expressa à medida a qual uma variável (seja fisiológica, anatômica ou temporal) é relacionada com uma unidade de tamanho corporal, geralmente massa corporal ( $kg$ )<sup>96</sup>. Da mesma forma, modelos estatísticos alternativos têm sido utilizados para criarem expressões de  $VO_{2máx}$  independentes da composição corporal (*size-free*)<sup>43</sup>. Alguns estudos têm demonstrado que a relação do crescimento com as variações no  $VO_{2máx}$  em jovens atletas é dependente da maneira como  $VO_{2máx}$  é expresso ou pela técnica estatística adotada<sup>7, 9, 43, 51, 64, 74, 114</sup>.

Torna-se importante identificar o comportamento do  $VO_{2m\acute{a}x}$  e do LAn durante o processo de maturação biológica em jovens jogadores de futebol, para podermos prescrever e controlar o treinamento de forma adequada a cada etapa do crescimento destes atletas, visto que o  $VO_{2m\acute{a}x}$  é considerado o melhor indicador de capacidade aeróbia <sup>6, 12, 53</sup> e o LAn é considerado o indicador mais sensível às alterações do condicionamento aeróbio em resposta ao treinamento <sup>42, 50, 53, 69</sup>.

Neste sentido, devido a limitações de estudos sobre os aspectos físicos e fisiológicos de jovens jogadores de futebol, a revisão de literatura abordará aspectos referentes à influência da maturação biológica sobre o  $VO_{2m\acute{a}x}$ , as respostas metabólicas ao exercício aeróbio em crianças, o perfil fisiológico e as demandas físicas do futebol (artigo de revisão Anexo VI).



## 2. OBJETIVO GERAL

Verificar o efeito da maturação biológica sobre as variáveis cardiorrespiratórias de jovens jogadores de futebol.

### 2.1 Objetivos Específicos

Verificar o efeito da maturação biológica sobre o  $VO_{2máx}$  expresso nas formas absoluta ( $ml \cdot min^{-1}$ ), relativa ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) e alométrica ( $ml \cdot kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$ ).

Verificar o efeito da maturação biológica sobre os limiares ventilatórios ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) expressos nas formas absoluta, relativa e alométrica.

Verificar o efeito da maturação biológica sobre os valores máximos e correspondentes aos limiares ventilatórios ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) da Frequência Cardíaca e sobre a Velocidade Máxima de Corrida ( $VEL_{máx}$ ).

Identificar o expoente alométrico que melhor representa a amostra.

Identificar um perfil das variáveis cardiorrespiratórias destes jovens jogadores de futebol.

### 3. HIPÓTESES

A maturação biológica exerce efeito sobre o  $VO_{2\text{máx}}$  absoluto e alométrico que aumentam conforme os estágios maturacionais, mas não tem efeito sobre o  $VO_2$  relativo que permanece estável entre os estágios maturacionais em jovens jogadores de futebol.

A maturação biológica exerce efeito sobre os limiares ventilatórios ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) absoluto e alométrico, que aumentam conforme avanço dos estágios maturacionais, mas não tem efeito na forma relativa que permanece estável entre os estágios maturacionais.

A maturação biológica exerce efeito sobre a frequência cardíaca máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ) e correspondente a  $LV_1$  e  $LV_2$ , que diminuem conforme o avanço dos estágios maturacionais.

A maturação biológica exerce efeito sobre a velocidade máxima de corrida, que aumenta conforme o avanço dos estágios maturacionais.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Influência da Maturação Biológica sobre o $VO_{2máx}$

Há evidências de que a maturação biológica pode influenciar o  $VO_{2máx}$  e o LAN, os quais são importantes no desenvolvimento do treinamento desportivo<sup>6, 7, 9, 25, 43, 48, 64</sup>. Existe um considerável interesse em aumentar a potência aeróbia com o treinamento desportivo, mas existe uma dificuldade em verificar se este aumento é devido ao crescimento, a maturação, ao treinamento ou interações entre estes fatores<sup>6, 48, 49, 96</sup>.

Malina et al (2004)<sup>64</sup> estimaram a contribuição da experiência, do tamanho corporal e do estágio maturacional nas variações das capacidades funcionais de jogadores de futebol. A amostra era composta de 69 jogadores com idades de 13,2 – 15,1 anos. Foram realizados os testes de salto vertical (força explosiva), corrida 30m (velocidade) e *yo-yo* teste (resistência aeróbia). Os autores verificaram que o estágio maturacional influenciava significativamente as capacidades funcionais destes jogadores de futebol e que o tempo de treinamento tinha influência significativa na resistência aeróbia, enquanto o peso e a altura influenciavam a velocidade e a força explosiva, respectivamente.

Armstrong et al (1999)<sup>9</sup> verificaram a influência do sexo, do crescimento e da maturação sobre o  $VO_{2pico}$  em crianças de 11-13 anos utilizando um modelo de regressão múltipla. Este modelo revelou que a idade, o sexo e os efeitos da maturação sobre o  $VO_{2pico}$  em crianças destreinadas são independentes do tamanho corporal. A concentração de hemoglobina que teoricamente poderia influenciar no  $VO_{2pico}$ , não contribuiu significativamente para estas variações do  $VO_{2pico}$ . Aparentemente, as diferenças de sexo, idade e maturação no aumento da massa livre de gordura relativa à massa corporal são as influências predominantes no aumento diferenciado do  $VO_{2pico}$  em meninos e meninas de

11-13 anos. Posteriormente, estes mesmos autores confirmaram as descobertas do estudo anterior. A concentração de hemoglobina não representava um parâmetro significativo para as variações no  $VO_{2\text{pico}}$ , a massa livre de gordura tem influência predominante no aumento do  $VO_{2\text{pico}}$ , a idade cronológica e o estágio maturacional são variáveis explicativas do  $VO_{2\text{pico}}$  independentemente do tamanho corporal e da massa adiposa. O aumento do  $VO_{2\text{pico}}$  era comum em meninos e meninas, mas existia uma progressiva divergência nos valores em favor dos meninos <sup>7</sup>.

Beunen et al (2002) <sup>25</sup> analisaram o desenvolvimento alométrico intraindividual da potência aeróbia em 73 meninos anualmente dos 8 aos 16 anos de idade e relacionavam a potência aeróbia com a maturação biológica e o nível de atividade física. Os autores verificaram que o coeficiente alométrico interindividual para a massa corporal era maior do que  $b= 0,75$ , sendo que este coeficiente variava de  $b= 0,55$  até  $b= 1,17$  na análise intraindividual. Os meninos que maturavam tardiamente tinham coeficientes (b) menores do que os meninos que maturavam precocemente. Os autores concluíram que o  $VO_{2\text{pico}}$  era largamente explicado pela massa corporal, mas o nível de atividade física e sua interação com a maturação biológica contribuíam independentemente para o  $VO_{2\text{pico}}$  igualmente após a massa corporal ter sido ajustada.

Outro estudo verificou o aumento do  $VO_{2\text{pico}}$  durante a adolescência. Os parâmetros de estirão de crescimento foram comparados entre meninos e meninas e as relações entre os parâmetros de estirão do  $VO_{2\text{pico}}$ , da estatura e do peso eram avaliados. A média da idade da velocidade máxima de incremento do  $VO_{2\text{pico}}$  ( $PVVO_{2\text{pico}}$ ) era de 12,3 anos para as meninas e 14,1 anos para os meninos. O  $VO_{2\text{pico}}$  aumenta em ambos os sexos durante a adolescência, com homens tendo maiores valores do que as mulheres em todas as idades. A idade do  $PVVO_{2\text{pico}}$  ocorre coincidentemente com a velocidade máxima de incremento da

estatura (PHV) e antes da velocidade máxima do incremento do peso (PWH) em ambos os sexos. As correlações entre as idades do  $PVVO_{2\text{pico}}$ , PVW e PHV sugerem um fator de maturação geral para o tamanho corporal e potência aeróbia. Os autores concluíram que existe um claro estirão do  $VO_{2\text{pico}}$  em ambos os sexos durante a adolescência e que este estirão ocorre antes em mulheres e em maior magnitude nos homens <sup>48</sup>.

Estudos transversais têm indicado que o  $VO_{2\text{máx}}$  ( $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) aumenta gradualmente e progressivamente dos 8 aos 16 anos em meninos, e dos 8 aos 13 anos nas meninas. O  $VO_{2\text{máx}}$  tende a apresentar um platô após os 13 anos em meninas e aumentar lentamente após os 16 anos em meninos <sup>5, 25, 62</sup>. Convencionalmente, o tamanho corporal tem sido controlado por uma simples divisão do  $VO_{2\text{máx}}$  absoluto pela massa corporal (kg), criando a expressão padrão  $VO_{2\text{máx}}$   $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Os dados são consistentes e demonstram que  $VO_{2\text{máx}}$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) permanece relativamente constante dos 8 aos 18 anos, com valores de aproximadamente  $48\text{-}50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Levando em consideração que o  $VO_{2\text{máx}}$  obtido através de um teste máximo é reconhecido como o melhor marcador de potência aeróbia em crianças e jovens <sup>6, 9, 96</sup>, sendo tradicionalmente expresso em valores absolutos ( $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ou relativo a massa corporal ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Neste último, é assumindo que o de  $VO_{2\text{máx}}$  está normalizado e a influência da massa corporal foi totalmente removida. Entretanto existem muitas limitações teóricas e estatísticas destes padrões de expressão do  $VO_2$  <sup>4, 5, 9, 6, 51, 75, 78, 80, 96, 113, 114, 118</sup>.

Desta forma, modelos estatísticos alternativos, incluindo análises de co-variância (Ancova), escalas alométricas e modelos de regressão linear múltipla ou multinível têm sido utilizados para criar “*size-free*” (medida independente do tamanho corporal) da expressão do  $VO_{2\text{máx}}$  <sup>43, 96, 113</sup>. Em recente revisão, Nevill et al (2005) <sup>76</sup> exploram uma

variedade de modelos utilizados para descrever variáveis fisiológicas e antropológicas que variam com o tamanho corporal e com outras variáveis de confusão, como por exemplo, a idade cronológica. Os autores concluíram que os modelos alométricos são superiores aos demais modelos <sup>96</sup>.

Um considerável debate nos últimos anos sobre qual o método mais apropriado para escalar ou normalizar o  $VO_{2máx}$  e remover os efeitos da massa corporal em adultos e crianças <sup>76</sup>. Tem sido sugerido, que para facilitar as comparações entre grupos de diferentes tamanhos corporais, o mais apropriado seria remover os efeitos da massa corporal ajustando o  $VO_{2máx}$  utilizando a relação da função potência  $VO_{2máx} = aM^b$ , onde (a) é conhecido como constante de escala e (b) é o expoente de escala da massa corporal. Este expoente pode ser estimado utilizando a análise de regressão linear após obter o logaritmo da equação  $\log_e VO_{2max} = \log a + b \cdot \log M$ .

O valor deste expoente ainda é consideravelmente controverso ( $b = 0,65, 0,75$  ou  $> 0,75$ ) e altamente específico de uma determinada amostra <sup>1, 9, 18, 51, 76, 96, 104</sup>. Estudos específicos com crianças demonstram que o valor médio deste expoente é de aproximadamente  $b = 0,83$ , podendo variar de  $0,37$  a  $1,18$  <sup>96</sup>. Embora produza resultados que refletem melhor as alterações, a aplicação teórica deste expoente pode não oferecer uma precisa representação de certas mudanças de um determinado grupo de sujeitos <sup>9</sup>.

Eisenmann et al (2004) <sup>43</sup> estudaram a variação no  $VO_{2pico}$  associado à idade em meninos e meninas corredores, na perspectiva da escala alométrica. Verificaram que o  $VO_{2pico}$  absoluto aumenta com a idade em ambos os sexos, o  $VO_{2pico}$  relativo ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) permanece relativamente estável em ambos os sexos, o  $VO_{2pico}$  relativo ( $ml \cdot kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$ ) aumenta durante a idade em meninos e aumenta em meninas somente até os 15 anos. Foi identificada uma progressiva divergência no  $VO_{2pico}$  entre meninos e

meninas fundistas. Os autores concluíram que a relação do crescimento com as variações no  $VO_{2\text{pico}}$  em jovens corredores é dependente da maneira que o  $VO_{2\text{pico}}$  relativo é expresso ou pela técnica estatística adotada. Na mesma linha, Heil et al (1997)<sup>51</sup> afirmam que para comparar o  $VO_{2\text{máx}}$  de grupos heterogêneos o melhor expoente seria  $b= 0,75$ , já para grupos homogêneos o expoente  $b= 0,67$  seria o mais indicado.

Welsman et al (1996)<sup>114</sup> utilizaram tanto a expressão relativa como a alométrica para remover os efeitos do tamanho corporal sobre o  $VO_2$  dos grupos pré-púberes, púberes e adultos. A expressão relativa estava de acordo com a literatura, demonstrando que não existia diferenças significativas no  $VO_{2\text{máx}}$   $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  entre os grupos. Ao contrário, a análise alométrica demonstrou que existia um aumento progressivo do  $VO_{2\text{máx}}$  entre os grupos. Os autores concluíram que a expressão relativa é inadequada para verificar as diferenças do  $VO_{2\text{máx}}$  ao longo do crescimento.

Chamari et al (2005)<sup>36</sup> compararam a capacidade aeróbia de jogadores de futebol jovens e adultos utilizando um procedimento alométrico. Quando o  $VO_2$  foi expresso de forma relativa (66,6 e 66,5  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , respectivamente), os valores de adultos e jovens foram semelhantes, mas quando expresso na forma alométrica (216 e 206  $\text{ml.kg}^{-0,72}.\text{min}^{-1}$  respectivamente), foi 5% maior nos adultos do que nos jovens. Os autores concluíram que na comparação com jovens jogadores de futebol, o  $VO_{2\text{máx}}$  de adultos era subestimado e a economia de movimento era superestimada quando expresso na forma tradicional ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ). Com relação à economia de movimento, Keefer et al (2000)<sup>59</sup> verificaram que não havia diferenças entre meninos e meninas de 6 anos de idade tanto no  $VO_{2\text{máx}}$  relativo como no absoluto.

Da mesma forma, autores como Wisloff et al (2004, 1998)<sup>117, 118</sup>, Helgerud et al (2001)<sup>52</sup>, Hoff et al (2002)<sup>54</sup>, Chamari et al (2004)<sup>34</sup> e McMillan et al (2005)<sup>70</sup> tem

expressado o  $VO_{2m\acute{a}x}$  em  $ml.kg^{-0,75}.min^{-1}$  a fim de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferentes massas corporais, já que o  $VO_{2m\acute{a}x}$  não aumenta em proporção direta à massa corporal<sup>24, 96, 118</sup>. Diversos autores também concordam com esta afirmação<sup>1, 51, 96, 99</sup>.

O que parece claro, é que a expressão tradicional ( $VO_2/massa$ ) falha em remover totalmente os efeitos da massa corporal, sendo inapropriado para estudos epidemiológicos que desejam comparar o  $VO_{2m\acute{a}x}$  entre grupos (ex. ativos e inativos ou crianças e adultos) que são associados ao tamanho corporal<sup>74, 114</sup>. Atualmente, muitos autores concordam que os modelos alométricos são os mais indicados para ajustar corretamente o  $VO_{2m\acute{a}x}$  à massa corporal<sup>9, 19, 20, 28, 34, 36, 43, 51, 52, 54, 70, 74, 77, 79, 99, 114, 117, 118</sup>.

Por todo o exposto, torna-se de extrema importância identificar o comportamento do  $VO_{2m\acute{a}x}$  e LAn durante a maturação biológica em jovens jogadores de futebol, para podermos compreender, controlar e prescrever o treinamento de futebol adequadamente, desta forma, maximizando os benefícios e diminuindo os riscos impostos pelo treinamento físico. Além disso, identificamos uma grande carência de estudos sobre o  $VO_{2m\acute{a}x}$  e LAn relacionados a maturação biológica e ao treinamento desportivo<sup>6</sup>.



#### 4.2 Respostas Metabólicas ao Exercício em Crianças e Adolescentes

Fatores éticos e metodológicos limitam a disponibilidade de dados sobre as respostas hormonais e metabólicas em crianças e adolescentes<sup>26, 110</sup>. Além disso, tem sido relatado que jovens apresentam respostas ao exercício de curta e longa duração dependente da idade quando comparado aos adultos<sup>26</sup>.

Os estoques de trifosfato de adenosina (ATP) e a fosfocreatina (PCr) não são dependentes da idade em crianças e adolescentes<sup>45, 46 109, 121</sup>. Os níveis de glicogênio muscular verificados através de biópsia muscular são de 50 a 60% menores em crianças do que em adultos,<sup>44, 45</sup> mas durante a adolescência alcançam níveis observados em adultos<sup>26</sup>.

Uma menor atividade das enzimas fosfofrutoquinase-1 (PFK)<sup>44</sup> e na lactato desidrogenase (LDH) em crianças pré-púberes poderiam explicar a menor capacidade glicolítica e a limitada produção de lactato muscular relativo ao adulto<sup>26, 44</sup>.

A imaturidade do metabolismo anaeróbio em crianças é uma questão importante e existem algumas razões para estas possíveis reduções na atividade glicolítica. Uma justificativa para uma menor atividade glicolítica pode ser atribuída a uma diferente composição da fibra muscular entre crianças e adultos<sup>96, 109, 110</sup>.

A diferenciação do tipo de fibra muscular é aproximadamente completada poucos anos após o nascimento, onde uma criança de 6 anos já apresenta um padrão histoquímico similar a de um jovem adulto. Existindo aparentemente poucas diferenças na composição da fibra muscular durante a infância e a pré-adolescência. Entretanto, existem evidências de que crianças possuem um percentual de fibras tipo I maior do que os adultos. O percentual da distribuição das fibras tipo II é menor na pré-adolescência do que em adultos e estas diferenças são atenuadas durante a maturação biológica<sup>109, 110</sup>. Este aumento no percentual de fibras do tipo II que ocorre durante a maturação biológica pode dar

vantagens aos indivíduos pós-púberes em relação aos indivíduos pré-púberes e púberes no desempenho de exercício de alta intensidade <sup>109</sup>. Uma das possíveis explicações para este fato é que o aumento da testosterona pode diminuir o percentual das fibras tipos I <sup>110</sup>.

Kaczor et al (2005)<sup>57</sup> verificaram os efeitos da idade sobre a atividade de enzimas do metabolismo anaeróbio, comparando crianças e adultos. A amostra foi dividida em 2 grupos, crianças (n=20, 3-11 anos) e adultos (n=12, 29-54 anos). Foi verificado que a atividade da LDH era 4 vezes maior em adultos, a AK era 20% menor nas crianças e a CK estava 28% menor nas crianças quando comparado com os adultos. Os autores sugerem que o menor desempenho anaeróbio das crianças em relação aos adultos pode ser devido a menor massa muscular, menor conteúdo protéico ou menor % de fibras musculares de contração rápida. No entanto, a menor atividade da LDH nas crianças foi considerado o fator mais importante para desempenho anaeróbio diminuído.

Ao contrário, crianças e adolescentes são bem adaptadas ao exercício prolongado de intensidade moderada. O crescimento e a maturação induzem incrementos na massa muscular, com proliferação de mitocôndrias e proteínas contráteis. Entretanto, a utilização do substrato durante o exercício difere entre crianças e adolescentes, com adaptações metabólicas e hormonais sendo sugeridas <sup>101</sup>.

O método de mensuração da taxa de troca respiratória (RER) mensurada através da calorimetria indireta, que é expressa pelo  $VCO_2/VO_2$  é usualmente utilizada como um indicador de quociente respiratório (RQ), que representa a mesma taxa em nível tecidual. A RER dá uma informação sobre qual o substrato está sendo utilizado, sendo que uma taxa de 1 quando está sendo utilizado exclusivamente carboidrato e quando a taxa for de 0,7 utiliza-se predominantemente gordura <sup>26, 56</sup>. Valores menores de RER são observados em jovens durante exercício prolongado de intensidade moderada <sup>68, 97</sup>. Os dados indicam que

crianças utilizam mais gordura do que os adultos, existindo um aumento da mobilização de ácidos graxos livres <sup>26</sup>.

Assim, a RER parece ser um bom método indireto e não-invasivo para avaliar a contribuição relativa do substrato que está sendo utilizado para ressíntese de energia, tanto em repouso como em exercício <sup>56, 116</sup>.

Por todo o exposto, crianças e adolescentes não são adultos em miniatura, eles crescem e maturam em sua taxa específica, assim como suas respostas metabólicas ao exercício variam de acordo com seus progressos ao longo da infância e da adolescência. Na puberdade, o desenvolvimento acelerado e a intensa atividade endócrina (GH e HES) podem afetar a regulação do metabolismo do exercício. A idade cronológica e a maturação biológica também influenciam na utilização do substrato, assim podendo interferir no desempenho físico <sup>26, 92</sup>.

#### **4.3 Metabolismo Aeróbio**

A avaliação dos dados sobre as repostas metabólicas e hormonais ao exercício em crianças e adolescentes são algumas vezes conflitantes e limitados pela idade, sexo e nível de treinamento dos indivíduos. Crianças e adolescentes são bem adaptadas ao exercício de longa duração. As maiores diferenças quando se comparam crianças aos adultos em exercício prolongado restringem-se a duas observações. A primeira observação é referente aos estoques de glicogênio muscular, que são depletados antes em crianças do que em adultos <sup>26</sup>. Esta afirmação é justificada pelo fato de que exercícios com mais de 1 hora de duração numa intensidade de 70%  $VO_{2m\acute{a}x}$ , seu fator limitante de desempenho é a depleção dos estoques de glicogênio <sup>12</sup>. Adicionalmente, os adultos possuem um maior conteúdo de glicogênio muscular do que as crianças <sup>44, 45</sup>. No estudo de Eriksson et al (1973) <sup>44</sup>,

8 meninos (11-13 anos idade) realizaram teste máximo em cicloergômetro, foi realizada a biópsia do músculo vasto lateral a cada incremento de carga e no estágio máximo do exercício. O conteúdo de glicogênio muscular diminuiu de 54 mmol.Kg<sup>-1</sup> de peso úmido em repouso para 34 mmol.Kg<sup>-1</sup> de peso úmido após a exaustão. Os autores concluíram que não havia diferença na taxa de depleção do glicogênio entre adultos e crianças. Esta afirmação é suportada por Petersen et al (1999)<sup>87</sup>, que sugere que o metabolismo glicolítico durante o exercício físico não é dependente da maturação biológica.

A segunda observação é referente ao maior potencial que as crianças possuem para utilizar gordura do que os adultos<sup>26, 92</sup>. Esta hipótese é suportada por evidências indiretas como uma diminuição da RER, melhora da mobilização dos ácidos graxos livres, aumento dos níveis de glicerol plasmático, diminuição da sensibilidade a insulina durante a puberdade e aumento da secreção de GH de repouso e durante o exercício<sup>26</sup>.

Kaczor et al (2005)<sup>57</sup> verificaram os efeitos da idade sobre a atividade de enzimas do metabolismo aeróbio, comparando crianças e adultos. Foram analisadas as enzimas 2-oxaglutarato desidrogenase (OGDH) e a carnitina palmitoiltransferase (CPT). Foi verificado que a OGDH era significativamente menor em crianças e a CPT não apresentava diferença entre adultos e crianças. Os autores sugerem que as crianças possuem um potencial maior para oxidar lipídeos do que os adultos. Entretanto, o mecanismo para explicar estas diferenças enzimáticas entre crianças e adultos não está claro.

Martinez e Haymes (1992)<sup>68</sup> reportaram que meninas pré-púberes (idade 8-10 anos) possuíam valores de RER menores do que mulheres (idade 20-32 anos) durante 30 minutos de corrida a 70% do VO<sub>2máx</sub> após 12 horas de jejum. Estes autores concluíram que existem diferenças na utilização do substrato entre meninas e mulheres durante exercício de

intensidade moderada, principalmente devido ao fato de que as meninas apresentavam um maior potencial para utilizar gordura do que as mulheres. Da mesma forma, foi reportado que os valores de RER eram significativamente menores em meninos do que em adolescentes e adultos durante exercício submáximo<sup>97</sup>.

No entanto, Bell et al (1980)<sup>23</sup> verificaram através de biópsia, que as taxas mitocondriais e miofibrilares no tecido muscular são semelhantes em crianças e adultos. Isto sugere que um aumento nas proteínas contráteis que acompanham o crescimento e a maturação também ocorre paralelamente com o número e tamanho das mitocôndrias. Assim, o potencial metabólico de crianças e adolescentes não são limitados pelo volume mitocondrial durante o crescimento<sup>23</sup>.

Existem poucas publicações com relação aos efeitos do treinamento aeróbio sobre o metabolismo de crianças e adolescentes. Alguns estudos relatam que o treinamento aeróbio pode gerar adaptações cardiovasculares morfológicas e funcionais em crianças<sup>67, 81-83, 85, 86,</sup> e aumento da potência máxima em exercícios de curta duração<sup>84</sup>.

#### **4.4 Demandas Físicas do Futebol**

O desempenho no futebol depende de uma série de fatores. Podemos citar de forma geral os fatores técnicos, táticos, físicos, fisiológicos e psicológicos<sup>102</sup>, mais especificamente, o futebol necessita de atividades físicas intermitentes, onde a seqüência de ações requerem uma variedade de habilidades em diversas intensidades. A corrida é a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e chute são fatores importantes para alto desempenho no futebol<sup>37</sup>.

Outro fator importante no futebol é a distância percorrida, que em uma partida de futebol de alto nível são da ordem de 9-12 km para jogadores de linha<sup>52, 72, 93, 107</sup> e 4 km

para goleiros <sup>102</sup>. Muitos estudos têm apresentado que jogadores de meio-campo percorrem grandes distâncias durante o jogo e que jogadores profissionais percorrem maiores distâncias do que jogadores amadores <sup>72</sup>. No 2º tempo a intensidade do jogo é diminuída em relação 1º tempo, onde a distância percorrida diminui de 5-10% <sup>72, 93</sup>.

A posição tática dos jogadores influi na distância percorrida durante a partida de futebol, onde os zagueiros percorrem aproximadamente 7700-9700 m, meio-campistas de 9000-11000 m e atacantes 7700-11000 m <sup>52, 72, 93, 107</sup>. A distância percorrida também tem sido classificada como padrão de atividade, como caminhar, trotar, correr, *sprint* e corrida de costas. Assim, durante uma partida os jogadores percorrem caminhando aproximadamente 1000-3500 m, trotam 2000-6000 m, correm 1000-2000 m, *sprint* 300- 500 m e corrida de costas 100-800 m <sup>33, 72, 93, 107</sup>.

Durante o jogo, um *sprint* ocorre aproximadamente a cada 90 s, cada um dura em média de 2-4 s <sup>16</sup>. Os *sprints* constituem de 1-10% da distância total percorrida durante o jogo <sup>72</sup>, que corresponde a 0,5-3,0% do tempo efetivo de jogo <sup>16</sup>. No contexto de *endurance* do jogo, cada jogador realiza principalmente cerca de 1000-1400 atividades de curta duração <sup>16, 72</sup> alternadas a cada 4-6s. As atividades realizadas no jogo são aproximadamente de 10-20 *sprints*, corridas de alta intensidade a cada 70s, cerca de 15 desarmes, 10 cabeçadas, 50 envoltimentos com bola, 30 passes, além de mudanças de direção e grande esforço muscular para manter o equilíbrio e o controle de bola contra a pressão da defesa <sup>16</sup>. Mohr et al (2003) <sup>72</sup> reportaram que laterais e atacantes realizam *sprints* em maiores distâncias do que zagueiros e meio-campistas. Da mesma forma que a distância percorrida, a capacidade de realizar *sprint* também diminui ao final da partida <sup>72, 73</sup>.

No entanto, a maioria dos resultados são referentes a jogadores profissionais, por isso, Castagna et al (2003)<sup>33</sup> verificaram o padrão de atividade física de jovens jogadores de futebol (idade 11,8 anos de idade) durante os jogos, onde a duração de cada jogo era de 60 minutos e as medidas do campo eram de 100 x 65m. Foi verificado que a distância percorrida total foi de 6.175m, sendo que 1.112m e 32m foram percorridos caminhando e caminhando de costas respectivamente. Em média os jogadores percorriam 3.200 m em baixa intensidade, 986 m em intensidade moderada e 468m em alta intensidade de corrida. Em média 34 *sprints* com duração de 2,3 segundos eram realizados durante a partida, com velocidades máximas de 18 km.h<sup>-1</sup>, o tempo entre cada *sprint* foi de 118,5 segundos. A distancia percorrida diminuía cerca de 5,53% entre o 1° e o 2° tempo. Os autores concluíram que o padrão de atividade de jovens jogadores de futebol é intermitente e às vezes desempenhado em alta intensidade (9% do tempo total da partida).

A força e a potência são igualmente importantes no futebol assim como a resistência. A força máxima é uma qualidade básica que influencia no desempenho da potência, onde um aumento na força máxima é geralmente associado com um aumento na força relativa e desta forma, com um aumento na habilidade de potência. Uma relação significativa tem sido observada entre 1RM, aceleração, *sprints* e saltos<sup>53, 102</sup>. O desempenho máximo da força/potência é confirmado pelos resultados dos testes de saltos, bem como os resultados de *sprints* de 30m<sup>117</sup>. Por aumentar a disponibilidade da força de contração muscular em um determinado músculo ou grupo muscular, a velocidade e a aceleração podem aumentar as habilidades críticas do futebol, como o *sprint*, movimentos com mudança de direção, deslocamento de costas, saltos, chutes e marcação<sup>15, 53, 117</sup>.

Altos níveis de força máxima de membros superiores e principalmente de membros inferiores são importantes, porque estabilizam as articulações em várias situações de jogo,

principalmente nas contrações musculares excêntricas, assim auxiliando na prevenção de lesões no futebol<sup>11, 37, 53, 117</sup>. Esta prevenção é muito importante, pois cerca de 80% das lesões no futebol ocorrem nas extremidades dos membros inferiores (principalmente no joelho e tornozelo)<sup>58</sup>.

Neste contexto, o treinamento de força deveria ter mais ênfase no futebol, principalmente os movimentos de contração concêntrica, pois eles aumentam o desempenho de *sprint* e saltos<sup>53, 117</sup>.

#### **4.4.1 Intensidade do Jogo**

Por causa da duração do jogo, estima-se que o metabolismo aeróbio contribui com aproximadamente 90% do custo energético de uma partida de futebol<sup>15</sup>. A intensidade de trabalho médio, mensurada como %FC<sub>máx</sub> durante os 90 minutos de uma partida de futebol é próximo do LAn (entre 80-90% da FC<sub>máx</sub> em jogadores de futebol)<sup>27, 32, 34 52, 103</sup>. Fisiologicamente, poderia ser impossível manter esta altíssima média de intensidade por um longo período de tempo, principalmente devido ao acúmulo de lactato sanguíneo.

Assim, a fadiga é um componente importante para o desempenho no futebol, onde em recente revisão, Mohr et al (2005)<sup>71</sup> relatam que a fadiga pode ocorrer em 3 diferentes momentos durante o jogo. Após períodos de alta intensidade de exercício tanto no 1º como no 2º tempo de partida, no início do segundo tempo de partida e no final da partida. A fadiga temporária após exercícios de alta intensidade durante o jogo não parece estar relacionada diretamente com as concentrações de glicogênio muscular, acúmulo de lactato, acidose ou a quebra da creatina fosfato. No entanto, isto pode estar relacionado a distúrbios na homeostase iônica do músculo ou ainda um desequilíbrio na excitação do sarcolema. O desempenho máximo dos jogadores de futebol é inibido no início do 2º tempo de jogo,



provavelmente devido a uma diminuição da temperatura muscular quando comparado com o final do 1º tempo do jogo <sup>71</sup>.

Realmente, as partidas de futebol apresentam períodos e situações de alta intensidade de exercício, onde ocorre um acúmulo de lactato sanguíneo localizado. Desta forma, os jogadores de futebol necessitam de períodos de baixa intensidade de exercício para poderem remover este lactato muscular acumulado. Em termos relativos, existe pouca ou nenhuma diferença entre a intensidade de exercício de jogadores profissionais e amadores, mas a intensidade absoluta é maior em jogadores profissionais <sup>102</sup>.

Stroiyer et al (2004) <sup>103</sup> estudaram as demandas fisiológicas do futebol em jovens futebolistas (idade 12-14 anos), verificaram que o  $VO_2$  durante a partida era em média maior no 1º tempo (50-58  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) do que no 2º tempo (48-54  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ). Estes valores correspondem a 80-85% e 78-80% do  $VO_{2máx}$ . A FC média também era em média maior no 1º tempo (180 bpm) do que no 2º tempo (175 bpm).

Estabelecendo a relação entre FC- $VO_2$  em teste de esforço máximo, esta relação fornece uma mensuração indireta válida do  $VO_2$  durante uma partida de futebol. Estabelecendo a relação da FC- $VO_2$  de cada atleta, esta relação pode refletir exatamente o gasto energético do exercício em estado de equilíbrio. Bangsbo <sup>15</sup> apresentou que a relação FC- $VO_2$  é válida para exercícios intermitentes, verificada pela comparação de exercícios contínuos e intermitentes em testes de esteira em laboratório. A mesma relação FC- $VO_2$  era estabelecida após um grande aumento de intensidade <sup>15</sup>, estes dados são suportados por estudos recentes <sup>47, 54</sup>. Assim, a relação entre FC- $VO_2$  pode ser uma boa estimativa de gasto energético para o futebol <sup>54</sup>.

Assumindo que a relação FC- $VO_2$  é uma estimativa válida para o futebol, uma intensidade média de exercício de 85% da  $FC_{máx}$  poderia corresponder a aproximadamente

75% do  $VO_{2m\acute{a}x}$ . Isto corresponde em média a 45,0, 48,8 e 52,5 de  $VO_2$  ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) para jogadores com 60, 65 e 70 de  $VO_{2m\acute{a}x}$  ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) respectivamente, e provavelmente reflete o gasto energético do futebol moderno <sup>12</sup>.

## 4.5 Perfil Fisiológico do Futebol

### 4.5.1 Potência Aeróbia Máxima de Jogadores Jovens e Adultos

O  $VO_{2m\acute{a}x}$  de jogadores adultos de futebol em laboratório, variam de 55-75 ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ), enquanto que goleiros possuem  $VO_{2m\acute{a}x}$  de 50-55 ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) <sup>11, 32, 34, 41, 52, 55, 70, 103, 117, 118</sup>. A potência aeróbia máxima tem aumentado entre as equipes de alto nível nas últimas décadas <sup>118</sup>. O LAn tem sido reportado como sendo entre 76,6% e 90,3% da  $FC_{m\acute{a}x}$ , que é mensurado durante as partidas de futebol <sup>27, 32, 34, 52, 103</sup>.

Tradicionalmente, jogadores de futebol júnior têm  $VO_{2m\acute{a}x}$  ( $<60 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) <sup>52, 55, 103</sup> menor do que os jogadores seniores, entretanto podem existir exceções. Helgerud et al (2001)<sup>52</sup> estabeleceram um  $VO_{2m\acute{a}x}$  de 64,3  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  em juniores e 73,9  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  em 18 jogadores de um time da Hungria. Já Stroyer et al (2004)<sup>103</sup> observaram que jogadores de meio-campo/atacantes possuíam maiores valores de  $VO_{2m\acute{a}x}$  do que jogadores de defesa (65 e 58  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  respectivamente, para jogadores de elite no final da puberdade, 14 anos).

Na mesma linha, McMillan et al (2005)<sup>70</sup> encontraram  $VO_{2m\acute{a}x}$  63,4  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  em 11 jogadores (idade 16,9 anos da equipe do Celtic -Escócia), sendo que após 10 semanas de treinamento aeróbio específico (90-95% $FC_{m\acute{a}x}$ ), o  $VO_{2m\acute{a}x}$  aumentou para 69,8  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , sem que ocorresse prejuízos no desempenho de força, saltos e *sprints*. Já Chamari et al (2005)<sup>36</sup> demonstraram que 15 jogadores juniores tinham  $VO_{2m\acute{a}x}$  semelhante a jogadores seniores de elite, mas uma economia de movimento menor.

Entretanto, quando utilizaram um procedimento escalar adequado ( $\text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-0,72} \cdot \text{min}^{-1}$ ), os jovens tinham um  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  significativamente menor, mas possuíam uma economia de movimento similar a dos jogadores seniores.

Recentemente, tem sido apresentado que um aumento de 11% no  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  após 8 semanas de treinamento com jovens jogadores de futebol, reflete um incremento de 20% na distância percorrida total de uma partida, aumento de 23% nos envoltimentos com bola e um aumento de 100% no número de *sprints* realizados por cada jogador<sup>52</sup>. Estas são algumas das vantagens que demonstram a relação entre uma alta capacidade aeróbia e desempenho no futebol moderno<sup>117</sup>.

#### 4.5.2 Períodos Anaeróbios no Futebol

Embora o metabolismo aeróbio seja dominante na ressíntese de energia durante uma partida de futebol, as ações mais importantes são desempenhadas por meio do metabolismo anaeróbio. A liberação de energia via metabolismo anaeróbio é exigida principalmente na execução de *sprints* de alta intensidade, saltos e disputas de jogo. Estas ações às vezes são cruciais para o resultado da partida<sup>119</sup>.

O padrão de lactato durante uma partida de futebol tem apresentado valores maiores no 1º tempo (4,1 - 7 mmol/L) do que no 2º tempo (2,7 - 4,4 mmol/L)<sup>14, 16, 31, 71</sup>. É importante notar que a concentração de lactato em jogadores de futebol é largamente dependente do padrão de atividade do jogador. Realmente, tem sido apresentado que os valores de lactato são positivamente correlacionados com o aumento do trabalho realizado previamente antes da coleta de sangue<sup>15</sup>.

Uma maior taxa de remoção do lactato depende da sua concentração, da atividade em períodos de recuperação e da capacidade aeróbia. Quanto maior a concentração de lactato, maior sua taxa de remoção<sup>15</sup>. É importante notar que jogadores de futebol com um alto  $VO_{2máx}$  podem ter menores concentrações de lactato, por causa de uma melhor recuperação após a realização de exercícios intermitentes de alta intensidade. Isto é devido a um aumento da resposta do metabolismo aeróbio, aumento taxa de remoção do lactato e melhora da ressíntese de fosfocreatina<sup>108</sup>. Realmente, um elevado  $VO_{2máx}$  resulta em menores níveis de lactato sanguíneo e muscular para uma mesma intensidade absoluta submáxima, isto é devido a uma menor produção de lactato como resultado de um aumento da liberação de energia pelo sistema aeróbio e aumento da sua taxa de remoção<sup>108</sup>.

McMillan et al (2005)<sup>69</sup> têm indicado que a avaliação do lactato sub-máximo em jogadores de futebol pode ser utilizado com um indicador de alterações no desempenho de *endurance* em períodos específicos do treinamento. Estes autores indicam que as concentrações de lactato fixas entre 2 e 4 mmol.l<sup>-1</sup> podem ser utilizados para avaliar as respostas aeróbias de jogadores de futebol.

## 5. MÉTODOS E MATERIAIS

### 5.1 Delineamento da Pesquisa

O estudo é de delineamento transversal, descritivo comparativo, do tipo *ex-post-facto* e de caráter quantitativo.

#### 5.1.1 Aspectos Éticos

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisa sob o nº CEP/UFRGS 2006575.

### 5.2 Amostra

Caracterizada como do tipo conveniência, sendo composta de 122 atletas das categorias de base de um clube da 1ª divisão do Campeonato Brasileiro, após a assinatura do termo de consentimento (anexo I) pelos pais ou responsáveis legais, os atletas foram divididos em 3 grupos, pré-púberes (Pp), púberes (P) e pós-púberes (PP), todos do sexo masculino, de acordo com a tabela de 5 estágios de Tanner<sup>105</sup> (anexo II).

A amostra de 122 atletas justifica-se pelo tratamento estatístico, pois a análise de variância (Anova One – Way) leva em consideração o número de grupos. Foi levado em consideração que alguns indivíduos podem ser considerados *outliers*, não atingirem os critérios do teste máximo ou se for impossível determinar seus limiares ventilatórios. Por outro lado, alguns estudos apresentam um número de indivíduos semelhantes ou superiores ao proposto neste estudo<sup>4, 25, 36, 49, 64, 79, 112</sup>.

### **5.2.1 Critérios de Inclusão**

Todos os atletas que compõem as categorias de base do Sport Club Internacional, das categorias mirim, infantil, juvenil e júnior todos com idades entre 12 e 18 anos e tenham pelo menos 1 ano de experiência em treinamento de futebol regular. O atleta não poderá ser portador de qualquer tipo de doença ou lesão, nem estar fazendo uso de qualquer tipo de medicação.

### **5.2.2 Critérios de Exclusão**

Serão excluídos aqueles atletas que por algum motivo não completarem o teste máximo, ou que não seja possível determinar seus limiares ventilatórios.

## **5.3 Instrumentos de Medida**

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados os equipamentos do Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX/CENESP/ESEF/UFRGS).

### **5.3.1 Esteira Ergométrica**

Para a realização da coleta e análise do limiar ventilatório e  $VO_{2\text{máx}}$  foi realizado um teste de esforço voluntário máximo em esteira ergométrica da marca Quinton Instruments – Seattle-USA (anexo III), com velocidade inicial de  $7 \text{ km.h}^{-1}$  e incrementos de  $0,5 \text{ km.h}^{-1}$  a cada 30s até a exaustão.

### 5.3.2 Ergoespirômetro

Simultaneamente ao teste de esforço máximo foi realizada uma ergoespirometria, onde foi utilizado o ergoespirômetro da MedGraphics Cardiorespiratory Diagnostic Systems, modelo CPX-D (anexo III). Sendo este calibrado manualmente com concentrações de gases conhecidos (oxigênio e dióxido de carbono) pelo menos 2 vezes a cada turno de coleta. Este procedimento é amplamente utilizado em pesquisa para avaliar a capacidade cardiorrespiratória ( $VO_{2max}$ ,  $LV_1$  e  $LV_2$ ) em crianças e adolescentes com idades entre 8 e 18 anos<sup>4, 7, 9, 43, 48, 79, 86, 112</sup>, bem como para avaliar esta mesma capacidade em relação ao desempenho esportivo específico do futebol em crianças com idades semelhantes<sup>34-36, 49, 70, 103</sup>.

Neste estudo a determinação do LAn foi realizada pelo método ventilatório ( $LV_1$  e  $LV_2$ )<sup>111</sup>, sendo este válido e amplamente utilizado<sup>3, 13, 29, 30, 39, 120</sup>.

Toda a análise para a determinação do  $VO_{2max}$  e dos limiares ventilatórios foi realizada pelo método *Breath by Breath*, a partir disso foram produzidos os gráficos da ventilação (VE), dos equivalentes ventilatórios ( $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$ ) e da taxa de troca respiratória (RER)<sup>2, 98</sup> em função do consumo de oxigênio e do tempo ao longo do teste, como segue: eixo Y=VE plotado para X= $VO_2$ , Y=  $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$  plotado para X= $VO_2$ , Y=RER plotado para X= $VO_2$ , Y=  $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$  plotado para X= tempo e Y=RER plotado para X= tempo<sup>50</sup> (anexo IV).

A partir destes gráficos os critérios empregados para determinação dos limiares ventilatórios ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) e do  $VO_{2max}$  foram:

- 1-  $LV_1$  foi considerado como a mínima carga em que  $VE/VO_2$  apresenta um aumento sistemático sem um aumento concomitante de  $VE/VCO_2$ <sup>40, 111</sup>.

- 2-  $LV_2$  foi considerado como a mínima carga em que  $VE/VO_2$  apresenta um aumento concomitante com  $VE/VCO_2$ <sup>40, 111</sup>.
- 3-  $LV_1$  e  $LV_2$  são cargas de trabalho associadas com o 1º e 2º aumentos não lineares da VE<sup>22, 40</sup>.
- 4- Aumento não linear do RER<sup>111</sup>,  $RER=1$ <sup>2</sup> ou  $RER>1$ <sup>98, 100</sup>.
- 5- O  $VO_{2máx}$  foi considerado o maior valor de  $VO_2$  em função do tempo<sup>50</sup>.

### 5.3.3 Máscara

Na realização da ergoespirometria foi utilizada uma máscara de neopreme (tamanhos pequeno, médio e grande) acoplada ao pneumotacógrafo, esta máscara é de material adequado para a realização do teste (anexo III).

### 5.3.4 Termômetro, Barômetro, Hidrômetro

A temperatura, umidade e pressão serão controladas durante o teste através destes instrumentos.

### 5.3.5 Freqüencímetro

Para a avaliação da FC durante o teste será utilizado um freqüencímetro da marca *Polar*, modelo S610 (anexo III).



### **5.3.6 Balança e Estadiômetro**

Foi utilizada uma balança eletrônica da marca Urano, modelo OS 180 A, com resolução de 100 gramas para verificar o peso dos indivíduos. A estatura foi verificada pelo estadiômetro inserido na balança com resolução de 5 mm, (anexo III).

### **5.3.7 Ficha Coleta de dados**

Uma ficha individual foi utilizada na coleta de dados, onde foram coletados os dados de identificação, cineantropometria e fisiológicos de cada indivíduo (anexo V). A variável idade foi obtida pela idade cronológica dos indivíduos, contada em anos completos. A variável tempo de treinamento foi obtida através de entrevista, contada em anos completos de treinamento regular específico em futebol.

## **5.4 Variáveis**

### **5.4.1 Variável Independente**

- Maturação Biológica

### **5.4.2 Variáveis Dependentes**

- Limiares Ventilatórios em suas formas de expressão ( $LV_1$  e  $LV_2$ )
- Frequência Cardíaca (FC)
- Consumo de máximo de oxigênio em suas 3 formas de expressão ( $VO_{2máx}$ )
- Velocidade de Corrida

### **5.4.3 Variáveis de Controle**

- Temperatura (20 à 23 °C)
- Umidade do Ar (70 - 85%)
- Pressão Atmosférica (660-670psi)
- Variáveis Antropométricas (massa corporal e estatura)

### **5.4.4 Variáveis de Caracterização da Amostra**

- Massa Corporal (kg)
- Estatura (m)
- Tempo de Treinamento (anos)
- Idade (anos)

## **5.5 Definição Operacional das Variáveis**

### **5.5.1 Maturação Biológica**

A avaliação das características sexuais secundárias para classificar o estágio maturacional dos atletas foi realizada através da tabela de Tanner (1962) de 5 estágios<sup>105</sup>. Esta avaliação foi realizada pelo fisiologista do clube, pois este procedimento faz parte da rotina de trabalho do clube.

### **5.5.2 Consumo de Oxigênio ( $VO_{2máx}$ ), Limiares Ventilatórios ( $LV_1$ e $LV_2$ )**

Foram verificados através do teste de esforço máximo, juntamente com a utilização do ergoespirômetro da MedGraphics Cardiorespiratory Diagnostic Systems, modelo CPX-D.

### **5.5.3 Consumo de Oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) Alométrico**

Os expoentes para o  $VO_{2máx}$  alométrico levando em consideração os estágios maturacionais foram calculados através da função potência ( $VO_{2max} = aM^b$ ), onde (a) é uma constante de escala e (b) é a valor do expoente referente à massa corporal. Este expoente foi verificado através da análise de regressão linear após obtermos o logaritmo da equação da função potência  $\log (VO_{2máx}) = \log a + b \log M$ .

### **5.5.4 Frequência Cardíaca (FC)**

Para a avaliação da FC durante o teste foi utilizado um freqüencímetro da marca *Polar*, modelo S610.

### **5.5.5 Velocidade de Corrida**

Verificada através da esteira rolante da marca Quinton Instruments – Seattle/USA.

## 5.6 Procedimento para Coleta de Dados

A rotina de coleta de dados foi dividida em 3 etapas: 1ª etapa: Os indivíduos receberam informações acerca da pesquisa e do teste a ser realizado, assinatura do consentimento informado e preenchimento da ficha de avaliação (altura, peso, idade, tempo de treinamento e maturação biológica).

2ª etapa: Os atletas foram divididos em pequenos grupos de no máximo 8 indivíduos por turno de coleta, até que todos realizassem o teste. Os indivíduos realizaram um aquecimento na esteira com velocidade livre, após eram preparados para o teste máximo, onde foram colocados à máscara e o freqüencímetro, os atletas recebiam as últimas instruções para a realização do teste. Aqueles indivíduos que já haviam realizado o teste em outras ocasiões (avaliações do clube) foram os primeiros a executarem o teste, para a visualização dos demais atletas. Os atletas que apresentavam dificuldades na realização do teste tinham o tempo necessário para a familiarização com o equipamento até que se estivessem aptos.

3ª etapa: O teste de esforço máximo iniciava com velocidade de 7 km/h por um minuto e após ocorria incrementos de 0,5 km/h a cada 30 segundos até a exaustão. O teste poderia ser interrompido a qualquer momento pelo atleta ou pelo avaliador se o indivíduo apresentasse perda de coordenação motora, platô do  $\text{VO}_2$ , FC próxima da máxima (220-idade),  $\text{RER} > 1,15$  ou qualquer outra situação que colocasse em risco a integridade do indivíduo.

Todo o protocolo do teste do teste máximo já foi testado em estudos anteriores do programa (PPGCMH) com crianças e adolescentes. O estudo piloto foi considerado um trabalho de iniciação científica apresentado SIC-UFRGS/2005, e que posteriormente foi submetido em periódico internacional (anexos VII).

## 5.7 Análise Estatística

Inicialmente, para o tratamento dos dados, realizamos um estudo exploratório para verificar os pressupostos essenciais da análise paramétrica. A normalidade das distribuições foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade das variâncias foi testada com o teste de Levene.

Para a análise descritiva utilizamos a média e desvio padrão.

Utilizamos a análise de correlação de Pearson e Spearman no sentido de identificarmos as relações existentes entre as variáveis.

Para determinarmos a função potência (expoente alométrico), utilizamos a análise de regressão linear simples usando os dados já devidamente transformados em logaritmo natural. As análises foram realizadas separadamente para cada grupo maturacional.

Para verificarmos as possíveis diferenças entre os grupos maturacionais, utilizamos o teste de análise de variância One-Way (ANOVA) para amostras independentes e teste *post hoc* de Bonferroni.

Após verificarmos os pressupostos essenciais<sup>60</sup>, utilizamos a análise de regressão linear múltipla com o objetivo de identificar a contribuição relativa da estatura, massa corporal, tempo de treinamento e maturação biológica sobre as variáveis cardiorrespiratórias ( $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $VO_{2máx}$  nas 3 formas de expressão). Foi utilizado o método *Stepwise* para a inserção das variáveis no modelo de regressão. Este método visa encontrar as variáveis de maior poder explicativo da variável dependente, verificando a relação entre as variáveis independentes, tendendo a retirar do modelo aquelas que, em conjunto, tem menor poder explicativo.

O nível de significância adotado para todas as análises foi de  $p < 0,05$ . Todo o tratamento estatístico foi realizado no programa estatístico SPSS para *Windows* 10.0.

## 6. RESULTADOS

As características antropométricas e o tempo de treinamento dos jogadores de futebol divididos pelo estágio maturacional são apresentadas na tabela 1, onde a massa corporal e a estatura são significativamente diferentes entre os grupos ( $p < 0,05$ ), aumentando conforme a progressão dos estágios maturacionais, o tempo de treinamento apresentou apenas diferença significativa em favor do grupo PP em relação ao grupo Pp. A tabela 2 apresenta o perfil fisiológico dos jogadores divididos pelo estágio maturacional.

Os valores dos expoentes calculados através da análise de regressão linear após a obtenção do logaritmo da equação da função potência correspondiam a  $b = 1,02$ ;  $b = 0,72$  e  $b = 0,80$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Um expoente comum foi calculado e seu valor correspondeu  $b = 0,78$ . Entretanto, este valor do expoente comum é muito semelhante ao expoente  $b = 0,75$ , que é amplamente indicado pela literatura para a comparação entre grupos heterogêneos e jogadores de futebol. Assim adotamos o  $b = 0,75$  como o expoente comum da amostra.

O  $VO_2$  expresso na forma absoluta ( $ml \cdot min^{-1}$ ), apresentou diferenças significativas entre os grupos no  $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $VO_{2máx}$  ( $p < 0,05$ ), onde os valores aumentavam conforme o avanço dos estágios maturacionais (figura 1).

O  $VO_2$  expresso na forma relativa ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) não apresentou diferenças significativas entre os grupos no  $LV_1$  e  $VO_{2máx}$ , mas apresenta uma diferença significativa no  $LV_2$  em favor do grupos PP e P, que possuem valores superiores ao grupo Pp ( $p < 0,05$ ) (figura 2).

O  $VO_2$  expresso na forma alométrica ( $ml \cdot kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$ ) apresentou diferenças significativas no  $LV_1$  e  $LV_2$ , onde os grupos PP e P possuem valores superiores ao grupo Pp ( $p < 0,05$ ). Em relação ao  $VO_{2máx}$ , foram encontradas diferenças significativas entre os

grupos ( $p < 0,05$ ), onde os valores aumentavam conforme o avanço dos estágios maturacionais (figura 3).

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam as principais correlações entre as variáveis cardiorrespiratórias e as variáveis explicativas.

Após verificação dos pressupostos essenciais, utilizamos a análise de Regressão Linear Múltipla para estimarmos a contribuição relativa da massa corporal, estatura, maturação biológica, tempo de treinamento na variância das 3 formas de expressão do  $VO_{2máx}$ ,  $LV_1$  e  $LV_2$  (absoluta, relativa e alométrica, tab.6) <sup>60, 63, 64, 66</sup>.

A massa corporal e a maturação biológica em conjunto eram as variáveis explicativas para a variância no  $VO_{2máx}$  absoluto, correspondendo 82,8% ( $p < 0,05$ ). No  $VO_{2máx}$  relativo, a maturação biológica e a massa corporal eram as variáveis explicativas, correspondendo a 7,5% ( $p < 0,05$ ). Para o  $VO_{2máx}$  alométrico, a maturação biológica era a principal variável explicativa, correspondendo a 34,1% ( $p < 0,05$ ).

A massa corporal e a maturação biológica em conjunto eram as variáveis explicativas para a variância do  $LV_2$  absoluto e  $LV_2$  relativo correspondendo a 84,5% e 6,6% respectivamente. Para o  $LV_2$  alométrico, a principal variável explicativa era a maturação biológica, correspondendo a 32,2%.

A massa corporal era a principal variável explicativa na variância do  $LV_1$  absoluto em 71,8% e  $LV_1$  alométrico em 18,4%. Nenhuma variável inserida no modelo foi capaz de estimar a contribuição relativa na variância do  $LV_1$  relativo.

Não foram encontradas diferenças significativas nos valores de  $FCLV_1$ ,  $FCLV_2$  e  $FC_{máx}$  entre os grupos (tab.2).

A velocidade da corrida na esteira não apresentou diferenças significativas entre os grupos em VELLV<sub>1</sub>. Entretanto foram encontradas diferenças significativas na VELLV<sub>2</sub> em favor dos grupos PP e P quando comparados ao grupo Pp ( $p < 0,05$ ). Com relação à VEL<sub>máx</sub>, foram encontradas diferenças significativas entre os grupos ( $p < 0,05$ ), onde os valores aumentavam conforme o avanço dos estágios maturacionais (tab.2). Utilizamos a Análise de Regressão Linear Múltipla para estimar a contribuição relativa da massa corporal, estatura, tempo de treinamento, maturação biológica, LV<sub>2</sub> alométrico e VO<sub>2máx</sub> alométrico na variância da VEL<sub>máx</sub>. O conjunto das variáveis maturação biológica, VO<sub>2máx</sub> alométrico, massa corporal, LV<sub>2</sub> alométrico e estatura explicavam a variância da VEL<sub>máx</sub> em 65,9% (tab.6).

**Tabela 1. Características antropométricas e tempo de treino de jogadores de futebol divididos pelo estágio maturacional.**

	<b>Pp (n=24)</b>	<b>P (n=40)</b>	<b>PP (n=58)</b>
Idade (anos)	12,4±0,8	13,7±1,0 *	17,0±1,04 *#
Massa Corporal (Kg)	50,5±7,2	65,1±9,6 *	74,0±6,6 *#
Estatura (m)	158,7±5,9	171,3±7,3 *	178,2±6,6*#
Tempo Treino (anos)	5,4±1,9	5,7±2,1	7,2±2,9 *

*Dados expressos em média e desvio padrão, onde \* = estatisticamente diferente do grupo Pp, # = estatisticamente diferente do grupo P ( $p < 0,05$ ).*

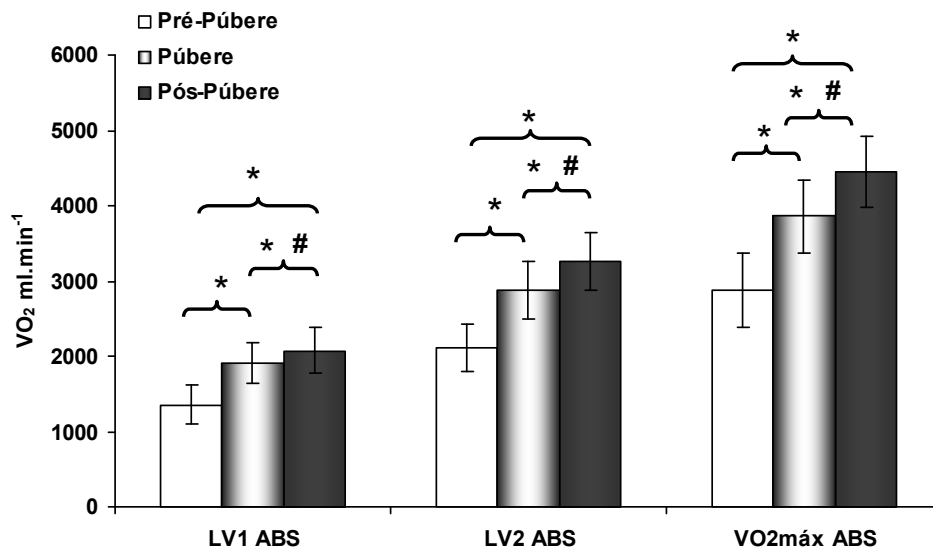


**Tabela 2. Perfil fisiológico dos jogadores divididos pelo estágio maturacional.**

Variável	Pp (n=24)	P (n=40)	PP (n=58)
VO <sub>2máx</sub> (ml.min <sup>-1</sup> )	2873±499	3862±482 *	4445±470*#
VO <sub>2máx</sub> (ml.kg. <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	57,7±4,4	60,4±3,4	60,1±4,9
VO <sub>2máx</sub> (ml.kg. <sup>-0,75</sup> min <sup>-1</sup> )	151,3±15,1	168,9±11,5 *	176,3±14,0 *#
LV <sub>2</sub> (l.min <sup>-1</sup> )	2117±310	2875±373 *	3261±374 *#
LV <sub>2</sub> (ml.kg. <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	42,0±3,9	44,3±3,1 *	44,1±3,1 *
LV <sub>2</sub> (ml.kg. <sup>-0,75</sup> min <sup>-1</sup> )	111,9±10,1	125,1±7,1 *	129,2±9,7 *
LV <sub>1</sub> (l.min <sup>-1</sup> )	1359±253	1919±272 *	2071±304 *#
LV <sub>1</sub> (ml.kg. <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	27,3±2,6	28,9±3,2	27,8±3,0
LV <sub>1</sub> (ml.kg. <sup>-0,75</sup> min <sup>-1</sup> )	71,6±9,0	82,4±9,1 *	81,9±9,1 *
FC <sub>máx</sub> (bpm)	195±8,8	194±6,9	193±7,2
FCLV <sub>2</sub> (bpm)	181±7,8	177±8,1	176±6,9
FCLV <sub>1</sub> (bpm)	150±12,1	147±10,9	144±13,1
LV <sub>2</sub> %VO <sub>2máx</sub>	73%± 5,3	74%±4,2	73%±4,9
LV <sub>1</sub> %VO <sub>2máx</sub>	47%±5,8	49%±4,4	47%±5,2
LV <sub>2</sub> %FC <sub>máx</sub>	92%±3,1	91%±2,3	91%±2,9
LV <sub>1</sub> %FC <sub>máx</sub>	76%±5,5	76%±4,9	75%±6,4
VEL <sub>máx</sub> (km/h)	15,7±1,4	17,9±1,2 *	18,8±0,9 *#
VELLV <sub>2</sub> (km/h)	13,0±1,2	14,4±0,9 *	14,7±0,9 *
VELLV <sub>1</sub> (km/h)	9,5±1,0	9,6±1,1	9,8±1,2

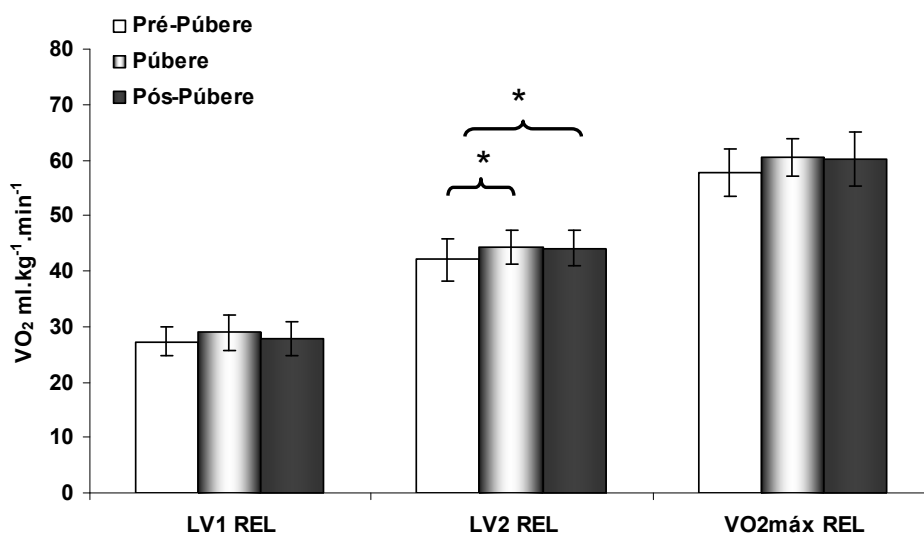
*Dados expressos em média e desvio padrão, onde \* = estatisticamente diferente do grupo Pp, # = estatisticamente diferente do grupo P (p < 0,05).*

**Figura 1. Expressão absoluta do LV<sub>1</sub>, LV<sub>2</sub> e VO<sub>2máx</sub> em jogadores de futebol**



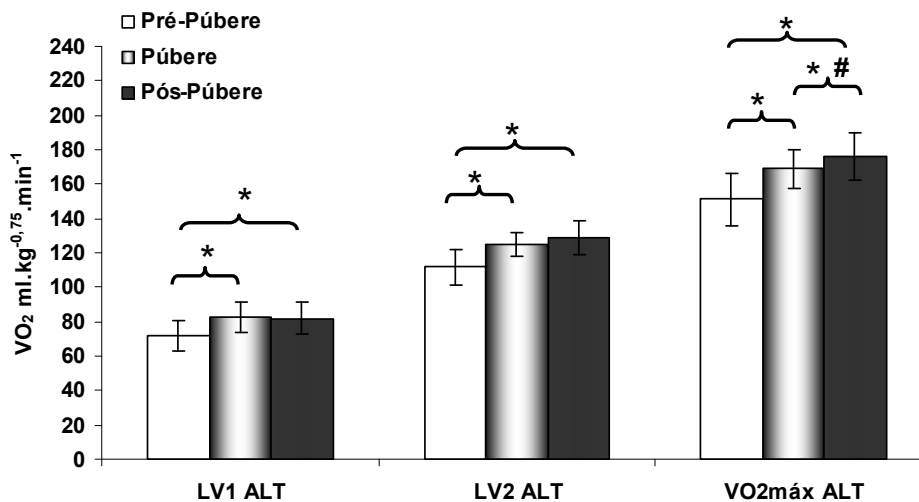
Dados expressos em média e desvio padrão, onde \* = estatisticamente diferente do grupo Pp, # = estatisticamente diferente do grupo P ( $p < 0,05$ ).

**Figura 2. Expressão relativa do LV<sub>1</sub>, LV<sub>2</sub> e VO<sub>2máx</sub> em jogadores de futebol**



Dados expressos em média e desvio padrão, onde \* = estatisticamente diferente do grupo Pp, # = estatisticamente diferente do grupo P ( $p < 0,05$ ).

**Figura 3. Expressão alométrica do  $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $VO_{2máx}$  em jogadores de futebol**



Dados expressos em média e desvio padrão, onde \* = estatisticamente diferente do grupo Pp, # = estatisticamente diferente do grupo P ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 3: Correlação do  $VO_{2máx}$  com as variáveis explicativas em jogadores de futebol**

		$VO_2$ Absoluto	$VO_2$ relativo	$VO_2$ alométrico
Estatura	r	0,857	0,058	0,505
	p	0,000*	0,529	0,000*
Maturação Biológica	$r_s$	0,753	0,126	0,497
	p	0,000*	0,176	0,000*
Massa Corporal	r	0,895	0,021	0,468
	p	0,000*	0,821	0,000*
Tempo Treino	r	0,254	0,016	0,163
	p	0,05*	0,861	0,73

\* Correlação significativa  $p < 0,05$ .

**Tabela 4: Correlação do LV<sub>1</sub> com as variáveis explicativas em jogadores de futebol**

		LV <sub>1</sub> Absoluto	LV <sub>1</sub> Relativo	LV <sub>1</sub> Alométrico
Estatura	r	0,783	0,011	0,405
	p	0,000*	0,903	0,000*
Massa Corporal	r	0,849	0,007	0,437
	p	0,000*	0,938	0,000*
Maturação Biológica	r <sub>s</sub>	0,601	-0,034	0,279
	p	0,000*	0,709	0,02*
Tempo Treino	r	0,187	-0,027	0,072
	p	0,041*	0,768	0,433

\* Correlação significativa  $p < 0,05$ .

**Tabela 5: Correlação do LV<sub>2</sub> com as variáveis explicativas em jogadores de futebol**

		LV <sub>2</sub> Absoluto	LV <sub>2</sub> Relativo	LV <sub>2</sub> Alométrico
Estatura	r	0,845	0,037	0,508
	p	0,000*	0,685	0,000*
Massa Corporal	r	0,913	0,011	0,524
	p	0,000*	0,901	0,000*
Maturação Biológica	r <sub>s</sub>	0,731	0,111	0,496
	p	0,000*	0,225	0,000*
Tempo Treino	r	0,299	0,147	0,241
	p	0,001*	0,105	0,008*

\* Correlação significativa  $p < 0,05$ .

**Tabela 6: Variáveis explicativas para o  $VO_{2máx}$ ,  $LV_1$  e  $LV_2$  (formas absoluta, relativa e alométrica) em jovens jogadores de futebol baseado na Análise de Regressão Linear Múltipla.**

Variáveis	Variáveis Explicativas	$\beta$ coeficiente	$R^2$	$R^2$ ajustado	P
$VO_{2máx}$ absoluto	Massa corporal	0,680	0,830	0,828	0,000*
	Maturação biológica	0,275			
$VO_{2máx}$ relativo	Maturação biológica	0,520	0,091	0,075	0,04*
	Massa corporal	-0,404			
$VO_{2máx}$ alométrico	Maturação biológica	0,589	0,347	0,341	0,000*
$LV_2$ absoluto	Massa corporal	0,770	0,847	0,845	0,000*
	Maturação biológica	0,183			
$LV_2$ relativo	Maturação biológica	0,458	0,082	0,066	0,006*
	Massa corporal	-0,347			
$LV_2$ alométrico	Maturação biológica	0,573	0,328	0,322	0,000*
$LV_1$ absoluto	Massa corporal	0,849	0,720	0,718	0,000*
$LV_1$ relativo	Nenhuma Variável	-	-	-	-
$LV_1$ alométrico	Massa corporal	0,437	0,191	0,184	0,000*
$VEL_{máx}$	Maturação biológica	0,611	0,673	0,659	0,000*
	$VO_{2máx}$ alométrico	0,202			
	Massa corporal	-0,542			
	$LV_2$ alométrico	0,261			
	Estatura	0,339			

\*  $\beta$ -coeficiente estatisticamente significativo  $p < 0,05$ .

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1 Consumo Máximo de Oxigênio em Jogadores de Futebol

Tradicionalmente, jogadores de futebol júnior possuem valores de  $VO_{2máx}$  inferiores a  $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  <sup>52, 55, 103</sup>. Stroyer et al (2004)<sup>103</sup> verificaram o  $VO_{2máx}$  em 3 grupos de jovens jogadores de futebol, classificados como elite (12 anos), não-elite (12 anos) e elite (14 anos). O  $VO_{2máx}$  correspondia a 58,7, 58,6 e 63,7  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre os grupos. Resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo. Ao contrário, outros autores encontraram diferenças significativas no  $VO_{2máx}$ , os valores correspondiam a 58,2 e 55,3  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  entre os grupos elite (12,3 anos) e não-elite ( 11,7 anos) de jogadores de futebol respectivamente <sup>49</sup>.

Valores semelhantes para  $VO_{2máx}$  foram encontrados por Chamari et al (2004)<sup>34</sup>, Impellizzeri et al (2004)<sup>55</sup> e Helgerud et al (2001)<sup>52</sup> para jogadores de futebol com 17,5, 17,6 e 18 anos de idade. Similarmente, nosso estudo encontrou resultados semelhantes em relação ao  $VO_{2máx}$  expresso na forma relativa em jovens jogadores de futebol divididos pelo estágio maturacional. Os valores correspondiam a  $57,7 \pm 4,4$ ;  $60,4 \pm 3,4$  e  $60,1 \pm 4,9$   $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  referente os grupos Pp (12,4 anos) P (13,7 anos) e PP (17,0 anos) respectivamente.

Por outro lado, Chamari et al (2005)<sup>36</sup> estabeleceram valores superiores ( $66,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , jogadores com 14 anos de idade) em comparação aos estudos citados anteriormente. Além do mais, McMillan et al (2005)<sup>70</sup> identificaram que um treinamento de *endurance* específico para o futebol de 8 semanas pode aumentar o  $VO_{2máx}$  de 63,4 para 69,8  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  em atletas com 16,9 anos de idade.

Estudos transversais têm indicado que o  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto ( $ml \cdot min^{-1}$ ) aumenta gradualmente e continuamente em meninos dos 8 aos 16 anos de idade. Após esta idade, o  $VO_{2m\acute{a}x}$  continua a aumentar lentamente<sup>5, 43, 62</sup>. Da mesma forma, o presente estudo verificou que o  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto aumenta significativamente com o avanço dos estágios maturacionais e conseqüentemente com o avanço da idade cronológica (12,4-17,0 anos) em jovens jogadores de futebol ( $p < 0,05$ ). Resultados semelhantes para o comportamento do  $VO_2$  absoluto em jovens jogadores de futebol foram encontrados por Hansen & Klausen (2004)<sup>49</sup>. O  $VO_2$  absoluto aumentava significativamente tanto no grupo elite (2,46 para 3,99  $l \cdot min^{-1}$ ,  $n=21$ ) como no grupo não elite (2,10 para 2,99  $l \cdot min^{-1}$ ,  $n=28$ ) ao longo de três anos e meio de acompanhamento.

Através da análise de Regressão Linear Múltipla podemos verificar a contribuição da massa corporal, estatura, maturação biológica e do tempo de treinamento na variância das 3 formas de expressão do  $VO_{2m\acute{a}x}$ ,  $LV_1$  e  $LV_2$  (absoluta, relativa e alométrica). Verificamos que as diferenças entre os grupos para o  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto podem ser explicadas em conjunto pela massa corporal e maturação biológica que possuem um poder de explicação para a variabilidade dos dados de 82,8%.

Entretanto, durante o crescimento e a maturação biológica o  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto é altamente correlacionado com tamanho corporal, ocorrendo um aumento significativo dos componentes que determinam o  $VO_{2m\acute{a}x}$ , como pulmões, coração e músculo esquelético<sup>96</sup>. Conseqüentemente, os valores de  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto aumentam com o desenvolvimento das crianças. O  $VO_{2m\acute{a}x}$  de um menino pode aumentar de 1,2  $l \cdot min^{-1}$  para 2,7  $l \cdot min^{-1}$  dos 6 aos 12 anos de idade<sup>96</sup>. Durante a puberdade este aumento é acelerado devido aos hormônios anabólicos<sup>96</sup>. Assim, para efeitos independentes da idade cronológica, maturação biológica

e sexo sobre o  $VO_2$ , é extremamente importante examinar a confusa influência do tamanho corporal, ajustando-o devidamente <sup>7,96</sup>.

Uma forma amplamente utilizada na literatura para tentar ajustar o  $VO_{2máx}$  ao tamanho corporal, é expressá-lo na forma relativa à massa corporal ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ). Ao contrário da forma absoluta, quando o  $VO_{2máx}$  é expresso na forma relativa, não existem incrementos com a idade cronológica nem com o estágio maturacional, ou seja, o  $VO_{2máx}$  apresenta um comportamento relativamente constante durante o processo maturacional (12-18 anos) <sup>5,9,96,114</sup>. Isto sugere que o mecanismo de controle do  $VO_{2máx}$  é independente do tamanho corporal <sup>96</sup>. Nossos resultados estão de acordo com a literatura <sup>5,9,96,114</sup>, demonstrando que para jogadores de futebol o  $VO_{2máx}$  relativo apresenta um comportamento constante ao longo de todo o processo maturacional. A regressão linear demonstrou que a maturação sexual e a massa corporal eram as variáveis explicativas para a variância no  $VO_2$  relativo, correspondendo a 7,5%. Malina et al (2004)<sup>64</sup> verificaram que a maturação biológica e o tempo de treinamento eram variáveis explicativas da resistência aeróbia em 21% em jogadores portugueses de 13,2-15,1 anos.

Recentemente, este método tradicional de expressar o  $VO_{2máx}$  ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) tem sido duramente contestado por não remover adequadamente os efeitos da massa corporal <sup>4,5,7,9,36,43,51,74,76,78,80,96,114,118</sup>. Durante os últimos anos, existe um importante debate sobre o melhor método para normalizar o  $VO_{2máx}$  e remover os efeitos da massa corporal em adultos e crianças.

Welsman & Armstrong (2000)<sup>113</sup> enfatizam que não existe um método universalmente correto de normalizar o  $VO_{2máx}$  e remover os efeitos da massa corporal. Todos os métodos apresentam suas limitações, sendo que a técnica de normalização depende da natureza da pesquisa e que sua validade seja observada dentro de um



determinado contexto. Apesar disto, vários autores têm sugerido que para facilitar as comparações entre grupos heterogêneos em tamanho corporal, a maneira mais apropriada de remover os efeitos da massa corporal é utilizar a função potência ( $VO_{2max} = aM^b$ ), onde (a) é uma constante de escala e (b) é a valor do expoente referente à massa corporal. Este expoente pode ser estimado através da análise de regressão linear após obtermos o logaritmo da equação da função potência  $\log e (VO_{2m\acute{a}x}) = \log a + b \log m$ .

Atualmente existe um considerável debate sobre qual o valor que este expoente pode assumir (ex.  $b = 0,66$ ;  $b = 0,75$  ou  $b > 0,75$ )<sup>1, 9, 18, 51, 76, 96, 104</sup>, sendo este expoente altamente específico de uma determinada amostra. Estudos com crianças demonstram que este expoente pode variar de  $b = 0,37$  a  $b = 1,17$ ,<sup>25, 96</sup> com valor médio de  $b = 0,83$ <sup>96</sup>. Tem sido sugerido que o tamanho da amostra, a composição corporal, o somatotipo, treinamento e o sexo podem ser responsáveis pela grande variação nos valores dos expoentes alométricos em crianças<sup>96</sup>.

Em nosso estudo, calculamos os expoentes que melhor representavam à amostra, levando em consideração o estágio maturacional. Os valores dos expoentes correspondiam a  $b = 1,02$ ;  $b = 0,72$  e  $b = 0,80$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. O valor do expoente comum correspondia a  $b = 0,78$ . Entretanto, este valor é muito semelhante ao expoente  $b = 0,75$ , que é amplamente indicado pela literatura. Adotamos o expoente  $b = 0,75$  de acordo com os autores Wisløff et al.(1998)<sup>118</sup>, Helgerud et al. (2001)<sup>52</sup>, Hoff et al.(2002)<sup>54</sup> e Chamari et al. (2004)<sup>34</sup>, que utilizam este valor para comparar jogadores de futebol com diferentes massas corporais, pois o  $VO_{2max}$  não aumenta em direta proporção a massa corporal<sup>9, 51, 76, 96</sup>. Outros autores também concordam que o expoente comum  $b = 0,75$  é o mais adequado para comparar indivíduos heterogêneos em tamanho corporal<sup>1, 51, 96, 99</sup>.

Quando o  $VO_{2\text{máx}}$  é expresso na forma alométrica ( $\text{ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$ ), onde teoricamente o efeito da massa corporal foi devidamente ajustado, seus valores correspondem a  $151,3\pm 15,1$ ,  $168,9\pm 11,5$  e  $176,3\pm 14,0$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Chamari et al.(2004)<sup>34</sup> ( $177 \pm 13$ ) e McMillan et al.(2005)<sup>70</sup>  $183,3\pm 13,2$ . Resultados superiores aos nossos dados foram encontrados por Hoff et al.(2002)<sup>54</sup>  $200,4\pm 19,4$  e inferiores verificados por Helgerud et al. (2001)<sup>52</sup>  $139,9\pm 15,5$  e Stroyer et al. (2004)<sup>103</sup>  $148,2$ . Estas diferenças entre os estudos podem ser devidas as diferenças entre as idades cronológicas, estágios maturacionais, tempo de exposição ao treinamento ou período de avaliação (pré-temporada ou período competitivo).

Diferentemente da expressão relativa, verificamos que o  $VO_{2\text{max}}$  apresenta um aumento progressivo conforme avançam os estágios maturacionais. Resultados semelhantes aos nossos foram encontrados por Welsman et al (1996).<sup>114</sup> Os autores utilizaram tanto a expressão relativa como a alométrica para remover os efeitos do tamanho corporal sobre o  $VO_2$  dos grupos pré-púberes ( $n=24$ ), púberes ( $n=26$ ) e adultos ( $n=16$ ). A expressão relativa estava de acordo com a literatura, demonstrando que não existia diferenças significativas no  $VO_2$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) entre os grupos. Ao contrário, a análise alométrica ( $\text{ml.kg}^{-0,80}.\text{min}^{-1}$ ) apresentou um aumento progressivo significativo do  $VO_2$  entre os grupos.

Estas descobertas alteram a interpretação convencional do comportamento do  $VO_{2\text{máx}}$  durante o crescimento e a maturação biológica de crianças <sup>6</sup>, encontrando suporte no presente estudo.

Interessantemente, quando os dados são expressos na forma alométrica, que teoricamente tem sido indicada como superior aos demais modelos, a maturação biológica

passa a ser a principal variável explicativa da variância do  $VO_{2m\acute{a}x}$  alométrico, correspondendo 34,1%.

Embora a relação entre o  $VO_{2m\acute{a}x}$  e o tamanho corporal seja bem documentada e algumas vezes mal interpretada, relativamente poucos estudos tem investigado a relação entre o  $VO_{2m\acute{a}x}$  e a maturação biológica<sup>6,9</sup>.

Malina et al (2004)<sup>64</sup> estimaram a contribuição da experiência, do tamanho corporal e do estágio maturacional nas variações das capacidades funcionais de jogadores de futebol com idades de 13,2 – 15,1 anos. Os autores verificaram que a maturação biológica e o tempo de treinamento eram variáveis explicativas da resistência aeróbia em 21%.

Armstrong et al (1999)<sup>9</sup> verificaram a influência do sexo, do crescimento e da maturação sobre o  $VO_{2pico}$  em crianças de 11-13. Os autores verificaram que maturação biológica tem efeito sobre o  $VO_{2pico}$  em crianças destreinadas independentemente do tamanho corporal. Posteriormente, Armstrong & Welsman (2001)<sup>7</sup> confirmaram as descobertas do estudo anterior, demonstrando que o estágio maturacional era uma variável explicativa do  $VO_{2pico}$  independentemente do tamanho corporal e da massa adiposa em crianças<sup>7</sup>.

Beunen et al (2002)<sup>25</sup> analisaram o desenvolvimento alométrico intraindividual da potência aeróbia em 73 meninos anualmente dos 8 aos 16 anos de idade e relacionavam a potência aeróbia com a maturação biológica e o nível de atividade física. Os autores verificaram que o  $VO_{2pico}$  era largamente explicado pela massa corporal, mas o nível de atividade física e sua interação com a maturação biológica contribuíam independentemente para o  $VO_{2pico}$  mesmo após a massa corporal ter sido ajustada.

Da mesma forma, nosso estudo verificou que a maturação biológica tem um claro efeito sobre o  $VO_{2m\acute{a}x}$  expresso nas formas absoluta e alométrica, sendo esta uma variável

explicativa em ambos os casos, demonstrando um aumento progressivo conforme avançam os estágios maturacionais.

Embora o  $VO_{2máx}$  relativo apresente um comportamento constante durante o processo maturacional, a maturação biológica demonstrou ser uma variável levemente explicativa do  $VO_{2máx}$  expresso na forma relativa. Armstrong et al (1998)<sup>8</sup> argumentam que os estudos que não controlaram adequadamente a massa corporal pela alometria, esta relação entre o  $VO_{2máx}$  e a maturação biológica pode ser obscurecida pelo uso inapropriado da normalização dos valores pela expressão relativa a massa corporal ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ). Os autores verificaram o  $VO_{2máx}$  de 93 meninos e 83 meninas de 12 anos de idade e constataram que o  $VO_{2máx}$  expresso na forma relativa permanecia constante com a maturação. Quando os dados eram expressos na forma alométrica, o  $VO_{2máx}$  apresentava um aumento com a maturação em meninos e meninas e uma significativa influência da maturação biológica foi observada.

Por outro lado, a maturação biológica influencia positivamente a capacidade aeróbia por aumentar o tamanho corporal, particularmente as dimensões do coração, pulmões, músculos e sistema circulatório<sup>96</sup>. Entretanto, vários estudos citados anteriormente apontam que a maturação biológica tem efeito sobre o  $VO_{2máx}$  independentemente do tamanho corporal. Este efeito poderia ser justificado pela equação de Fick, onde  $VO_2 = FC \times \text{volume de ejeção} \times \text{dif}_{a-v} \text{ de oxigênio}$ . Analisando esta fórmula, a FC poderia ser eliminada como um fator determinante do  $VO_{2máx}$ , porque seus valores são constantes em crianças e adolescentes, independentemente do nível de capacidade aeróbia, idade cronológica, sexo e maturação biológica<sup>6, 96</sup>. Esta afirmação encontra suporte no presente estudo, pois a FC não apresentava diferenças significativas entre os grupos Pp, P e PP tanto

na  $FC_{m\acute{a}x}$ , como nos valores referentes a  $FCLV_1$  e  $FCLV_2$ , o que demonstra que a FC é independente da maturação biológica.

A maturação biológica poderia ter efeito sobre a *diferença arterio-venosa de oxigênio* por aumentar as concentrações de hemoglobina em resposta ao aumento dos níveis de testosterona. No entanto, alguns estudos demonstram que as concentrações de hemoglobina não representam um parâmetro significativo para as variações no  $VO_{2m\acute{a}x}$  em crianças<sup>7,9</sup>.

Na perspectiva da equação de Fick, o principal fator que diferencia o nível fisiológico de capacidade aeróbia em crianças é o volume máximo de ejeção<sup>96</sup>. Seus valores são maiores em meninos atletas ( $76 \pm 6 \text{ ml.m}^{-2}$ ) do que em meninos não atletas ( $60 \pm 11 \text{ ml.m}^{-2}$ )<sup>94</sup>. Embora estas variáveis não tenham sido verificadas no presente estudo, elas podem contribuir para explicar as diferenças no  $VO_{2m\acute{a}x}$  durante a maturação biológica de jovens jogadores de futebol.

## 7.2 Limiar Anaeróbio em Jogadores de Futebol

Os valores de LAn (representados pelo  $LV_2$ ) podem ser expressos de várias maneiras, como por exemplo em %  $FC_{m\acute{a}x}$ , %  $VO_{2m\acute{a}x}$  ou ainda a valores correspondentes a FC (bpm) e  $VO_2$  ( $\text{ml.min}^{-1}$ ,  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ,  $\text{ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$ ). Os valores de  $LV_2$  em jogadores de futebol são compreendidos entre aproximadamente 80% e 90% da  $FC_{m\acute{a}x}$ <sup>27, 32, 34, 52, 103</sup>. Nossos resultados demonstraram que o  $LV_2$  correspondia a 92%, 91% e 91% da  $FC_{m\acute{a}x}$  nos os grupos Pp, P e PP respectivamente.

Quando o  $LV_2$  é expresso em % $VO_{2m\acute{a}x}$ , Hoff et al (2002)<sup>54</sup> verificaram que este correspondia a 75% em jogadores com 22 anos de idade. Chamari et al (2005)<sup>36</sup> identificaram que o  $LV_2$  correspondia a 88,8% em jogadores com 14 anos de idade e

90,1% para jogadores com 17 anos de idade<sup>34</sup>. Helgerud et al (2001)<sup>52</sup> demonstraram que este valor correspondia a  $82,4 \pm 3,1\%$  em jogadores com 18 anos de idade. No presente estudo, encontramos valores de  $73 \pm 5,3\%$ ,  $74 \pm 4,2\%$  e  $73 \pm 4,9\%$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente.

Identificamos uma limitação de estudos que verificaram o  $LV_1$  e  $LV_2$  em jovens jogadores de futebol, visto que, a intensidade de trabalho médio, mensurada como  $\%FC_{\text{máx}}$  durante os 90 minutos de uma partida de futebol é muito próxima do  $LV_2$ . Curiosamente, não encontramos nenhum estudo verificando o comportamento do  $LV_1$  e  $LV_2$  durante a maturação biológica em jogadores de futebol e nem se esta exerce algum efeito sobre o mesmo. Assim, a discussão sobre este tópico torna-se limitada.

Quando o  $LV_2$  é expresso em função do  $VO_2$  absoluto, seus valores correspondem a  $2117 \pm 310$ ,  $2875 \pm 373$  e  $3261 \pm 374$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Foi encontrada diferença significativa entre os grupos ( $p < 0,05$ ), onde os valores aumentavam conforme o avanço dos estágios maturacionais, demonstrando um aumento progressivo similar ao  $VO_{2\text{máx}}$  absoluto. A maturação biológica juntamente com a massa corporal eram as variáveis explicativas do  $LV_2$ , correspondendo a  $84,5\%$ , apresentando um claro efeito da maturação biológica e da massa corporal sobre o  $LV_2$  absoluto.

Da mesma forma que o  $VO_{2\text{máx}}$ , para comparações adequadas entre os grupos também é necessário ajustar o efeito da massa corporal. Quando expressamos o  $LV_2$  em função do  $VO_2$  relativo, os valores correspondiam a  $42 \pm 3,9$ ,  $44,3 \pm 3,1$  e  $44,1 \pm 3,1$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente.

Encontramos diferenças significativas em favor dos quando grupos PP e P em relação ao grupo Pp ( $p < 0,05$ ), o que demonstra que o  $LV_2$  apresenta um aumento durante a transição da pré-puberdade para a puberdade e depois permanece constante. A massa corporal juntamente com maturação biológica eram as variáveis explicativas para o  $LV_2$

relativo, correspondendo a 6,6%. Este resultado demonstra claramente que expressão relativa ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) falha em ajustar adequadamente os efeitos da massa corporal tanto para o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  como para o  $\text{LV}_2$ .

Entretanto, quando expressamos o  $\text{LV}_2$  em função do  $\text{VO}_2$  alométrico, e teoricamente o efeito da massa corporal foi devidamente ajustado, os valores correspondiam a  $111,9\pm 10,1$ ,  $125,1\pm 7,1$  e  $129,2\pm 9,7$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Da mesma forma que o  $\text{LV}_2$  relativo, encontramos diferenças significativas em favor dos grupos PP e P em relação ao grupo Pp ( $p<0,05$ ), o que confirma que o  $\text{LV}_2$  apresenta claramente um aumento durante a transição da pré-puberdade para a puberdade e depois permanece constante. Este fato demonstra um consistente efeito da maturação biológica sobre o  $\text{LV}_2$ , visto que a maturação era a principal variável explicativa do  $\text{LV}_2$  alométrico, correspondendo a 32,2%.

Nossos resultados demonstraram que o  $\text{LV}_1$  expresso em % da  $\text{FC}_{\text{máx}}$  correspondia a  $76\pm 5,5\%$ ,  $76\pm 4,9\%$  e  $75\pm 6,4\%$  da  $\text{FC}_{\text{máx}}$  nos os grupos Pp, P e PP respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Klentrou et al (2006),<sup>61</sup> demonstrando que o  $\text{LV}_1$  expresso em % $\text{FC}_{\text{máx}}$  correspondia  $76,4\pm 4,2\%$  em crianças de 10 anos de idade praticantes de futebol e hóquei.

Quando o  $\text{LV}_1$  é expresso em % $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , os valores correspondiam a  $47\pm 5,8\%$ ,  $49\pm 4,4\%$  e  $47\pm 5,2\%$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Klentrou et al (2006)<sup>61</sup> encontraram resultados superiores aos nossos, correspondendo a  $64,9\pm 7,1\%$  em meninos de 10 anos de idade. Quando compararam o  $\text{LV}_1$  e  $\text{LV}_2$  entre crianças e adultos, verificaram que as crianças apresentavam um  $\text{LV}_1$  significativamente superior e  $\text{LV}_2$  semelhante ao dos adultos, atribuindo as diferenças ao menor potencial enzimático da via glicolítica e ao padrão ventilatório em resposta ao exercício. Ratel et al (2002)<sup>89</sup> investigaram o balanço ácido-base durante 10 *sprints* no cicloergômetro em crianças e

adultos. Os autores concluíram que as crianças tinham uma maior eficiência na regulação da ventilação quando relacionada ao equilíbrio ácido-básico induzido pela acidose láctica. Usando o método de espectroscopia de ressonância magnética nuclear de fósforo, após exercício até a exaustão, tem sido apresentado que o pH nos músculos gastrocnêmio e sóleo de crianças Pp somente diminui de 0,11 para 0,23 unidades, enquanto a diminuição em adultos é de 0,36 para 0,38 em adultos<sup>106</sup>.

Quando o  $LV_1$  é expresso em função do  $VO_2$  absoluto, seus valores correspondem a  $1359 \pm 253$ ,  $1919 \pm 272$  e  $2071 \pm 304$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Foi verificada diferença significativa entre os grupos ( $p < 0,05$ ), onde os valores aumentavam conforme o avanço dos estágios maturacionais, demonstrando um aumento progressivo similar ao  $LV_2$  e ao  $VO_{2máx}$  absoluto. A massa corporal era a principal variável explicativa do  $LV_1$ , correspondendo a 71,8%, demonstrando um claro efeito da massa corporal sobre o  $LV_1$  absoluto.

Da mesma forma que o  $VO_{2máx}$  e  $LV_2$ , para comparações adequadas entre os grupos também é necessário ajustar o efeito da massa corporal. Quando expressamos o  $LV_1$  em função do  $VO_2$  relativo, os valores correspondiam a  $27,3 \pm 2,6$ ,  $28,9 \pm 3,2$  e  $27,8 \pm 3,0$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos, o que demonstra que o  $LV_1$  apresenta um comportamento constante durante o processo de maturação biológica. A regressão linear demonstrou que nenhuma variável era significativamente explicativa para o  $LV_1$  relativo.

Entretanto, quando expressamos o  $LV_1$  em função do  $VO_2$  alométrico, e teoricamente o efeito da massa corporal foi devidamente ajustado, os valores correspondiam a  $71,6 \pm 9,0$ ,  $84,2 \pm 9,1$  e  $81,9 \pm 9,1$  para os grupos Pp, P e PP respectivamente. Encontramos diferenças significativas em favor dos grupos PP e P em relação ao grupo Pp ( $p < 0,05$ ), o que demonstra que o  $LV_1$  apresenta um aumento durante a



transição da pré-puberdade para a puberdade e depois permanece constante. A massa corporal era a principal variável explicativa do  $LV_1$  alométrico, correspondendo a 18,4%.

Outras possíveis explicações acerca das diferenças encontradas nos limiares ventilatórios ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) e  $VO_{2máx}$  dos jovens jogadores de futebol, embora não verificadas pelo presente estudo, poderiam ser atribuídas a alterações no padrão de utilização do substrato, metabolismo enzimático, distribuição do tipo de fibras musculares e aos estoques de glicogênio muscular.

Klentrou et al (2006)<sup>61</sup> atribuíram as diferenças no  $LV_1$  e  $LV_2$  entre crianças e adultos ao menor potencial enzimático da via glicolítica e ao padrão ventilatório em resposta ao exercício. Ratel et al (2002)<sup>89</sup> concluíram que as crianças tinham uma maior eficiência na regulação da ventilação quando relacionada ao equilíbrio ácido-básico induzido pela acidose láctica em comparação aos adultos.

Stephens et al (2006),<sup>101</sup> examinaram a utilização do substrato durante o exercício em meninos classificados como Pp (10,3 anos) P (12,3 anos) PP (15,0 anos) e jovens adultos (22 anos). Os indivíduos realizavam exercício nas intensidades de 30%, 40%, 50%, 60% e 70 % do  $VO_{2máx}$ . Diferenças significativas entre os grupos eram estabelecidas para lactato, RER, % da utilização de carboidrato e gordura, sugerindo um efeito da maturação sobre a utilização do substrato durante o exercício. Embora diferenças significativas não fossem encontradas em todas as intensidades, foi verificado que os grupos Pp e P utilizavam um maior % de gordura, um menor % percentual de carboidrato e apresentavam uma menor concentração de lactato sanguíneo do que os grupos PP e adultos. Não foram encontradas diferenças entre os grupos Pp e P ou entre PP e adultos em nenhuma das intensidades, sugerindo que o desenvolvimento do perfil metabólico semelhante ao dos adultos ocorre principalmente na transição do meio para o final da puberdade, estando totalmente completo ao final deste processo. Os autores sugerem que estas diferenças no

padrão de utilização do substrato podem ser devido a diferenças no metabolismo enzimático de crianças e adultos.

Estes resultados encontram suporte em nosso estudo, embora analisando outras variáveis, verificamos que as principais diferenças entre os grupos no  $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $VO_{2máx}$  ocorriam durante a transição da pré-puberdade para a puberdade.

Alguns estudos indicam que crianças possuem limitações no seu metabolismo glicolítico, sendo a enzima fosfofrutoquinase (PFK) indicada como o principal fator limitante, esta converte a glicose 6-fosfato em frutose 1-6 difosfato<sup>96</sup>. Eriksson & Saltin (1974)<sup>46</sup> descreveram que as concentrações PFK eram menores em crianças do que em adultos. Atualmente considera-se que as crianças apresentam uma atividade enzimática 30% menor da PFK em comparação aos adultos<sup>26, 109</sup>. Entretanto, a PFK aumenta com a idade cronológica, mas indivíduos Pp apresentam uma menor atividade desta enzima do que indivíduos PP, o que sugere uma influência da maturação biológica<sup>96</sup>.

A menor atividade das enzimas PFK e da LDH em crianças Pp poderiam explicar as diferenças entre crianças e adultos em relação à produção de lactato muscular e a capacidade glicolítica<sup>26, 44</sup>.

Neste sentido, Kaczor et al (2005),<sup>57</sup> compararam os efeitos da idade sobre a atividade das enzimas lactato desidrogenase (LDH), adenilato quinase (AK) e creatina quinase (CK) em crianças (n=20, 3-11 anos) e adultos (n=12, 29-54 anos). Foi verificado que a atividade da LDH era 4 vezes maior em adultos, a AK era 20% menor nas crianças e a CK estava 28% menor nas crianças quando comparado com os adultos. Quando à atividades das enzimas eram expressas em relação ao conteúdo protéico total, somente a LDH permanecia significativamente menor nas crianças. Os autores consideraram a menor atividade da LDH como o fator mais importante para o menor desempenho anaeróbio em crianças. Sugerindo ainda que o menor desempenho anaeróbio das crianças em relação aos

adultos poderia ser devido à menor massa muscular, menor conteúdo protéico ou menor % de fibras musculares de contração rápida.

Diferenças na composição das fibras musculares poderiam explicar a menor atividade glicolítica em crianças comparadas a adultos. O percentual da distribuição das fibras tipo II é menor na pré-adolescência do que em adultos e estas diferenças são atenuadas durante a maturação biológica,<sup>109, 110</sup> possivelmente devido a um aumento da testosterona. Este aumento no percentual de fibras do tipo II que ocorre durante a maturação biológica pode dar vantagens aos indivíduos PP em relação aos indivíduos Pp e P no desempenho de exercício de alta intensidade<sup>109</sup>. Esta afirmação encontra suporte no presente estudo, onde indivíduos PP apresentavam valores de  $VEL_{máx}$  significativamente maiores do que os grupos P e Pp ( $p < 0,05$ ). A análise de regressão demonstrou que maturação biológica,  $VO_{2máx}$  alométrico, massa corporal,  $LV_2$  alométrico e estatura em conjunto eram as variáveis explicativas da  $VEL_{máx}$  em 65,9%.

Outro fator que poderia explicar as diferenças no desempenho aeróbio de crianças e adultos são os níveis de glicogênio muscular, que demonstram serem de 50% a 60% menores em crianças do que em adultos,<sup>44, 45</sup> mas durante a adolescência alcança níveis similares aos dos adultos<sup>26</sup>.

Finalmente, verificamos que tanto o  $LV_2$  como o  $LV_1$  apresentam um aumento da pré-puberdade para a puberdade quando a massa corporal é ajustada devidamente. A maturação biológica demonstra um claro efeito sobre o  $LV_2$  em todas as formas de expressão (absoluta, relativa e alométrica). Curiosamente, embora existam diferenças entre os grupos no  $LV_1$  em duas formas de expressão (absoluta e alométrica), a maturação biológica não demonstrou ser uma variável explicativa, ao contrário, a massa corporal era a

principal variável explicativa. Este fato nos leva a especular que a expressão alométrica não removeu adequadamente os efeitos da massa corporal para esta variável.

### **7.3 VO<sub>2máx</sub>, Limiar Anaeróbio e Maturação Biológica - Perspectivas para o Treinamento do Futebol.**

O desempenho no futebol é multifatorial e suas atividades físicas são de características intermitentes. A corrida é a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e chute são fatores importantes para um alto desempenho no futebol<sup>37</sup>. Jogadores de futebol percorrem em uma partida cerca de 9-12 km<sup>52, 72, 93, 107</sup>. As atividades realizadas no jogo são aproximadamente de 10-20 *sprints*, que ocorrem aproximadamente a cada 90s e tem duração média de 2-4s<sup>16</sup>, corridas de alta intensidade a cada 70s, cerca de 15 desarmes e 50 envolvimentos com bola, além de mudanças de direção e grande esforço muscular para manter o equilíbrio e o controle de bola contra a pressão do adversário<sup>16</sup>.

Entretanto, os atletas necessitam recuperar suas reservas energéticas em pequenos intervalos ou ainda durante exercício de baixa intensidade. Durante este período, os níveis de ATP e PCr são restaurados em 70% em aproximadamente 30s e totalmente restaurados dentro de aproximadamente 3 a 5 minutos<sup>108</sup>. Como no futebol uma atividade de alta intensidade ocorre aproximadamente a cada 70s, o metabolismo glicolítico anaeróbio poderia ser necessário para suprir estas demandas energéticas. A consequência metabólica é um aumento das concentrações H<sup>+</sup>, diminuição do pH, aumento das concentrações de lactato, sendo que fatores podem afetar o desempenho dos jogadores<sup>108</sup>.

Tem sido sugerido que uma elevada capacidade aeróbia melhora a recuperação entre os exercícios intermitentes de alta intensidade, provavelmente por remover mais rapidamente o lactato sanguíneo e restaurar os níveis de ATP-PCr. Este fato demonstra a importância de um atleta possuir um elevado  $VO_{2máx}$  e LAn. Provavelmente, estes atletas conseguiriam suportar exercícios de alta intensidade com uma menor parcela de energia proveniente da via glicolítica anaeróbia, assim diminuindo as contrações de lactato e  $H^+$ , resultando em uma melhor manutenção do desempenho físico.

As adaptações induzidas pelo treinamento aeróbio têm sido extensivamente estudadas em adultos, entretanto, existem muitas controvérsias em relação às respostas do treinamento aeróbio em crianças e adolescentes. Tem sido sugerido que crianças não são aptas a aumentarem seu  $VO_{2máx}$  com o treinamento aeróbio, principalmente antes da puberdade, ao contrário, tem sido verificado efeitos positivos do treinamento em crianças pré-púberes<sup>17, 95</sup>.

Baquet et al (2003)<sup>17</sup> analisaram os procedimentos aplicados à prescrição e aos métodos de treinamento para verificarem o impacto real que o treinamento aeróbio exerce sobre o  $VO_{2máx}$  de crianças e adolescentes. Os autores excluíram os estudos que não atendiam a certos critérios como, ausência de grupo controle, procedimentos estatísticos inadequados, tamanho amostral insuficiente, protocolo de treinamento inapropriado, populações especiais e estudos que não apresentavam os dados sobre  $VO_{2máx}$ . Foi levado em consideração o controle da maturação biológica, constituição dos grupos, consistência entre o treinamento e os procedimentos, sendo que dos 51 estudos analisados, 21 apenas eram selecionados. Os resultados de maneira geral sugerem que o treinamento aeróbio aumenta o  $VO_{2máx}$  de 5-6% em crianças e adolescentes independentemente de sexo ou estágio maturacional. Quando somente os estudos que apresentavam um significativo efeito do treinamento aeróbio eram considerados, o  $VO_{2máx}$  aumentava de 8-10%.

Os autores sugerem que as intensidades de treinamento sejam superiores a 80% da  $FC_{m\acute{a}x}$  para esperar um aumento significativo do  $VO_{2m\acute{a}x}$  em crianças e adolescentes.

Mais especificamente no futebol, McMillan et al (2005)<sup>70</sup> verificaram que após 10 semanas de treinamento aeróbio específico para o futebol (90-95% $FC_{m\acute{a}x}$ ), o  $VO_{2m\acute{a}x}$  aumentava de 63,4 para 69,8  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  em 11 jogadores (16,9 anos), sem que ocorresse prejuízos no desempenho de força, saltos ou *sprints*.

Assumindo o pressuposto que crianças e adolescentes respondem positivamente ao treinamento aeróbio, onde aumentos no  $VO_{2m\acute{a}x}$  de 5-10% têm sido verificados, este fato demonstra que o treinamento aeróbio pode ser um componente importantíssimo para o desempenho do futebol moderno. Recentemente, tem sido apresentado que um aumento de 11% no  $VO_{2m\acute{a}x}$  após 8 semanas de treinamento com jovens jogadores de futebol, reflete um incremento de 20% na distância percorrida total de uma partida, aumento de 23% nos envoltimentos com bola e um aumento de 100% no número de *sprints* realizados por cada jogador<sup>52</sup>. Estas são algumas das vantagens que demonstram a relação entre uma alta capacidade aeróbia e desempenho no futebol moderno<sup>117</sup>.

No presente estudo foi verificado que o  $VO_{2m\acute{a}x}$  apresenta um aumento progressivo durante o processo maturacional em duas formas de expressão (absoluta e alométrica), onde a maturação biológica demonstrou ser uma variável explicativa. Este fato demonstra que a maturação biológica exerce um claro efeito sobre o  $VO_{2m\acute{a}x}$  de jovens jogadores de futebol, sendo importante o seu controle, pois a maturação biológica é relacionada com o desempenho físico e atletas mais avançados no processo maturacional possuem níveis maiores de força, potência e capacidade aeróbia em relação aos indivíduos menos avançados.

Recentemente, um efeito da maturação biológica sobre as habilidades específicas do futebol tem sido constatado em jovens jogadores de futebol<sup>63, 66</sup>. Malina et al (2005)<sup>63</sup> verificaram que a maturação biológica tem efeito positivo sobre as habilidades específicas do futebol, como o controle da bola, controle da bola com a cabeça, drible em velocidade com passe e chute. Os autores concluíram que indivíduos mais avançados no processo maturacional apresentam um melhor desempenho nestas 4 habilidades específicas.

Este fato tem grande impacto na detecção de talentos, pois se a maturação biológica não for controlada, os indivíduos que apresentam um processo maturacional mais lento geralmente serão excluídos e indivíduos mais adiantados no processo maturacional serão favorecidos<sup>65, 88</sup>.

Verificamos que os limiares ventilatórios apresentam um aumento da pré-puberdade para a puberdade quando a massa corporal é ajustada devidamente. A maturação biológica demonstra um claro efeito sobre o  $LV_2$  em todas as formas de expressão (absoluta, relativa e alométrica). Visto que, o limiar anaeróbio é o indicador mais sensível as repostas do treinamento aeróbio e que a intensidade de trabalho médio, mensurada como  $\%FC_{m\acute{a}x}$  durante os 90 minutos de uma partida de futebol é muito próxima deste limiar. Torna-se importante desenvolver esta variável com o treinamento, pois quanto mais elevado for o  $LV_2$ , maior será a intensidade que o atleta poderá manter durante jogo sem a contribuição do metabolismo anaeróbio, conseqüentemente, diminuindo as contrações de lactato e  $H^+$ , resultando em uma melhor manutenção do desempenho físico.

A maturação biológica deve ser controlada durante o treinamento de futebol, principalmente no processo de detecção de talentos. O período de transição da pré-puberdade para a puberdade parece ser um período sensível para o desenvolvimento da capacidade aeróbia, visto que nossos resultados demonstram que durante este período existe um claro aumento tanto do  $VO_{2\text{máx}}$  como no  $LV_2$  em todas as formas de expressão.



## 8. CONCLUSÕES

Verificamos que a maturação biológica tem um claro efeito sobre o  $VO_{2máx}$  expresso nas formas absoluta e alométrica, demonstrando um aumento progressivo conforme avançam os estágios maturacionais. A maturação biológica não demonstrou ser uma variável explicativa do  $VO_{2máx}$  relativo, apresentando um comportamento constante durante o processo maturacional.

A normalização dos valores pela expressão relativa à massa corporal ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) parece não ajustar adequadamente o efeito da massa corporal sobre o  $VO_{2máx}$  em jovens jogadores de futebol, obscurecendo assim os efeitos da maturação biológica sobre o  $VO_{2máx}$ .

Verificamos que  $LV_1$  e  $LV_2$  apresentam um aumento da pré-puberdade para a puberdade quando a massa corporal é ajustada devidamente. A maturação biológica demonstra um claro efeito sobre o  $LV_2$  em todas as formas de expressão, mas não demonstrou ser uma variável explicativa para o  $LV_1$ , sendo, a massa corporal a principal variável explicativa. Este fato nos leva a especular que a expressão alométrica não ajustou adequadamente os efeitos da massa corporal para essa variável.

A maturação biológica torna-se um componente importante no processo de detecção de talentos e no controle do treinamento esportivo, visto que, atletas mais avançados no processo maturacional possuem maiores níveis de capacidade aeróbia em relação aos indivíduos menos avançados. O período de transição da pré-puberdade para a puberdade parece ser sensível ao desenvolvimento da capacidade aeróbia.

## 8.1 Limitações do Estudo

Podem ser consideradas limitações do estudo a distribuição dos indivíduos em cada estágio maturacional, pois existe um grande número de indivíduos classificados como pós-púberes. Acredita-se que se a distribuição dos indivíduos entre os 5 estágios fosse mais homogênea, uma comparação entre os indivíduos por estágio maturacional poderia ser realizada, o que provavelmente poderia fornecer informações mais detalhadas sobre o efeito da maturação biológica.

Outra limitação poderia ser atribuída ao fato de não ter sido verificado o percentual de gordura dos indivíduos, esta variável poderia ser inserida na análise de regressão linear múltipla e poderia fornecer informações úteis ao trabalho.

A mensuração de variáveis bioquímicas como lactato, hemoglobina e testosterona poderiam fornecer informações relevantes para o estudo.

Desta forma acredita-se que mesmo com limitações, este estudo foi capaz de responder aos seus objetivos principais, principalmente por identificar um perfil fisiológico de jovens jogadores de futebol de elite, bem como para a interação entre o grupo de estudos em fisiologia do exercício (GEFEX) e o Sport Club Internacional, despertando possibilidades para novos estudos sobre o futebol.

## 8.2 Sugestões para Novos Estudos

No presente estudo foi verificado o efeito da maturação biológica sobre o  $VO_{2\text{máx}}$  e limiares ventilatórios, sugere-se para os próximos estudos a verificação do efeito da maturação biológica sobre outras variáveis de desempenho importantes para o esporte, como a força e velocidade.

Da mesma forma, uma análise sobre a economia de movimento e velocidade máxima de  $VO_{2\text{máx}}$  poderia acrescentar informações relevantes à cerca do efeito da maturação biológica sobre o desempenho de jovens jogadores de futebol.

Para a verificação do comportamento do  $VO_{2\text{máx}}$  e dos limiares ventilatórios ao longo de todo o processo maturacional, um estudo de delineamento longitudinal responderia a este objetivo.

**REFERÊNCIAS**

1. Agutter, P. S. and D. N. Wheatley. Metabolic scaling: consensus or controversy? *Theor Biol Med Model.* 1:13, 2004.
2. Amann, M., A. Subudhi, and C. Foster. Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 36:613-622, 2004.
3. Anderson, G. S. and E. C. Rhodes. Relationship between blood lactate and excess CO<sub>2</sub> in elite cyclists. *J Sports Sci.* 9:173-181, 1991.
4. Armstrong, N., B. J. Kirby, A. M. McManus, and J. R. Welsman. Prepubescents' ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest.* 112:1554-1560, 1997.
5. Armstrong, N. and J. R. Welsman. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev.* 22:435-476, 1994.
6. Armstrong, N. and J. R. Welsman. Development of Aerobic Fitness During Childhood and Adolescence. *Pediatric Exercise Science.* 12:128-149, 2000.
7. Armstrong, N. and J. R. Welsman. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol.* 85:546-551, 2001.
8. Armstrong, N., J. R. Welsman, and B. J. Kirby. Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. *Med Sci Sports Exerc.* 30:165-169, 1998.
9. Armstrong, N., J. R. Welsman, A. M. Nevill, and B. J. Kirby. Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11-13 yr olds. *J Appl Physiol.* 87:2230-2236, 1999.
10. Armstrong, N., J. R. Welsman, C. A. Williams, and B. J. Kirby. Longitudinal changes in young people's short-term power output. *Med Sci Sports Exerc.* 32:1140-1145, 2000.

11. Arnason, A., S. B. Sigurdsson, A. Gudmundsson, I. Holme, L. Engebretsen, and R. Bahr. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 36:278-285, 2004.
12. Åstrand PO, R. K., Dahl HA et al *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise.* Human Kinetics ed. Windsor (Canada), 2003
13. Aunola, S. and H. Rusko. Aerobic and anaerobic thresholds determined from venous lactate or from ventilation and gas exchange in relation to muscle fiber composition. *Int J Sports Med.* 7:161-166, 1986.
14. Bangsbo, J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci.* 12 Spec No:S5-12, 1994.
15. Bangsbo, J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl.* 619:1-155, 1994.
16. Bangsbo, J., L. Norregaard, and F. Thorso. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci.* 16:110-116, 1991.
17. Baquet, G., E. van Praagh, and S. Berthoin. Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med.* 33:1127-1143, 2003.
18. Batterham, A. M. and A. S. Jackson. Validity of the allometric cascade model at submaximal and maximal metabolic rates in exercising men. *Respir Physiol Neurobiol.* 135:103-106, 2003.
19. Batterham, A. M., K. Tolfrey, and K. P. George. Nevill's explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent: an artifact of collinearity problems in least squares models? *J Appl Physiol.* 82:693-697, 1997.
20. Batterham, A. M., P. M. Vanderburgh, M. T. Mahar, and A. S. Jackson. Modeling the influence of body size on V(O<sub>2</sub>) peak: effects of model choice and body composition. *J Appl Physiol.* 87:1317-1325, 1999.

21. Baxter-Jones, A., J. Eisenmann, and B. Sherar. Controlling for Maturatio in Pediatric Exercise Science. *Pediatric Exercise Science*. 17:18-30, 2005.
22. Beaver, W. L., K. Wasserman, and B. J. Whipp. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*. 60:2020-2027, 1986.
23. Bell, R. D., J. D. MacDougall, R. Billeter, and H. Howald. Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal msucle in six-year-old children. *Med Sci Sports Exerc*. 12:28-31, 1980.
24. Bergh, U., B. Sjodin, A. Forsberg, and J. Svedenhag. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 23:205-211, 1991.
25. Beunen, G., A. D. Baxter-Jones, R. L. Mirwald, M. Thomis, J. Lefevre, R. M. Malina, and D. A. Bailey. Intraindividual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc*. 34:503-510, 2002.
26. Boisseau, N. and P. Delamarche. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med*. 30:405-422, 2000.
27. Bunc, V. and R. Psotta. Physiological profile of very young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 41:337-341, 2001.
28. Buresh, R. and K. Berg. Scaling oxygen uptake to body size and several practical applications. *J Strength Cond Res*. 16:461-465, 2002.
29. Burke, J., R. Thayer, and M. Belcamino. Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *Br J Sports Med*. 28:18-21, 1994.
30. Caiozzo, V. J., J. A. Davis, J. F. Ellis, J. L. Azus, R. Vandagriff, C. A. Prietto, and W. C. McMaster. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol*. 53:1184-1189, 1982.

31. Capranica, L., A. Tessitore, L. Guidetti, and F. Figura. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sci.* 19:379-384, 2001.
32. Casajus, J. A. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 41:463-469, 2001.
33. Castagna, C., S. D'Ottavio, and G. Abt. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res.* 17:775-780, 2003.
34. Chamari, K., Y. Hachana, Y. B. Ahmed, O. Galy, F. Sghaier, J. C. Chatard, O. Hue, and U. Wisloff. Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med.* 38:191-196, 2004.
35. Chamari, K., Y. Hachana, F. Kaouech, R. Jeddi, I. Moussa-Chamari, and U. Wisloff. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med.* 39:24-28, 2005.
36. Chamari, K., I. Moussa-Chamari, L. Boussaidi, Y. Hachana, F. Kaouech, and U. Wisloff. Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med.* 39:97-101, 2005.
37. Cometti, G., N. A. Maffiuletti, M. Pousson, J. C. Chatard, and N. Maffulli. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med.* 22:45-51, 2001.
38. Danis, A., Y. Kyriazis, and V. Klissouras. The effect of training in male prepubertal and pubertal monozygotic twins. *Eur J Appl Physiol.* 89:309-318, 2003.
39. Davis, J. A., P. Vodak, J. H. Wilmore, J. Vodak, and P. Kurtz. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol.* 41:544-550, 1976.
40. Dekerle, J., B. Baron, L. Dupont, J. Vanvelcenaher, and P. Pelayo. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol.* 89:281-288, 2003.

41. Drust, B., T. Reilly, and N. T. Cable. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci.* 18:885-892, 2000.
42. Edwards AM, C. N., Macfadyen AM. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *Journal of Sports science and Medicine.* 2:23-29, 2003.
43. Eisenmann, J. C., J. M. Pivarnik, and R. M. Malina. Scaling peak VO<sub>2</sub> to body mass in young male and female distance runners. *J Appl Physiol.* 90:2172-2180, 2001.
44. Eriksson, B. O., P. D. Gollnick, and B. Saltin. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand.* 87:485-497, 1973.
45. Eriksson, B. O., J. Karlsson, and B. Saltin. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr Scand Suppl.* 217:154-157, 1971.
46. Eriksson, O. and B. Saltin. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg.* 28 suppl:257-265, 1974.
47. Esposito, F., F. M. Impellizzeri, V. Margonato, R. Vanni, G. Pizzini, and A. Veicsteinas. Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 93:167-172, 2004.
48. Geithner, C. A., M. A. Thomis, B. Vanden Eynde, H. H. Maes, R. J. Loos, M. Peeters, A. L. Claessens, R. Vlietinck, R. M. Malina, and G. P. Beunen. Growth in peak aerobic power during adolescence. *Med Sci Sports Exerc.* 36:1616-1624, 2004.
49. Hansen, L. and K. Klausen. Development of aerobic power in pubescent male soccer players related to hematocrit, hemoglobin and maturation. A longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness.* 44:219-223, 2004.



50. Hebestreit, H., B. Staschen, and A. Hebestreit. Ventilatory threshold: a useful method to determine aerobic fitness in children? *Med Sci Sports Exerc.* 32:1964-1969, 2000.
51. Heil, D. P. Body mass scaling of peak oxygen uptake in 20- to 79-yr-old adults. *Med Sci Sports Exerc.* 29:1602-1608, 1997.
52. Helgerud, J., L. C. Engen, U. Wisloff, and J. Hoff. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 33:1925-1931, 2001.
53. Hoff, J. and J. Helgerud. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med.* 34:165-180, 2004.
54. Hoff, J., U. Wisloff, L. C. Engen, O. J. Kemi, and J. Helgerud. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med.* 36:218-221, 2002.
55. Impellizzeri, F. M., E. Rampinini, A. J. Coutts, A. Sassi, and S. M. Marcora. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 36:1042-1047, 2004.
56. Jeukendrup, A. E. and G. A. Wallis. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med.* 26 Suppl 1:S28-37, 2005.
57. Kaczor, J. J., W. Ziolkowski, J. Popinigis, and M. A. Tarnopolsky. Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *Pediatr Res.* 57:331-335, 2005.
58. Kakavelakis, K. N., S. Vlazakis, I. Vlahakis, and G. Charissis. Soccer injuries in childhood. *Scand J Med Sci Sports.* 13:175-178, 2003.
59. Keefer, D. J., W. Tseh, J. L. Caputo, I. S. Craig, P. E. Martin, and D. W. Morgan. Stability of running economy in young children. *Int J Sports Med.* 21:583-585, 2000.
60. Kirkwood, B. and J. Sterne. *Essential Medical Statistics.* 2<sup>a</sup> Edition ed: BlackWell, 2003

61. Klentrou, P., M. L. Nishio, and M. Plyley. Ventilatory Breackpoints in Boys and Men. *Pediatric Exercise Science*. 18:216-225, 2006.
62. Krahenbuhl, G. S., J. S. Skinner, and W. M. Kohrt. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev*. 13:503-538, 1985.
63. Malina, R. M., S. P. Cumming, A. P. Kontos, J. C. Eisenmann, B. Ribeiro, and J. Aroso. Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. *J Sports Sci*. 23:515-522, 2005.
64. Malina, R. M., J. C. Eisenmann, S. P. Cumming, B. Ribeiro, and J. Aroso. Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *Eur J Appl Physiol*. 91:555-562, 2004.
65. Malina, R. M., M. E. Pena Reyes, J. C. Eisenmann, L. Horta, J. Rodrigues, and R. Miller. Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. *J Sports Sci*. 18:685-693, 2000.
66. Malina, R. M., B. Ribeiro, J. Aroso, and S. P. Cumming. Characteristics of youth soccer players 13-15 years classified by skill level. *Br J Sports Med*, 2007.
67. Mandigout, S., A. Melin, L. Fauchier, L. D. N'Guyen, D. Courteix, and P. Obert. Physical training increases heart rate variability in healthy prepubertal children. *Eur J Clin Invest*. 32:479-487, 2002.
68. Martinez, L. R. and E. M. Haymes. Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Med Sci Sports Exerc*. 24:975-983, 1992.
69. McMillan, K., J. Helgerud, S. J. Grant, J. Newell, J. Wilson, R. Macdonald, and J. Hoff. Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med*. 39:432-436, 2005.
70. McMillan, K., J. Helgerud, R. Macdonald, and J. Hoff. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med*. 39:273-277, 2005.

71. Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci.* 23:593-599, 2005.
72. Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 21:519-528, 2003.
73. Mohr, M., P. Krstrup, L. Nybo, J. J. Nielsen, and J. Bangsbo. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports.* 14:156-162, 2004.
74. Nevill, A., T. Rowland, D. Goff, L. Martel, and L. Ferrone. Scaling or normalising maximum oxygen uptake to predict 1-mile run time in boys. *Eur J Appl Physiol.* 92:285-288, 2004.
75. Nevill, A. M. The need to scale for differences in body size and mass: an explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent. *J Appl Physiol.* 77:2870-2873, 1994.
76. Nevill, A. M., S. Bate, and R. L. Holder. Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol.* Suppl 41:141-153, 2005.
77. Nevill, A. M., D. Brown, R. Godfrey, P. Johnson, L. Romer, A. D. Stewart, and E. M. Winter. Modeling maximum oxygen uptake of elite endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 35:488-494, 2003.
78. Nevill, A. M. and R. L. Holder. Scaling, normalizing, and per ratio standards: an allometric modeling approach. *J Appl Physiol.* 79:1027-1031, 1995.
79. Nevill, A. M., R. L. Holder, A. Baxter-Jones, J. M. Round, and D. A. Jones. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol.* 84:963-970, 1998.
80. Nevill, A. M., R. Ramsbottom, and C. Williams. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 65:110-117, 1992.

81. Nottin, S., L. D. Nguyen, M. Terbah, and P. Obert. Left ventricular function in endurance-trained children by tissue Doppler imaging. *Med Sci Sports Exerc.* 36:1507-1513, 2004.
82. Nottin, S., A. Vinet, F. Stecken, L. D. N'Guyen, F. Ounissi, A. M. Lecoq, and P. Obert. Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. *Acta Physiol Scand.* 175:85-92, 2002.
83. Obert, P., D. Courteix, A. M. Lecoq, and P. Guenon. Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 73:136-143, 1996.
84. Obert, P., M. Mandigout, A. Vinet, and D. Courteix. Effect of a 13-week aerobic training programme on the maximal power developed during a force-velocity test in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med.* 22:442-446, 2001.
85. Obert, P., S. Mandigout, A. Vinet, L. D. N'Guyen, F. Stecken, and D. Courteix. Effect of aerobic training and detraining on left ventricular dimensions and diastolic function in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med.* 22:90-96, 2001.
86. Obert, P., S. Mandigouts, S. Nottin, A. Vinet, L. D. N'Guyen, and A. M. Lecoq. Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *Eur J Clin Invest.* 33:199-208, 2003.
87. Petersen, S. R., C. A. Gaul, M. M. Stanton, and C. C. Hanstock. Skeletal muscle metabolism during short-term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls. *J Appl Physiol.* 87:2151-2156, 1999.
88. Philippaerts, R. M., R. Vaeyens, M. Janssens, B. Van Renterghem, D. Matthys, R. Craen, J. Bourgois, J. Vrijens, G. Beunen, and R. M. Malina. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci.* 24:221-230, 2006.
89. Ratel, S., P. Duche, A. Hennegrave, E. Van Praagh, and M. Bedu. Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. *J Appl Physiol.* 92:479-485, 2002.

90. Reilly, T., J. Bangsbo, and A. Franks. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci.* 18:669-683, 2000.
91. Reilly, T. and D. Gilbourne. Science and football: a review of applied research in the football codes. *J Sports Sci.* 21:693-705, 2003.
92. Riddell, M. C., O. Bar-Or, H. P. Schwarcz, and G. J. Heigenhauser. Substrate utilization in boys during exercise with [13C]-glucose ingestion. *Eur J Appl Physiol.* 83:441-448, 2000.
93. Rienzi, E., B. Drust, T. Reilly, J. E. Carter, and A. Martin. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 40:162-169, 2000.
94. Rowland, T., M. Wehnert, and K. Miller. Cardiac responses to exercise in competitive child cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 32:747-752, 2000.
95. Rowland, T. W. Aerobic response to endurance training in prepubescent children: a critical analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 17:493-497, 1985.
96. Rowland, T. W. *Children's Exercise Physiology.* 2<sup>a</sup> edition ed: Human Kinetics, 2005
97. Rowland, T. W., J. A. Auchinachie, T. J. Keenan, and G. M. Green. Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med.* 8:292-297, 1987.
98. Santos, E. L. and A. Giannella-Neto. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol.* 93:315-324, 2004.
99. Sjodin, B. and J. Svedenhag. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 65:150-157, 1992.

100. Solberg, G., B. Robstad, O. Skjonsberg, and F. Borchsenius. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *Journal of Sports Science and Medicine* 4, 29-36, 2005.
101. Stephens, B. R., A. S. Cole, and A. D. Mahon. The influence of biological maturation on fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 16:166-179, 2006.
102. Stolen, T., K. Chamari, C. Castagna, and U. Wisloff. Physiology of soccer: an update. *Sports Med.* 35:501-536, 2005.
103. Stroyer, J., L. Hansen, and K. Klausen. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc.* 36:168-174, 2004.
104. Suarez, R. K., C. A. Darveau, and J. J. Childress. Metabolic scaling: a many-splendoured thing. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol.* 139:531-541, 2004.
105. Tanner, J. *Growth at Adolescence.* Oxford:Blackwell ed, 1962
106. Taylor, D. J., G. J. Kemp, C. H. Thompson, and G. K. Radda. Ageing: effects on oxidative function of skeletal muscle in vivo. *Mol Cell Biochem.* 174:321-324, 1997.
107. Thatcher, R. and A. M. Batterham. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 44:15-22, 2004.
108. Tomlin, D. L. and H. A. Wenger. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 31:1-11, 2001.
109. Van Praagh, E. Development of Anaerobic Function During Childhood and Adolescence. *Pediatric Exercise Science.* 12:150-173, 2000.

110. Van Praagh, E. and E. Dore. Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Med.* 32:701-728, 2002.
111. Wasserman, K. and M. B. McIlroy. Detecting The Threshold Of Anaerobic Metabolism In Cardiac Patients During Exercise. *Am J Cardiol.* 14:844-852, 1964.
112. Welsman, J. R. and N. Armstrong. Longitudinal changes in submaximal oxygen uptake in 11- to 13-year-olds. *J Sports Sci.* 18:183-189, 2000.
113. Welsman, J. R. and N. Armstrong. Statistical Techniques for Interpreting Body Size-Related Exercise Performance During Growth. *Pediatric Exercise Science.* 12:112-127, 2000.
114. Welsman, J. R., N. Armstrong, A. M. Nevill, E. M. Winter, and B. J. Kirby. Scaling peak VO<sub>2</sub> for differences in body size. *Med Sci Sports Exerc.* 28:259-265, 1996.
115. Williams, A. M. and T. Reilly. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci.* 18:657-667, 2000.
116. Wilmore, J. a. C., DL. *Fisiologia do Esporte e do Exercício.* Editora Manole ed, 2001
117. Wisloff, U., C. Castagna, J. Helgerud, R. Jones, and J. Hoff. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 38:285-288, 2004.
118. Wisloff, U., J. Helgerud, and J. Hoff. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc.* 30:462-467, 1998.
119. Wragg, C. B., N. S. Maxwell, and J. H. Doust. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol.* 83:77-83, 2000.

120. Yoshida, T., A. Nagata, M. Muro, N. Takeuchi, and Y. Suda. The validity of anaerobic threshold determination by a Douglas bag method compared with arterial blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 46:423-430, 1981.
121. Zanconato, S., S. Buchthal, T. J. Barstow, and D. M. Cooper. <sup>31</sup>P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol.* 74:2214-2218, 1993.



### **Anexo I -Termo de Consentimento Informado**

Você está sendo convidado a participar de um estudo que visa verificar o efeito do crescimento sobre as variáveis cardiorrespiratórias de jogadores de futebol. Sua presença será necessária pelo menos uma vez no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEx) da UFRGS, onde serão realizados os testes.

Serão realizados testes de corrida em esteira e composição corporal, que em média devem durar 30 minutos. Durante o teste de corrida, será realizada a coleta do ar que o indivíduo respira em equipamento de avaliação cardiorrespiratória para a determinação da capacidade máxima do indivíduo de utilizar o oxigênio para produzir energia.

Este teste é muito utilizado para verificar o nível de desempenho físico do atleta e para a prescrição do treinamento, visto que o consumo máximo de oxigênio é considerado um indicador de capacidade aeróbia. Você primeiramente receberá as instruções referentes ao teste, após passará por um processo de adaptação a esteira e ao equipamento de análise de gases. Assim que sentir-se apto o teste será iniciado.

Você será acompanhado por uma equipe de pesquisadores experientes e por um representante do clube, desta forma, o risco de complicação é mínimo, no entanto, dores musculares, enjôo, fadiga e desconfortos relacionados ao equipamento podem ocorrer.

Você não deverá ser portador de qualquer tipo de doença ou lesão, nem estar fazendo uso de qualquer tipo de medicação.

A participação neste estudo é absolutamente voluntária, sem, portanto, qualquer tipo de gratificação, no entanto terá direito a um laudo individual com seus resultados, bem como todo e qualquer esclarecimento sobre a pesquisa.

Todas as informações são confidenciais, tendo acesso somente os profissionais envolvidos no estudo, o clube e o atleta avaliado. Você é livre para realizar qualquer pergunta antes, durante e após o estudo, estando livre para desistir do mesmo em qualquer momento, sem prejuízo algum.

Caso você seja menor de 18 anos de idade, os pais ou responsáveis legais (familiares, clube) devem assinar o item assinatura do responsável.

Assinatura do Atleta

Assinatura do Responsável

Pesquisadores Responsáveis: Alvaro R. de Oliveira e Giovani dos Santos Cunha

Email: [aroliveira@esef.ufrgs.br](mailto:aroliveira@esef.ufrgs.br) – [giovani.cunha@ufrgs.br](mailto:giovani.cunha@ufrgs.br) Fone:(51)3316-5861 - 84523475

## Anexo II – Tabela 5 Estágios de Tanner

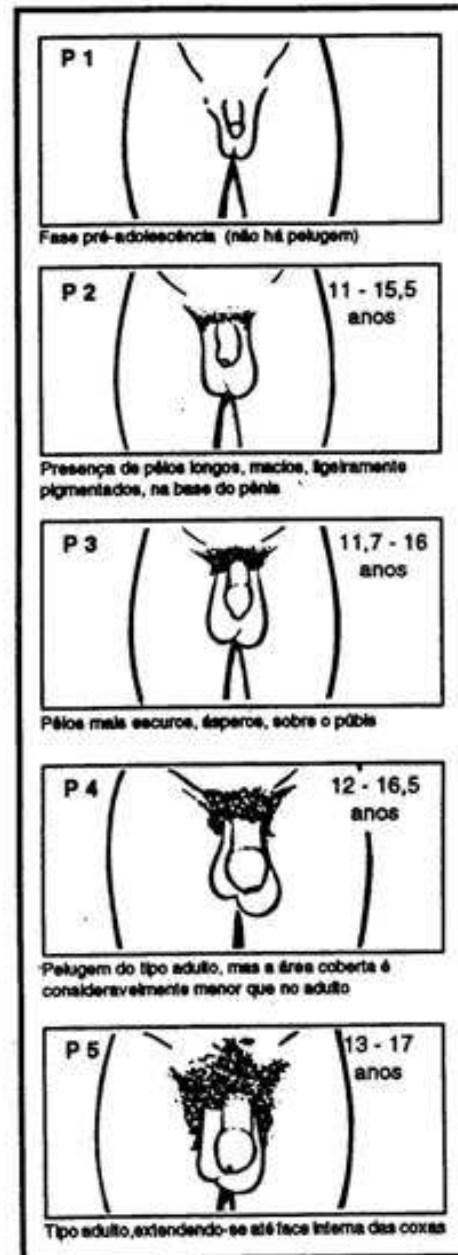
**Desenvolvimento Puberal Masculino**

## Critérios de Tanner

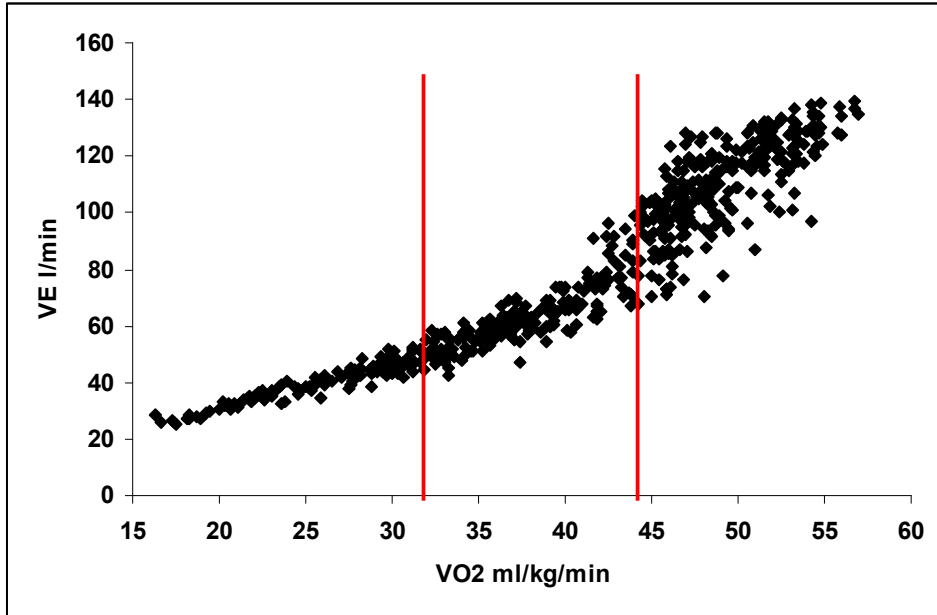
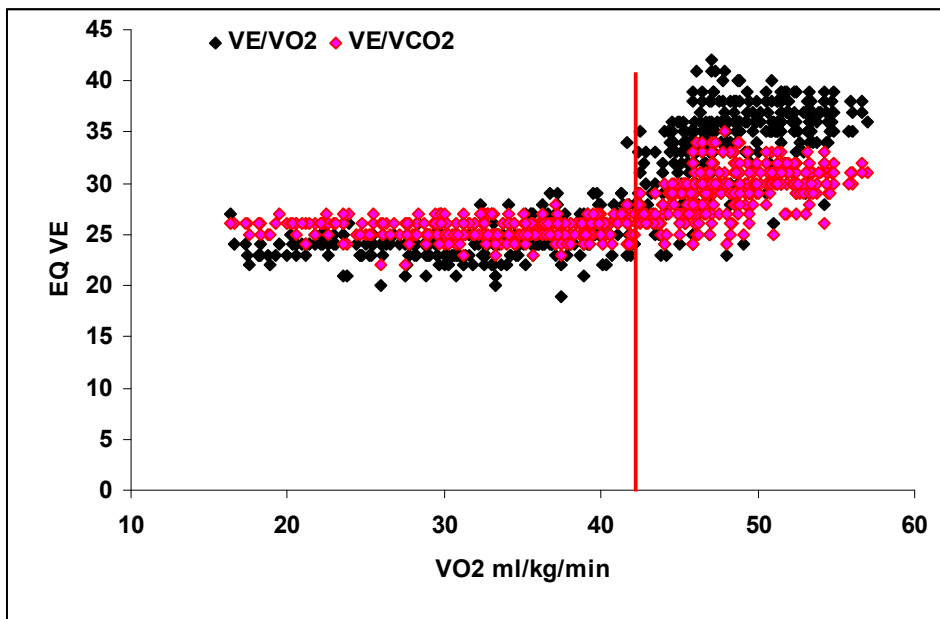
## Genitália



## Pêlos pubianos



**Figuras – Anexo III****Esteira****Ergoespirômetro****Máscara****Freqüencímetro****Balança e Estadiômetro**

Anexos IV - Critérios de Determinação de  $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $VO_{2máx}$ Gráfico 1: Ventilação x  $VO_2$ Gráfico 2: Equivalentes Ventilatórios x  $VO_2$ 

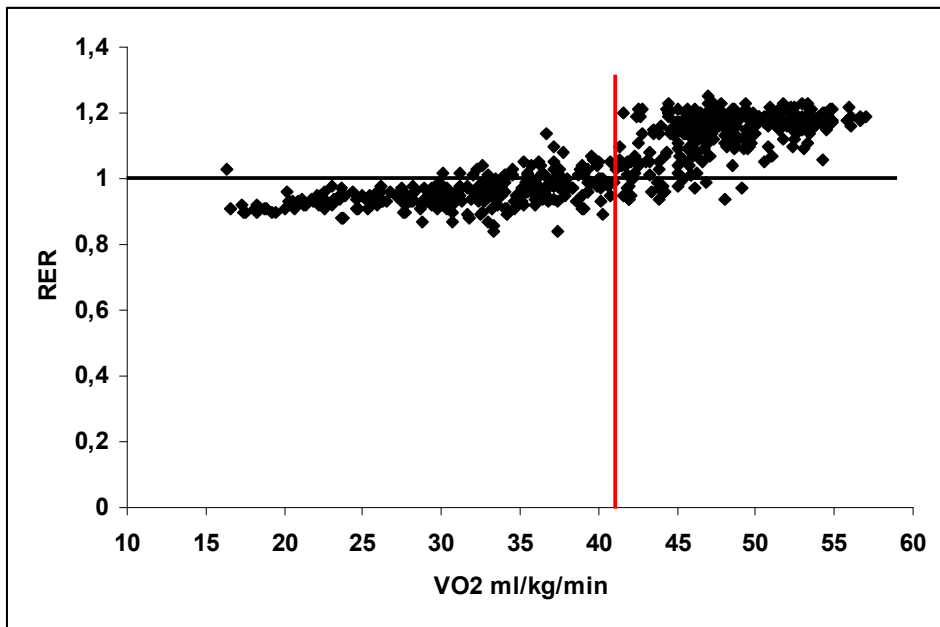
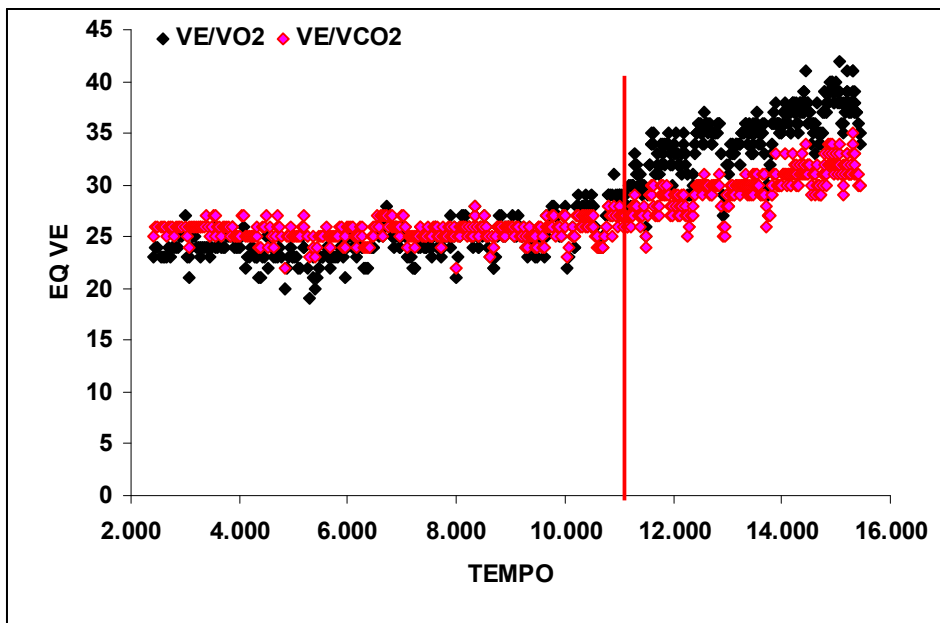
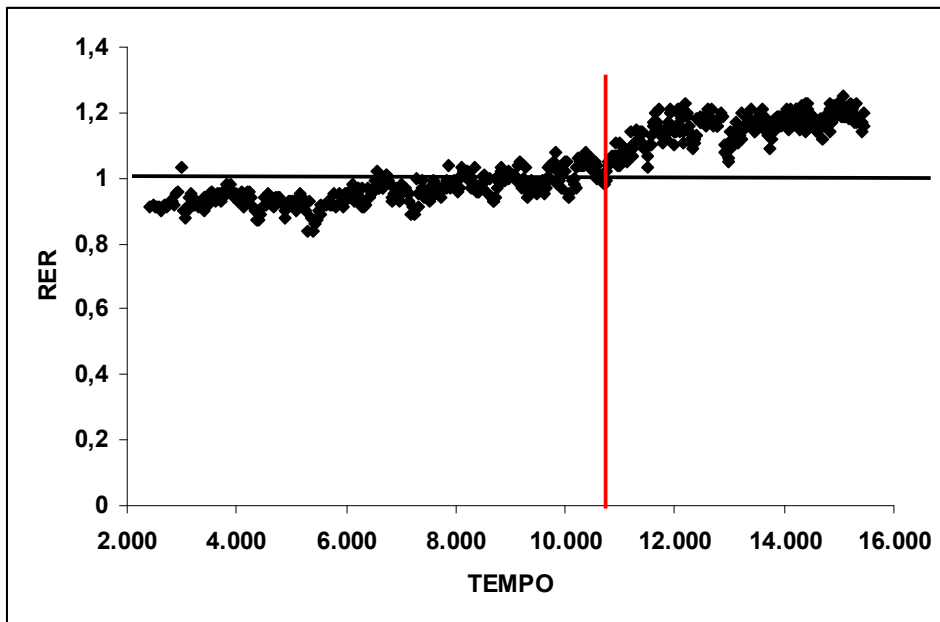
**Gráfico 3: Taxa de Troca Respiratória (RER) x  $VO_2$** **Gráfico 4: Equivalentes Ventilatórios x Tempo**

Gráfico 5: Taxa de Troca Respiratória (RER) x Tempo





**Anexo V**  
**CINEANTROPOMETRIA-ERGOESPIROMETRIA**  
**CENESP-LAPEX**



Nome:	Sexo: ( ) M ( ) F	Idade:	Nascimento:
Estatura:	Massa corporal:		
Tempo Treinamento:	Frequência de treino:		
Educador Físico:	Avaliador:		
Data da avaliação:	Horário:		
Estágio Maturacional:			

**DOBRAS CUTÂNEAS (mm)**

	1ª medida	2ª medida	3ª medida	Média
Tríceps:				
Subescapular:				
Peitoral:				
Bíceps:				
Crista ilíaca:				
Abdominal:				
Coxa 1/3 (anterior):				
Panturrilha:				

**PERÍMETROS (cm)**

SEGMENTO	DIREITO		ESQUERDO	
	1ª medida	2ª medida	1ª medida	2ª medida
Braço (flex. tenso)				
Antebraço (relaxado)				
Tórax (mesoesternal)				
Tórax (inspiração)				
Cintura (mínimo)				
Coxa (1/3 médio)				
Panturrilha (1/3 médio)				

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA**

VARIÁVEIS	RESULTADOS
VO <sub>2</sub> máx (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	
VO <sub>2</sub> 2° LV (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	
VO <sub>2</sub> 1° LV (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	
FCmáx (bpm)	
FC 2° LV (bpm)	
FC 1° LV (bpm)	
Velocidade Máxima (km/h)	
Velocidade 2° LV (km/h)	
Velocidade 1° LV (km/h)	
V-Slop	

## Anexo VI – Artigo Revisão

### Aspectos Físicos e Fisiológicos do Jovem Jogador de Futebol

Giovani dos Santos Cunha e Alvaro Reischak de Oliveira

#### Introdução:

Atualmente existe uma limitação de estudos sobre os efeitos exercício físico e do treinamento sobre o metabolismo das crianças e adolescentes <sup>(1-12)</sup>. Mais especificamente no futebol, que é um dos esportes mais populares do mundo <sup>(1)</sup>, praticado por homens, mulheres, crianças e adultos com diferentes níveis de desempenho <sup>(2)</sup>, a maioria dos estudos com crianças são referentes à força e a velocidade <sup>(3-5)</sup>, padrão de atividade física durante o jogo <sup>(6, 7)</sup> e consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) <sup>(6, 8-12)</sup>.

O  $VO_{2máx}$  de jogadores de futebol internacional em laboratório, varia de 50-75  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , <sup>(4, 6, 9-15)</sup> sendo que esta capacidade fisiológica está relacionada com a posição tática, onde jogadores de meio campo, laterais e atacantes possuem  $VO_{2máx}$  superior a 60  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , enquanto goleiros e zagueiros apresentam  $VO_{2máx}$  de 51 e 56  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  respectivamente <sup>(16-18)</sup>.

Embora estes valores de  $VO_{2máx}$  são evidentes em jogadores adultos, em crianças e jovens jogadores de futebol ainda não existe um consenso sobre o comportamento do  $VO_{2máx}$  e do limiar anaeróbio (LAN), principalmente durante o processo maturacional <sup>(16, 18)</sup>. A maturação biológica é um fator relevante na detecção de talentos e na prescrição do treinamento do atleta. Existem algumas evidências de que a maturação biológica possa influenciar variáveis fisiológicas, como o  $VO_{2máx}$  e o LAN <sup>(5, 19-22)</sup>.



Entretanto, algumas considerações importantes têm sido apresentadas sobre a maneira como o  $VO_{2máx}$  tem sido expressado. Tradicionalmente pode ser expresso em valores absolutos ( $l \cdot min^{-1}$ ) ou relativo à massa corporal ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ). Neste último, é assumindo que o  $VO_{2máx}$  está normalizado e a influência da massa corporal foi removida, entretanto, existem muitas limitações teóricas e estatísticas destes padrões de expressão do  $VO_{2máx}$  <sup>(20, 23, 24)</sup>.

No intuito de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferente tamanhos corporais, alguns autores tem expressado o  $VO_{2máx}$  na forma alométrica <sup>(4, 8, 11, 15, 25)</sup>, visto que este não aumenta em proporção direta a massa corporal <sup>(4, 26)</sup>. Alguns estudos têm demonstrado que a relação do crescimento com as variações no  $VO_{2máx}$  em jovens atletas é dependente da maneira como  $VO_{2máx}$  é expresso ou pela técnica estatística adotada <sup>(5, 19-21, 27, 28)</sup>.

Neste sentido, devido a limitações de estudos sobre os aspectos físicos e fisiológicos de jovens jogadores de futebol, a revisão de literatura abordará aspectos referentes à influência da maturação biológica sobre o  $VO_{2máx}$ , as demandas físicas e o perfil fisiológico do futebol.

### **Influência da Maturação Biológica sobre o $VO_{2máx}$**

Há evidências de que a maturação biológica pode influenciar variáveis fisiológicas, como o  $VO_{2máx}$  e o LAn, os quais são importantes no desenvolvimento do treinamento desportivo <sup>(5, 19-22)</sup>.

Existe um considerável interesse em aumentar a potência aeróbia com o treinamento desportivo, mas existe uma dificuldade em identificar se estas alterações são devidas ao crescimento, a maturação, ao treinamento ou interações entre estes <sup>(22)</sup>.

Malina et al <sup>(5)</sup> estimaram a contribuição da experiência, do tamanho corporal e do estágio maturacional nas variações das capacidades funcionais de jogadores de futebol. A amostra era composta de 69 jogadores com idades de 13,2 – 15,1 anos. Foram realizados os testes de salto vertical (força explosiva), corrida 30m (velocidade) e *yo-yo* teste (resistência aeróbia). Os autores verificaram que o estágio maturacional influenciava significativamente as capacidades funcionais destes jogadores de futebol e que o treinamento tinha influência significativa na resistência aeróbia, enquanto o peso e a altura influenciavam a velocidade e a força explosiva respectivamente.

Armstrong et al <sup>(20)</sup> verificaram a influência do sexo, do crescimento e da maturação sobre o  $VO_{2\text{pico}}$  em crianças de 11-13 anos utilizando um modelo de regressão multinível. Este modelo revelou que a idade, o sexo e os efeitos da maturação sobre o  $VO_{2\text{pico}}$  em crianças destreinadas são independentes do tamanho corporal. A concentração de hemoglobina que teoricamente poderia influenciar o  $VO_{2\text{pico}}$ , não contribuiu significativamente para estas variações. Aparentemente as diferenças de sexo, idade e maturação no aumento da massa livre de gordura relativa à massa corporal são as influências predominantes no aumento diferenciado do  $VO_{2\text{pico}}$  em meninos e meninas de 11-13 anos.

Posteriormente, estes mesmos autores confirmaram as descobertas do estudo anterior, a concentração de hemoglobina não representava um parâmetro significativo para as variações do  $VO_{2\text{pico}}$ , a massa livre de gordura tem influência predominante no aumento do  $VO_{2\text{pico}}$ , a idade cronológica e o estágio maturacional são variáveis explicativas do  $VO_{2\text{pico}}$  independentemente do tamanho corporal e da massa gorda. O aumento do  $VO_{2\text{pico}}$  era comum em meninos e meninas, mas existia uma progressiva divergência nos valores em favor dos meninos <sup>(21)</sup>.

Geithner et al <sup>(22)</sup> verificaram o aumento do pico de potência aeróbia durante a adolescência. Os parâmetros de estirão de crescimento foram comparados entre meninos e meninas e as relações entre os parâmetros de estirão do  $VO_{2pico}$ , da estatura e do peso eram avaliados. A média da idade da velocidade máxima de incremento do  $VO_{2pico}$  ( $PVVO_{2pico}$ ) era de 12,3 anos para as meninas e 14,1 anos para os meninos. O  $VO_{2pico}$  aumenta em ambos os sexos durante a adolescência, com homens tendo maiores valores do que as mulheres em todas as idades. A idade do  $PVVO_{2pico}$  ocorre coincidentemente com a velocidade máxima de incremento da estatura (PHV) e antes da velocidade máxima do incremento do peso (PWH) em ambos os sexos. As correlações entre as idades do  $PVVO_{2pico}$ , PVW e PHV sugerem um fator de maturação geral para o tamanho corporal e potência aeróbia. Os autores concluíram que existe um claro estirão do  $VO_{2pico}$  em ambos os sexos durante a adolescência e que este estirão ocorre antes em mulheres e em maior magnitude nos homens.

Estudos transversais têm indicado que o  $VO_{2máx}$  ( $l.min^{-1}$ ) aumenta gradualmente e progressivamente dos 8 aos 16 anos em meninos, e dos 8 aos 13 anos nas meninas. O  $VO_{2máx}$  tende a apresentar um platô após os 13 anos em meninas e aumentar lentamente após os 16 anos em meninos <sup>(23, 29, 30)</sup>.

O  $VO_{2máx}$  obtido através de um teste máximo é reconhecido como o melhor marcador de capacidade aeróbia em crianças e jovens <sup>(20)</sup>, sendo tradicionalmente expresso em valores absolutos ( $l.min^{-1}$  ou  $ml.min^{-1}$ ) ou relativo a massa corporal ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ). Neste último, é assumindo que o de  $VO_{2máx}$  está normalizado e a influência da massa corporal foi totalmente removida. Entretanto, vários autores têm apontado muitas limitações teóricas e estatísticas destas formas de expressar o  $VO_2$  <sup>(20, 23, 24)</sup>.

Desta forma, modelos estatísticos alternativos, incluindo análises de covariância (Ancova), escalas alométricas e modelos multinível têm sido utilizados para criar “*size-free*” (medida independente do tamanho corporal) da expressão do  $VO_{2\text{máx}}$  <sup>(19)</sup>. Em recente revisão, Nevill et al <sup>(31)</sup> exploram uma variedade de modelos utilizados para descrever variáveis fisiológicas e antropológicas que variam com o tamanho corporal e com outras variáveis de confusão. Os autores concluíram que os modelos alométricos são superiores aos demais modelos.

Existe um considerável debate nos últimos anos sobre qual o método mais apropriado para escalar ou normalizar o  $VO_{2\text{máx}}$  e remover os efeitos da massa corporal em adultos e crianças. Tem sido sugerido que, para facilitar as comparações entre grupos de diferentes tamanhos corporais, o mais apropriado seria remover os efeitos da massa corporal ajustando o  $VO_{2\text{máx}}$  utilizando a relação da função potência  $VO_{2\text{máx}} = aM^b$ , onde  $a$  é conhecido como constante de escala e  $b$  é o expoente de escala da massa corporal. Este expoente pode ser estimado utilizando a análise de regressão linear após obter o logaritmo da equação  $\log_e VO_{2\text{máx}} = \log a + b \cdot \log m$ . No entanto, o valor deste expoente ainda é consideravelmente controverso ( $b = 0,65, 0,75$  ou  $> 0,75$ ) e altamente específico de uma determinada amostra <sup>(20, 27)</sup>. Embora produza resultados que refletem melhor as alterações, a aplicação teórica deste expoente pode não oferecer uma precisa representação de certas mudanças de um determinado grupo de sujeitos <sup>(20)</sup>.

Eisenmann et al <sup>(19)</sup> estudaram a variação no  $VO_{2\text{pico}}$  associado à idade e ao sexo em meninos e meninas corredores, na perspectiva da escala alométrica. Verificaram que o  $VO_{2\text{pico}}$  absoluto aumenta com a idade em ambos os sexos, o  $VO_{2\text{pico}}$  relativo ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) permanece relativamente estável em ambos os sexos, o  $VO_{2\text{pico}}$  relativo ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-0,75} \cdot \text{min}^{-1}$ ) aumenta durante a idade em meninos e aumenta em meninas somente até

os 15 anos, já o  $VO_{2\text{pico}}$  ajustado pela massa corporal aumenta com a idade em ambos os sexos. Foi identificada uma progressiva divergência no  $VO_{2\text{pico}}$  entre meninos e meninas fundistas. Os autores concluíram que a relação do crescimento com as variações no  $VO_{2\text{pico}}$  em jovens corredores é dependente da maneira que o  $VO_{2\text{pico}}$  relativo é expresso ou pela técnica estatística adotada. Heil et al <sup>(27)</sup> afirmam que para comparar o  $VO_{2\text{máx}}$  de grupos heterogêneos o melhor expoente seria  $b=0,75$ , já para grupos homogêneos o expoente  $b=0,67$  seria o mais indicado.

Chamari et al <sup>(8)</sup> compararam a capacidade aeróbia de jogadores de futebol jovens e adultos utilizando um procedimento alométrico. Quando o  $VO_{2\text{máx}}$  foi expresso de forma relativa ( $66,6$  e  $66,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , respectivamente), os valores de adultos e jovens foram semelhantes, mas quando expresso na forma alométrica ( $216$  e  $206 \text{ ml.kg}^{-0,72}.\text{min}^{-1}$  respectivamente), foi 5% maior nos adultos do que nos jovens. Os autores concluíram que na comparação com jovens jogadores de futebol, o  $VO_{2\text{máx}}$  de adultos era subestimado e a economia de movimento era superestimada quando expresso na forma tradicional ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ).

Da mesma forma, autores como Wisloff et al <sup>(4, 15)</sup>, Helgerud et al <sup>(11)</sup>, Hoff et al <sup>(25)</sup>, Chamari et al <sup>(10)</sup> e McMillan et al <sup>(9)</sup> tem expressado o  $VO_2$  em  $\text{ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$  a fim de realizar comparações entre jogadores de futebol de diferentes massas corporais, já que o  $VO_{2\text{máx}}$  não aumenta em direta proporção a massa corporal <sup>(15, 26)</sup>. Outros autores também concordam com esta afirmação <sup>(27, 32)</sup>.

O que parece claro, é que a expressão tradicional ( $VO_2.\text{massa}^{-1}$ ) falha em remover totalmente os efeitos da massa corporal, sendo inapropriado para estudos epidemiológicos que desejam comparar o  $VO_{2\text{máx}}$  entre grupos (ex. ativos x inativos) que não são associados ao tamanho corporal <sup>(28)</sup>. Atualmente, muitos autores concordam que os modelos

alométricos são os mais indicados para ajustar corretamente o  $VO_{2máx}$  à massa corporal (10-12, 16, 18, 19, 21, 22, 27, 32, 34, 38-44).

Torna-se de extrema importância identificar o comportamento do  $VO_{2máx}$  e LAn durante a maturação biológica em jovens jogadores de futebol, para podermos compreender, controlar e prescrever o treinamento de futebol adequadamente, desta forma, maximizando os benefícios e diminuindo os riscos impostos pelo treinamento físico. Além disso, identificamos uma grande carência de estudos sobre o  $VO_{2máx}$  e LAn relacionados a maturação biológica e ao treinamento desportivo.

### **Demandas Físicas do Futebol**

O desempenho no futebol depende de uma série de fatores. Podemos citar de forma geral os fatores técnicos, táticos, físicos, fisiológicos e psicológicos<sup>(33)</sup>, mais especificamente, o futebol necessita de atividades físicas intermitentes, onde a seqüência de ações requerem uma variedade de habilidades em diversas intensidades. A corrida é a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e chute são fatores importantes para um alto desempenho no futebol<sup>(3)</sup>.

Outro fator importante no futebol é a distância percorrida, que em uma partida de futebol de alto nível são da ordem de 9-12 km para jogadores de linha<sup>(11, 34-36)</sup> e 4 km para goleiros<sup>(33)</sup>. Muitos estudos têm apresentado que jogadores de meio-campo percorrem grandes distâncias durante o jogo e que jogadores profissionais percorrem maiores distâncias do que jogadores amadores<sup>(34)</sup>. No 2º tempo a intensidade do jogo é diminuída em relação 1º tempo, onde a distância percorrida diminui de 5-10%<sup>(34,35)</sup>.

A posição tática dos jogadores influi na distância percorrida durante a partida de futebol, onde os zagueiros percorrem aproximadamente 7700-9700 m, meio-campistas de

9000-11000 m e atacantes 7700-11000 m<sup>(11, 34-36)</sup>. A distância percorrida também tem sido classificada como padrão de atividade, como caminhar, trotar, correr, *sprint* e corrida de costas. Assim, durante uma partida os jogadores percorrem caminhando aproximadamente 1000-3500 m, trotam 2000-6000 m, correm 1000-2000 m, *sprint* 300- 500 m e corrida de costas 100-800 m<sup>(7, 34-36)</sup>.

Durante o jogo, um *sprint* ocorre aproximadamente a cada 90s, cada um dura em média de 2-4 s<sup>(37)</sup>. Os *sprints* constituem de 1-10% da distância total percorrida durante o jogo<sup>(34)</sup>, que corresponde a 0,5-3,0% do tempo efetivo de jogo<sup>(37)</sup>. No contexto de *endurance* do jogo, cada jogador realiza principalmente cerca de 1000-1400 atividades de curta duração alternadas a cada 4-6s<sup>(34, 37)</sup>. As atividades realizadas no jogo são aproximadamente de 10-20 *sprints*, corridas de alta intensidade a cada 70s, cerca de 15 desarmes, 10 cabeçadas, 50 envoltimentos com bola, 30 passes, além de mudanças de direção e grande esforço muscular para manter o equilíbrio e o controle de bola contra a pressão da defesa<sup>(37)</sup>. Mohr et al.<sup>(34)</sup> reportaram que laterais e atacantes realizam *sprints* em maiores distâncias do que zagueiros e meio-campistas. Da mesma forma que a distância percorrida, a capacidade de realizar *sprint* também diminui ao final da partida<sup>(34, 38)</sup>.

No entanto, a maioria dos resultados são referentes a jogadores profissionais, por isso, Castagna et al<sup>(7)</sup> verificaram o padrão de atividade física de jovens jogadores de futebol (idade 11,8 anos de idade) durante os jogos, onde a duração de cada jogo era de 60 minutos e as medidas do campo eram de 100 x 65m. Foi verificado que a distância percorrida total foi de 6.175m, sendo que 1.112m e 32m foram percorridos caminhando e caminhando de costas respectivamente. Em média os jogadores percorriam 3.200 m em baixa intensidade, 986 m em intensidade moderada e 468m em alta intensidade de corrida.

Em média 34 *sprints* com duração de 2,3 segundos eram realizados durante a partida, com velocidades máximas de 18 km.h<sup>-1</sup>, o tempo entre cada *sprint* foi de 118,5 segundos. A distancia percorrida diminuía cerca de 5,53% entre o 1º e o 2º tempo. Os autores concluíram que o padrão de atividade de jovens jogadores de futebol é intermitente e às vezes desempenhado em alta intensidade (9 % do tempo total da partida).

A força e a potência são igualmente importantes no futebol assim como a resistência. A força máxima é uma qualidade básica que influencia no desempenho da potência, onde um aumento na força máxima é geralmente associado com um aumento na força relativa e desta forma, com um aumento na habilidade de potência. Uma relação significativa tem sido observada entre 1RM, aceleração, *sprints* e saltos <sup>(1, 33)</sup>. O desempenho máximo da força/potência é confirmado pelos resultados dos testes de saltos, bem como os resultados de *sprints* de 30m <sup>(4)</sup>. Por aumentar a disponibilidade da força de contração muscular em um determinado músculo ou grupo muscular, a velocidade e a aceleração podem aumentar as habilidades críticas do futebol, como o *sprint*, movimentos com mudança de direção, deslocamento de costas, saltos, chutes e marcação <sup>(1, 2, 4)</sup>.

Altos níveis de força máxima de membros superiores e principalmente de membros inferiores são importantes, porque estabilizam as articulações em várias situações de jogo, principalmente nas contrações musculares excêntricas, assim auxiliando na prevenção de lesões no futebol <sup>(1, 3, 4, 13)</sup>. Esta prevenção é muito importante, pois cerca de 80% das lesões no futebol ocorrem nas extremidades dos membros inferiores, principalmente no joelho e tornozelo <sup>(39)</sup>.



Neste contexto, o treinamento de força deveria ter mais ênfase no futebol, principalmente os movimentos de contração concêntrica, pois eles aumentam o desempenho de *sprint* e saltos <sup>(1,4)</sup>.

### **Intensidade do Jogo**

Por causa da duração do jogo, estima-se que o metabolismo aeróbio contribui com aproximadamente 90% do custo energético de uma partida de futebol <sup>(2)</sup>. A intensidade de trabalho médio, mensurada como %FC<sub>máx</sub> durante os 90 minutos de uma partida de futebol é próximo do LAN, aproximadamente entre 80-90% da FC<sub>máx</sub> destes jogadores <sup>(6, 10, 11, 40, 41)</sup>. Fisiologicamente, poderia ser impossível manter esta altíssima média de intensidade por um longo período de tempo, principalmente devido ao acúmulo de lactato sanguíneo.

Assim, a fadiga é um componente importante para o desempenho no futebol, onde em recente revisão Mohr et al <sup>(42)</sup> relatam que a fadiga pode ocorrer em 3 diferentes momentos durante o jogo. Após períodos de alta intensidade de exercício tanto no 1º como no 2º tempo de partida, no início do segundo tempo de partida e no final da partida. A fadiga temporária após exercícios de alta intensidade durante o jogo não parece estar relacionada diretamente com as concentrações de glicogênio muscular, acúmulo de lactato, acidose ou a quebra da creatina fosfato. No entanto, isto pode estar relacionado a distúrbios na homeostase iônica do músculo ou ainda um desequilíbrio na excitação do sarcolema. O desempenho máximo dos jogadores de futebol é inibido no início do 2º tempo de jogo, provavelmente devido a uma diminuição da temperatura muscular quando comparado com o final do 1º tempo do jogo <sup>(42)</sup>.

Realmente, as partidas de futebol apresentam períodos e situações de alta intensidade de exercício, onde ocorre um acúmulo de lactato sanguíneo localizado.

Desta forma, os jogadores de futebol necessitam de períodos de baixa intensidade de exercício para poderem remover este lactato muscular acumulado. Em termos relativos, existe pouca ou nenhuma diferença entre a intensidade de exercício de jogadores profissionais e amadores, mas a intensidade absoluta é maior em jogadores profissionais<sup>(33)</sup>. Em um estudo que utilizou análise de vídeo demonstrou que jogadores de elite internacional realizam 28% mais corridas de alta intensidade e 58% mais *sprints* do que jogadores de futebol não-elite<sup>(34)</sup>. Sendo que a velocidade dos *sprints* durante os jogos alcança valores de aproximadamente 32 km.h<sup>-1</sup> e os *sprints* em distâncias superiores a 30m demandam claramente um maior tempo de recuperação do que os *sprints* realizados em distâncias compreendidas entre 10 a 15m<sup>(43)</sup>.

Stroiyer et al<sup>(6)</sup> estudaram as demandas fisiológicas do futebol em jovens futebolistas (idade 12-14 anos), verificaram que o VO<sub>2</sub> durante a partida era em média maior no 1º tempo (50-58 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) do que no 2º tempo (48-54 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Estes valores correspondem a 80-85% e 78-80% do VO<sub>2máx</sub>. A FC média também era em média maior no 1º tempo (180 bpm) do que no 2º tempo (175 bpm).

Estabelecendo a relação entre FC-VO<sub>2</sub> durante o jogo permite uma mensuração indireta válida do VO<sub>2</sub> durante uma partida de futebol. Estabelecendo a relação da FC-VO<sub>2</sub> de cada atleta, esta relação pode refletir exatamente o gasto energético do exercício em estado de equilíbrio. Bangsbo<sup>(2)</sup> apresentou que a relação FC-VO<sub>2</sub> é válida para exercícios intermitentes, verificada pela comparação de exercícios contínuos e intermitentes em testes de esteira em laboratório. A mesma relação FC-VO<sub>2</sub> era estabelecida após um grande aumento de intensidade<sup>(2)</sup>, estes dados são suportados por estudos recentes<sup>(25, 44)</sup>. Assim, a relação entre FC-VO<sub>2</sub> pode ser uma boa estimativa de gasto energético para o futebol<sup>(25)</sup>.

Neste sentido, assumindo que a relação FC-VO<sub>2</sub> é uma estimativa válida para o futebol, uma intensidade média de exercício de 85% da FC<sub>máx</sub> poderia corresponder a aproximadamente a 75% do VO<sub>2máx</sub>. Isto corresponde em média a 45,0, 48,8 e 52,5 de VO<sub>2</sub> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) para jogadores com 60, 65 e 70 de VO<sub>2máx</sub> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) respectivamente, e provavelmente reflete o gasto energético do futebol moderno <sup>(45)</sup>.

## **Perfil Fisiológico do Futebol**

### **Potência Aeróbia Máxima de Jogadores Jovens e Adultos**

O VO<sub>2máx</sub> de jogadores adultos de futebol em laboratório variam de 55-75 (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), enquanto que goleiros possuem VO<sub>2máx</sub> de 50-55 (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) <sup>(16, 19-23, 25-27, 53)</sup>. A potência aeróbia máxima tem aumentando entre as equipes de alto nível nas últimas décadas <sup>(15)</sup>. O LAn tem sido reportado como sendo compreendido entre 76,6% e 90,3% da FC<sub>máx</sub>, que é mensurado durante as partidas de futebol <sup>(6, 10, 11, 40, 41)</sup>.

Tradicionalmente, jogadores de futebol júnior têm VO<sub>2máx</sub> <60 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> <sup>(6, 11, 12)</sup> menor do que os jogadores seniores, entretanto podem existir exceções. Helgerud et al <sup>(11)</sup> estabeleceram um VO<sub>2máx</sub> de 64,3 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em juniores e 73,9 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em 18 jogadores de um time da Hungria. Já Stroyer et al <sup>(6)</sup> observaram que jogadores de meio-campo/atacantes possuíam maiores valores de VO<sub>2máx</sub> do que jogadores de defesa (65 e 58 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> respectivamente, para jogadores de elite no final da puberdade, 14 anos).

Na mesma linha, McMillan et al <sup>(9)</sup> encontraram VO<sub>2máx</sub> 63,4 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em 11 jogadores (idade 16,9 anos da equipe do Celtic -Escócia), sendo que após 10 semanas de treinamento aeróbio específico (90-95%Fc<sub>máx</sub>), o VO<sub>2máx</sub> aumentou para 69,8 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, sem que ocorresse prejuízos no desempenho de força, saltos e *sprints*. Já Chamari et al <sup>(8)</sup> demonstraram que 15 jogadores juniores tinham VO<sub>2máx</sub> semelhante a jogadores seniores

de elite, mas uma economia de movimento menor. Entretanto, quando utilizaram um procedimento escalar adequado ( $\text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-0,72}.\text{min}^{-1}$ ), os jovens tinham um  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  significativamente menor, mas possuíam uma economia de movimento similar a dos jogadores seniores.

Recentemente, tem sido apresentado que um aumento de 11% no  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  após 8 semanas de treinamento com jovens jogadores de futebol, reflete um incremento de 20% na distancia percorrida total de uma partida, aumento de 23% nos envolvimentos com bola e um aumento de 100% no número de *sprints* realizados por cada jogador <sup>(11)</sup>. Estas são algumas das vantagens que demonstram a relação entre uma alta potência aeróbia e desempenho no futebol moderno <sup>(4)</sup>.

### **Períodos Anaeróbios no Futebol**

Embora o metabolismo aeróbio seja dominante na ressíntese de energia durante uma partida de futebol, as ações mais importantes são desempenhadas por meio do metabolismo anaeróbio. A liberação de energia via metabolismo anaeróbio é exigida principalmente na execução de *sprints* de alta intensidade, saltos e disputas de jogo. Estas ações às vezes são cruciais para o resultado da partida <sup>(46)</sup>.

O padrão de lactato durante uma partida de futebol tem apresentados valores maiores no 1º tempo (4,1 - 7 mmol/L) do que no 2º tempo (2,7 - 4,4 mmol/L) <sup>(37, 42, 47, 48)</sup>. É importante notar que a concentração de lactato em jogadores de futebol é largamente dependente do padrão de atividade do jogador. Realmente, tem sido apresentado que os valores de lactato são positivamente correlacionados com o aumento do trabalho realizado previamente antes da coleta de sangue <sup>(2)</sup>.

Uma maior taxa de remoção do lactato depende da sua concentração, da atividade em períodos de recuperação e da capacidade aeróbia. Quanto maior a concentração de

lactato, maior sua taxa de remoção<sup>(2)</sup>. É importante notar que jogadores de futebol com um alto  $VO_{2máx}$  podem ter menores concentrações de lactato, por causa de uma melhor recuperação após a realização de exercícios intermitentes de alta intensidade. Isto é devido a um aumento da resposta aeróbia, aumento taxa de remoção do lactato e melhora da ressíntese de fosfocreatina<sup>(49)</sup>. Realmente, o maior  $VO_{2máx}$  resulta em menores níveis de lactato sanguíneo e muscular para uma mesma intensidade absoluta submáxima, isto é devido a uma menor produção de lactato como resultado de um aumento da liberação de energia pelo sistema aeróbio e aumento da sua taxa de remoção<sup>(49)</sup>.

McMillan et al<sup>(50)</sup> têm indicado que a avaliação do lactato sub-máximo em jogadores de futebol pode ser utilizado com um indicador de alterações no desempenho de *endurance* em períodos específicos do treinamento. Estes autores indicam que as concentrações de lactato fixas entre 2 e 4  $mmol.l^{-1}$  podem ser utilizados para avaliar as respostas aeróbias de jogadores de futebol.

### **Conclusões:**

O desempenho no futebol é multifatorial, sendo necessário uma elevada capacidade aeróbia para suportar as demandas físicas do jogo. A maturação biológica parece exercer um efeito positivo sobre  $VO_{2máx}$ , tornando-se assim uma variável importante no controle do treinamento de jovens jogadores de futebol.

Novas investigações sobre o efeito da maturação biológica sobre o  $VO_{2máx}$  e limiar anaeróbio em jogadores de futebol necessitam ser realizados. A utilização da alometria para ajustar os efeitos da massa corporal sobre o  $VO_{2máx}$  parece ser o método mais adequado.

**REFERÊNCIAS**

1. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med.* 2004;34(3):165-80.
2. Bangsbo J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl.* 1994;619:1-155.
3. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med.* 2001;22(1):45-51.
4. Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):285-8.
5. Malina RM, Eisenmann JC, Cumming SP, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(5-6):555-62.
6. Stroyer J, Hansen L, Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(1):168-74.
7. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res.* 2003;17(4):775-80.
8. Chamari K, Moussa-Chamari I, Boussaidi L, Hachana Y, Kaouech F, Wisloff U. Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med.* 2005;39(2):97-101.
9. McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med.* 2005;39(5):273-7.
10. Chamari K, Hachana Y, Ahmed YB, et al. Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2004;38(2):191-6.
11. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(11):1925-31.
12. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):1042-7.

13. Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(2):278-85.
14. Drust B, Reilly T, Cable NT. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci.* 2000;18(11):885-92.
15. Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(3):462-7.
16. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci.* 2000;18(9):669-83.
17. Reilly T, Gilbourne D. Science and football: a review of applied research in the football codes. *J Sports Sci.* 2003;21(9):693-705.
18. Williams AM, Reilly T. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci.* 2000;18(9):657-67.
19. Eisenmann JC, Pivarnik JM, Malina RM. Scaling peak VO<sub>2</sub> to body mass in young male and female distance runners. *J Appl Physiol.* 2001;90(6):2172-80.
20. Armstrong N, Welsman JR, Nevill AM, Kirby BJ. Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11-13 yr olds. *J Appl Physiol.* 1999;87(6):2230-6.
21. Armstrong N, Welsman JR. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85(6):546-51.
22. Geithner CA, Thomis MA, Vanden Eynde B, et al. Growth in peak aerobic power during adolescence. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(9):1616-24.
23. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev.* 1994;22:435-76.
24. Armstrong N, Kirby BJ, McManus AM, Welsman JR. Prepubescent's ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest.* 1997;112(6):1554-60.
25. Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med.* 2002;36(3):218-21.
26. Bergh U, Sjodin B, Forsberg A, Svedenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23(2):205-11.

27. Heil DP. Body mass scaling of peak oxygen uptake in 20- to 79-yr-old adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(12):1602-8.
28. Nevill A, Rowland T, Goff D, Martel L, Ferrone L. Scaling or normalising maximum oxygen uptake to predict 1-mile run time in boys. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92(3):285-8.
29. Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev.* 1985;13:503-38.
30. Beunen G, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, et al. Intraindividual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(3):503-10.
31. Nevill AM, Bate S, Holder RL. Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol.* 2005;Suppl 41:141-53.
32. Sjodin B, Svedenhag J. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(2):150-7.
33. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med.* 2005;35(6):501-36.
34. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003;21(7):519-28.
35. Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2000;40(2):162-9.
36. Thatcher R, Batterham AM. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004;44(1):15-22.
37. Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci.* 1991;16(2):110-6.
38. Mohr M, Krstrup P, Nybo L, Nielsen JJ, Bangsbo J. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14(3):156-62.



39. Kakavelakis KN, Vlazakis S, Vlahakis I, Charissis G. Soccer injuries in childhood. *Scand J Med Sci Sports*. 2003;13(3):175-8.
40. Bunc V, Psotta R. Physiological profile of very young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41(3):337-41.
41. Casajus JA. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41(4):463-9.
42. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci*. 2005;23(6):593-9.
43. Bangsbo J, Mohr M, Krustup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*. 2006;24(7):665-74.
44. Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vanni R, Pizzini G, Veicsteinas A. Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93(1-2):167-72.
45. Åstrand PO RK, Dahl HA et al. *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*. Human Kinetics ed Windsor (Canada); 2003.
46. Wragg CB, Maxwell NS, Doust JH. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol*. 2000;83(1):77-83.
47. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci*. 1994;12 Spec No:S5-12.
48. Capranica L, Tessitore A, Guidetti L, Figura F. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sci*. 2001;19(6):379-84.
49. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med*. 2001;31(1):1-11.
50. McMillan K, Helgerud J, Grant SJ, et al. Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med*. 2005;39(7):432-6.

**Anexo VI – Artigo Submetido em Periódico Internacional****Effects of Biological Maturation on Maximal Oxygen Uptake and Ventilatory Threshold ff  
Brazilian Soccer Players**

Cunha, GS, Célia, FG, Ribeiro, JL and Oliveira, AR.

**Abstract**

The aim of this study to was verify the effect of biological maturation on soccer players' maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) and ventilatory threshold (VT) expressed in different ways. Thirty-seven male amateur athletes were separated according to Tanner's maturational stage into three groups, prepubescent (PreP), pubescent (Pub) and postpubescent (PostP). Ventilation, ventilatory equivalents, respiratory exchange ratio were measured by an indirect calorimetry. The  $VO_{2max}$  was expressed in absolute values, relative to body mass and according appropriate scaling procedures.  $VT_1$  and  $VT_2$  were used as index of aerobic and anaerobic thresholds. There was no difference among groups in  $VO_2$  expressed as relative form at  $VO_{2max}$  and  $VT_2$ , but PreP showed a higher  $VT_1$  than Pub and PostP. There was difference among groups in  $VO_2$  expressed according to allometric scaling at  $VO_{2max}$  and  $VT_1$ . The difference was verified at  $VT_2$  only between PreP and PostP. When  $VO_2$  was expressed in absolute terms, difference among groups was found at  $VO_{2max}$  and  $VT_2$ , with PostP having higher values compared to PreP and Pub. There was no difference among groups at  $VT_1$ . Biological maturation affects young soccer players'  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VO_{2max}$ , and the allometric expression seems to be the more appropriate to adjust the effects of body mass.

## INTRODUCTION

There is still few information in literature about the effects of physical exercise on children metabolism (Armstrong et al., 1997, Armstrong et al., 1999, Armstrong et al., 2000, Armstrong and Welsman, 2001, Danis et al., 2003, Eisenmann et al., 2001, Geithner et al., 2004, Kaczor et al., 2005, Keefer et al., 2000, Nevill et al., 2004, Obert et al., 2001, Ratel et al., 2002) Specifically in soccer, studies in children are related to strength and velocity (Cometti et al., 2001, Malina et al., 2004, Wisloff et al., 2004, Wisloff et al., 1998), maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ),(Chamari et al., 2004, Chamari et al., 2005, Helgerud et al., 2001, Impellizzeri et al., 2004, McMillan et al., 2005, Stroyer et al., 2004) and physical activity profile during the match (Castagna et al., 2003, Stroyer et al., 2004). Few studies were found on the effects of biological maturation on young soccer players' physiologic variables, such as  $VO_{2max}$  (Malina et al., 2004) and the anaerobic threshold (AT).

Elite soccer players need to adapt to the multifactor physical effort demands of the sport. These players do not require an extraordinary capacity in each of the performance areas, but a relatively high level in all of them (Reilly et al., 2000).

Soccer player's  $VO_{2max}$  in adults ranges from 50 to 75  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , while goalkeepers'  $VO_{2max}$  is 50-55  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  (Arnason et al., 2004, Chamari et al., 2004, Dekerle et al., 2003, Helgerud et al., 2001, Impellizzeri et al., 2004, McMillan et al., 2005, Stroyer et al., 2004, Wisloff et al., 1998). Tactical position is related to physiological capacity, since forward player's  $VO_{2max}$  is higher than 60  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , whereas goalkeepers and other defence players  $VO_{2max}$  ranges from 51 to 56  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  (Reilly et al., 2000, Reilly and Gilbourne, 2003, Williams and Reilly, 2000). While these

differences are evident in adults, in children and young athletes they have to be interpreted with some caution (Reilly et al., 2000, Williams and Reilly, 2000).

In the last years, maximal aerobic capacity has increased among high performance teams (Wisloff et al., 1998). Ventilatory threshold (VT) has been reported to be 76.6% and 90.3% of the maximal heart rate ( $HR_{max}$ ) measured throughout soccer games (Bunc and Psotta, 2001, Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004, Stolen et al., 2005). Because of difficulty to measure gas exchange throughout the game, the HR response is related to  $VO_2$  obtained in laboratory test and is valid to intermittent exercises (Bangsbo, 1994).

Professional soccer players'  $VO_{2max}$  responses are well known, but there is no consensus about  $VO_{2max}$  and AT in soccer athletes' according to their biological maturation. Evidence exists that biological maturation can affect physiological variables such as  $VO_{2max}$  and AT, which are critical to exercise prescription and training design (Armstrong and Welsman, 2001, Armstrong et al., 1999, Eisenmann et al., 2001, Geithner et al., 2004, Malina et al., 2004).

When  $VO_{2max}$  is expressed in direct relation to body mass ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ), instead of absolute ( $l.min^{-1}$ ), it is assumed that  $VO_{2max}$  is normalized by removing body mass influence. However, there are many theoretical and statistical limitations (Armstrong et al., 1997, Armstrong and Welsman, 1994, Armstrong et al., 1999, Nevill, 1994, Nevill and Holder, 1995, Nevill et al., 1992). When  $VO_{2max}$  is expressed relative to body mass, the aerobic capacity of individuals with a lower body mass is overestimated, while that of individuals with a higher body mass is underestimated (Wisloff et al., 1998). Therefore, Wisløff et al. (1998), Helgerud et al.(2001), Hoff et al.(2002), and Chamari et al.(2004) have expressed  $VO_{2max}$  according to allometric scaling ( $VO_2 ml.kg^{-0.75}.min^{-1}$ ) to compare soccer athletes with different body mass values. This method has been used because

increases in  $VO_{2max}$  and body mass are not directly proportional (Bergh et al., 1991). As a result, different statistical models – including analysis of covariance, allometric scaling, and multilevel models – have been used to generate a adequate  $VO_{2max}$  expression (Eisenmann et al., 2001). In a recent review, Nevill et al. (2005) explored a variety of models to describe the physiological and anthropological variables which changes with the body size and others confusion variables. The authors concluded that the allometric models are superior to the other models.

Studies have shown that the relationship between growth and  $VO_{2max}$  variations in young athletes is dependent on the  $VO_2$  expression or statistical analysis used (Eisenmann et al., 2001). In addition, it has been demonstrated that training level, body size, and maturation status affect significantly adolescent soccer players' functional capacity (Malina et al., 2004).

Therefore, recognizing  $VO_{2max}$  and VT modification during biological maturation in young soccer players is important to allow a correct exercise prescription and training control in each maturational stage, as  $VO_{2max}$  is considered the better index of aerobic capacity, and VT is known as the sensible index to aerobic fitness changes in response to training (Edwards AM, 2003, Hebestreit et al., 2000). Thus, the purpose of this study was to verify the effects of biological maturation on young soccer players' VT and  $VO_{2max}$ .

## **MATERIAL AND METHODS**

### **Subjects**

Thirty-seven male amateur athletes of a Brazilian Soccer League's first division team were tested. All the subjects trained between three to five times per week for at least one year. Each subject and his parents reviewed and signed consent forms before participating in the study in accordance with the Declaration of Helsinki.

Their mean age, weight and height are shown in table 1.

### **Procedures**

After informed consent, they were divided into three groups : prepubescent, PreP (n = 10); pubescent, Pub (n = 13); and post-pubescent, PostP (n = 14). The athletes' maturational stage was assessed through secondary sexual characteristics by using the Tanner 5-stage scale (Tanner, 1962). The PreP was considered the levels 1 and 2; Pub, levels 3 and 4 and PostP, level 5 of the Tanner Scale.

Data was collected through maximal treadmill voluntary effort at initial velocity of 7 km.h<sup>-1</sup> and increases of 0.5 km.h<sup>-1</sup> every 30 seconds, until exhaustion. Ventilatory and respiratory parameters were determined using an indirect calorimetry (CPX-D, MGC, USA) calibrated before and after each test with gases of known concentrations. The 0.75 exponent expressing  $VO_{2max}$  (ml.kg<sup>-0.75</sup>.min<sup>-1</sup>) was adopted to compare soccer players of different body mass values, since  $VO_{2max}$  does not increase in direct proportion to body mass (Wisloff et al., 1998, Helgerud et al., 2001, Hoff et al., 2002, Chamari et al., 2004).

The  $VO_{2max}$  and VT were determined in the following plots: ventilation (VE), ventilatory equivalents (VE/ $VO_2$  and VE/ $VCO_2$ ), respiratory exchange ratio (RER) (Amann et al., 2004, Santos and Giannella-Neto, 2004), as a function of oxygen uptake

(Hebestreit et al., 2000). Criteria for the determination of ventilatory thresholds ( $VT_1$  and  $VT_2$ ) and maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) were the following:

1.  $VT_1$  was considered the lowest workload in which  $VE/VO_2$  shows a systematic increase without concomitantly increase in  $VE/VCO_2$  (Dekerle et al., 2003, Wasserman and McIlroy, 1964).
2.  $VT_2$  was considered the lowest workload in which  $VE/VO_2$  shows a concomitantly increase in  $VE/VCO_2$  (Dekerle et al., 2003, Wasserman and McIlroy, 1964).
3.  $VT_1$  and  $VT_2$  were workloads associated with the first and second non-linear increases in  $VE$  and  $VCO_2$  (Beaver et al., 1986, Dekerle et al., 2003).
4. Non-linear increase in RER with a value  $\geq 1$  (Amann et al., 2004, Santos and Giannella-Neto, 2004, Wasserman and McIlroy, 1964).
5.  $VO_{2max}$  was considered the highest  $VO_2$  value in the last 30 seconds of the test (Hebestreit et al., 2000).

A HR monitor (Polar, S610, USA) was used to record HR during the test. Weight and height were registered by using a platform scale (Filizola, Brazil) and a stadiometer (Stainless Steel, USA).

### **Statistical Analysis**

Data was expressed as mean and standard deviation (SD). Intergroups differences were examined by using One-way Analysis of Variance and Tukey Post Hoc test, and the significance level was  $p < 0.05$ . Data distribution was considered normal in Shapiro-Wilk test. The Statistical Package for Social Sciences, SPSS v.12.0, was used.

## RESULTS

Body mass and height increase according maturational stage (Table 1). Table 2 shows physical and physiological characteristics of the participants.

**Table 1** Soccer players' anthropometrical characteristics according to maturational stage

**Table 2** Soccer players' physical and physiological characteristics according to maturational stage

There was no difference between groups in  $VO_2$  expressed in relative form at  $VO_{2max}$  and  $VT_2$ . However, PreP group showed a higher  $VT_1$  than Pub and PostP groups (Figure 1).

**Figure 1** Comparison of  $VO_2$ , expressed in relative form ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ), at Ventilatory Threshold 1, Ventilatory Threshold 2 and Maximal Oxygen Uptake. Significant difference between groups \*  $p<0.05$

Significant difference was observed between groups in  $VO_2$  expressed according to allometric scaling at  $VO_{2max}$  and  $VT_1$ . The difference at  $VT_2$  was verified only between PreP and PostP groups (Figure 2).

**Figure 2** Comparison of  $VO_2$ , expressed in allometric scaling ( $ml.kg^{-0.75}.min^{-1}$ ), at Ventilatory Threshold 1, Ventilatory Threshold 2 and Maximal Oxygen Uptake. Significant difference between groups \*  $p<0.05$

When  $VO_2$  was expressed in absolute terms, significant difference was observed between groups at  $VO_{2max}$  and  $VT_2$ , with PostP presenting higher values compared to PreP and Pub groups. There was no difference between groups at  $VT_1$  (Figure 3).



**Figure 3** Comparison of  $\text{VO}_2$ , expressed in absolute form ( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ), at Ventilatory Threshold 1, Ventilatory Threshold 2 and Maximal Oxygen Uptake. Significant difference between groups \*  $p<0.05$

There were no differences in  $\text{HR}_{\text{max}}$  and HR at  $\text{VT}_2$  ( $\text{HRVT}_2$ ) between groups. A significant difference was found in HR at  $\text{VT}_1$  ( $\text{HRVT}_1$ ), where PreP had a higher  $\text{HRVT}_1$  than Pub and PostP groups (table 2).

Treadmill velocity showed a similar pattern of HR and relative  $\text{VO}_2$ . Maximal and  $\text{VT}_2$  velocities were not significantly different between groups, whereas  $\text{VT}_1$  velocity was higher for PreP group compared to Pub and PostP groups (table 2).

## DISCUSSION

Traditionally, junior soccer players have a  $\text{VO}_{2\text{max}}$  lower than  $60 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$  (Helgerud et al., 2001, Impellizzeri et al., 2004, Stroyer et al., 2004). These results are in agreement with the present study. Stroyer et al.(2004) observed the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  of three groups of young soccer players, classified as elite (12 years old), non-elite (12 years old), and elite (14 years old). The  $\text{VO}_{2\text{max}}$  was  $58.7$ ,  $58.6$ , and  $63.7 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ , respectively, with no difference between groups. Similarly, our study group's  $\text{VO}_{2\text{max}}$  showed no differences between PreP (12.9 years), Pub (14.6 years), and PostP (15.1 years) when expressed in relative terms. Similar results were found by Chamari et al.(2004), Impellizzeri et al. (2004), and Helgerud et al. (2001) for soccer players of 17.5, 17.6, and 18 years old, respectively.

On the other hand, Chamari et al.(2005) found higher  $\text{VO}_{2\text{max}}$  values ( $66.5 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$  in 14-year-old soccer players) in comparison with the previous studies. Furthermore, McMillan et al.(2005) identified an increase of  $63.4$  to  $69.8 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$  in  $\text{VO}_{2\text{max}}$  after 10 weeks' soccer specific endurance training for 16.9-year-old soccer players.

Cross-sectional studies have indicated that  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $\text{ml.min}^{-1}$ ) increases gradually and continuously for boys from 8 to 16 years old. After this age, the  $\text{VO}_2$  still increases slowly (Armstrong and Welsman, 1994, Eisenmann et al., 2001, Krahenbuhl et al., 1985). In the present study, an increase in absolute  $\text{VO}_{2\text{max}}$  was found with age and maturational stage. This increase was followed by an increase in  $\text{VT}_2$ . However, during growth and maturation  $\text{VO}_{2\text{max}}$  is highly correlated with body size, and for independent effects of chronological age, maturation and sex on  $\text{VO}_{2\text{max}}$  to be examined, the confounding influence of body size must be allowed for (Armstrong and Welsman, 2001).

On the contrary, when  $\text{VO}_2$  was expressed as the traditional form ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), no increase relative to age and maturational stage was observed in  $\text{VO}_{2\text{max}}$  values. Similar results were found by Armstrong et al.(1999). The  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and  $\text{VT}_2$  remained constant with age and maturational stage, but there was a decrease in  $\text{VT}_1$  with puberty. This can be explained by the maturation of glycolytic system, which have a lower activity of anaerobic enzymes such as lactate dehydrogenase (LDH) and phosphofrutokinase-1 (PFK) and the glycogen content in the children (Boisseau and Delamarche, 2000).

Nevertheless, the traditional method for expressing  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) has been contested because it does not remove the effects of body mass (Armstrong et al., 1997, Armstrong and Welsman, 1994, Armstrong et al., 1999, Armstrong and Welsman, 2001, Chamari et al., 2005, Eisenmann et al., 2001, Nevill et al., 2004).

During the last years, there is an important debate about the best method to normalize  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and remove the effects of body mass on adults and children. Most authors have suggested that to facilitate comparisons between groups of different body sizes, the most appropriate way to remove the effects of body mass is to adjust  $\text{VO}_{2\text{max}}$  using the power function (relationship)  $\text{VO}_{2\text{max}} = aM^b$ , where  $a$  is known as the scaling constant, and  $b$  is the body-mass scaling exponent. This exponent can be estimated using linear regression analysis after taking the logarithm of the power function equation, i.e.,  $\log_e(\text{VO}_{2\text{max}}) = \log a + b \log m$ . However, there is still considerable controversy about the theoretical value this exponent should take (e.g.,  $k=0.65$ ;  $0.75$  or  $> 0.75$ ), which is highly specific of the sample.

In the present study, the  $0.75$  exponent was adopted according to Wisløff et al.(1998), Helgerud et al. (2001), Hoff et al.(2002), and Chamari et al. (2004) who have

expressed  $VO_{2max}$  ( $ml.kg^{-0.75}.min^{-1}$ ) to compare soccer players of different body mass values, because  $VO_{2max}$  does not increase in direct proportion to body mass.

The  $VO_{2max}$  values ( $ml.kg^{-0.75}.min^{-1}$ ) were  $127 \pm 10.9$ ,  $136.5 \pm 8.6$ , and  $140 \pm 9.1$  to the PreP, Pub, and PostP groups, respectively. Similar results were found by Helgerud et al. (2001) ( $139.9 \pm 15.5$ ), and Stroyer et al. (2004) (148.2). However, other authors found values higher than our data, Hoff et al.(2002) ( $200.4 \pm 19.4$ ), Chamari et al.(2004) ( $177 \pm 13$ ), and McMillan et al.(2005) ( $183.3 \pm 13.2$ ). These differences in  $VO_{2max}$  are due to differences in age, maturational stage, time of exposure to training, assessment period (in the beginning of, in the end of, or during the season), and game style (European vs. South American).

Some studies have reported  $HR_{max}$  values between 191 and 199 bpm in young soccer players (Chamari et al., 2004, Chamari et al., 2005, Esposito et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Hoff et al., 2002, McMillan et al., 2005). HR has been used to assess the average work intensity during the 90 minutes of a game. This intensity, usually expressed as  $\%HR_{max}$ , is very close to  $VT_2$  (80-90% of  $HR_{max}$  in soccer players)(Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004). These results are in agreement with our data.

Finally, the results of this study suggest that absolute  $VO_{2max}$  increases with age and maturational stage. Relative  $VO_{2max}$  remains stable with age and maturational stage, whereas allometric  $VO_2$  shows an increase from pre-puberty to post-puberty.

When analysed in the traditional way ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ), there were no differences in  $VO_{2max}$  and  $VT_2$  for the PreP, Pub, and PostP players; while  $VT_1$  was higher in Pp group in comparison with Pub and PostP groups. These results suggest that PreP has a higher energetic cost than Pub and PostP groups in submaximal loads, probably because of the immaturity of glycolytic system (Boisseau and Delamarche, 2000). However, when data

were analysed allometrically ( $\text{ml.kg}^{-0.75}.\text{min}^{-1}$ ), it was identified an influence of biological maturation on  $\text{VT}_1$ ,  $\text{VT}_2$ , and  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . The PreP group had lower  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and  $\text{VT}_2$  than Pub and PostP groups. This suggests that the increase in  $\text{VO}_{2\text{max}}$  is influenced by maturational process, which is in accordance with other studies (Armstrong and Welsman, 2001, Armstrong et al., 1999, Malina et al., 2004). Interestingly,  $\text{VT}_1$  and  $\text{VT}_2$  are also affected by maturational process in young soccer players. Similar data relative to soccer players was not found in literature. This is a very important finding for the detection and training of those athletes, as well as for the periodization of their training.

## CONCLUSIONS

$\text{VT}_1$ ,  $\text{VT}_2$ , and  $\text{VO}_{2\text{max}}$  of young soccer players are affected by biologic maturation, and the allometric expression seems to be the most sensitive way to remove the body mass effects. Although the standard expression of  $\text{VO}_2$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) fails to express an index that is independent of body mass, these way it is inappropriate to detect the effects of biological maturation on physiologic profile.

## REFERENCES

- Amann, M., Subudhi, A. & Foster, C. (2004) Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 613-22.
- Armstrong, N., Kirby, B. J., Mcmanus, A. M. & Welsman, J. R. (1997) Prepubescent's ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest*, 112, 1554-60.
- Armstrong, N. & Welsman, J. R. (1994) Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev*, 22, 435-76.
- Armstrong, N. & Welsman, J. R. (2001) Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol*, 85, 546-51.
- Armstrong, N., Welsman, J. R., Nevill, A. M. & Kirby, B. J. (1999) Modelling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11-13 yr olds. *J Appl Physiol*, 87, 2230-6.
- Armstrong, N., Welsman, J. R., Williams, C. A. & Kirby, B. J. (2000) Longitudinal changes in young people's short-term power output. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 1140-5.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2004) Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 278-85.
- Bangsbo, J. (1994) The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl*, 619, 1-155.
- Beaver, W. L., Wasserman, K. & Whipp, B. J. (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*, 60, 2020-7.
- Bergh, U., Sjodin, B., Forsberg, A. & Svedenhag, J. (1991) The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc*, 23, 205-11.
- Boisseau, N. & Delamarche, P. (2000) Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med*, 30, 405-22.
- BUNC, V. & PSOTTA, R. (2001) Physiological profile of very young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 41, 337-41.
- Castagna, C., D'ottavio, S. & Abt, G. (2003) Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res*, 17, 775-80.
- Chamari, K., Hachana, Y., Ahmed, Y. B., Galy, O., Sghaier, F., Chatard, J. C., Hue, O. & Wisloff, U. (2004) Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38, 191-6.

- Chamari, K., Moussa-Chamari, I., Boussaidi, L., Hachana, Y., Kaouech, F. & Wisloff, U. (2005) Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med*, 39, 97-101.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C. & Maffulli, N. (2001) Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med*, 22, 45-51.
- Danis, A., Kyriazis, Y. & Klissouras, V. (2003) The effect of training in male prepubertal and pubertal monozygotic twins. *Eur J Appl Physiol*, 89, 309-18.
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J. & Pelayo, P. (2003) Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol*, 89, 281-8.
- Edwards Am, C. N., Macfadyen Am. (2003) Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *Journal of Sports science and Medicine*, 2, 23-29.
- Eisenmann, J. C., Pivarnik, J. M. & Malina, R. M. (2001) Scaling peak VO<sub>2</sub> to body mass in young male and female distance runners. *J Appl Physiol*, 90, 2172-80.
- Esposito, F., Impellizzeri, F. M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G. & Veicsteinas, A. (2004) Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 93, 167-72.
- Geithner, C. A., Thomis, M. A., Vanden Eynde, B., Maes, H. H., Loos, R. J., Peeters, M., Claessens, A. L., Vlietinck, R., Malina, R. M. & Beunen, G. P. (2004) Growth in peak aerobic power during adolescence. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 1616-24.
- Hebestreit, H., Staschen, B. & Hebestreit, A. (2000) Ventilatory threshold: a useful method to determine aerobic fitness in children? *Med Sci Sports Exerc*, 32, 1964-9.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U. & Hoff, J. (2001) Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 1925-31.
- Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J. & Helgerud, J. (2002) Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med*, 36, 218-21.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. & Marcora, S. M. (2004) Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 1042-7.
- Kaczor, J. J., Ziolkowski, W., Popinigis, J. & Tarnopolsky, M. A. (2005) Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *Pediatr Res*, 57, 331-5.
- Keefer, D. J., Tseh, W., Caputo, J. L., Craig, I. S., Martin, P. E. & Morgan, D. W. (2000) Stability of running economy in young children. *Int J Sports Med*, 21, 583-5.

- Krahenbuhl, G. S., Skinner, J. S. & Kohrt, W. M. (1985) Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev*, 13, 503-38.
- Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B. & Aroso, J. (2004) Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *Eur J Appl Physiol*, 91, 555-62.
- Mcmillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R. & Hoff, J. (2005) Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med*, 39, 273-7.
- Nevill, A., Rowland, T., Goff, D., Martel, L. & Ferrone, L. (2004) Scaling or normalising maximum oxygen uptake to predict 1-mile run time in boys. *Eur J Appl Physiol*, 92, 285-8.
- Nevill, A. M. (1994) The need to scale for differences in body size and mass: an explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent. *J Appl Physiol*, 77, 2870-3.
- Nevill, A. M., Bate, S. & Holder, R. L. (2005) Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol*, Suppl 41, 141-53.
- Nevill, A. M. & Holder, R. L. (1995) Scaling, normalizing, and per ratio standards: an allometric modelling approach. *J Appl Physiol*, 79, 1027-31.
- Nevill, A. M., Ramsbottom, R. & Williams, C. (1992) Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 65, 110-7.
- Obert, P., Mandigout, M., Vinet, A. & Courteix, D. (2001) Effect of a 13-week aerobic training programme on the maximal power developed during a force-velocity test in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med*, 22, 442-6.
- Ratel, S., Duche, P., Hennegrave, A., Van Praagh, E. & Bedu, M. (2002) Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. *J Appl Physiol*, 92, 479-85.
- Reilly, T., Bangsbo, J. & Franks, A. (2000) Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci*, 18, 669-83.
- Reilly, T. & Gilbourne, D. (2003) Science and football: a review of applied research in the football codes. *J Sports Sci*, 21, 693-705.
- Santos, E. L. & Giannella-Neto, A. (2004) Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol*, 93, 315-24.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35, 501-36.



- Stroyer, J., Hansen, L. & Klausen, K. (2004) Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 168-74.
- Tanner, J. (1962) *Growth at Adolescence*.
- Wasserman, K. & Mcilroy, M. B. (1964) Detecting The Threshold Of Anaerobic Metabolism In Cardiac Patients During Exercise. *Am J Cardiol*, 14, 844-52.
- Williams, A. M. & Reilly, T. (2000) Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci*, 18, 657-67.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. & Hoff, J. (2004) Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38, 285-8.
- Wisloff, U., Helgerud, J. & Hoff, J. (1998) Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 462-7.

**Table 1.** Soccer players' anthropometrical characteristics according to maturational stage

	<b>PreP (n=10)</b>	<b>Pub (n=13)</b>	<b>PostP (n=14)</b>
Age (years)	12.9 ± 0.42	14.6 ± 0.68 <sup>a</sup>	15.1 ± 0.17 <sup>a, b</sup>
Body mass (kg)	39.7 ± 5.06	55.1 ± 8.78 <sup>a</sup>	66.1 ± 6.80 <sup>a, b</sup>
Height (m)	1.51 ± 0.08	1.70 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.74 ± 0.07 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Statistically different from PreP group; <sup>b</sup> statistically different from Pub group ( $p < 0.05$ ). Data are expressed as mean and standard deviation. PreP = prepubescent; Pub = pubescent; PostP = post-pubescent.

**Table 2.** Soccer players' physical and physiological characteristics according to maturational stage

	<b>PreP (n=10)</b>			<b>Pub (n=13)</b>			<b>PostP (n=14)</b>		
	<b>VT<sub>1</sub></b>	<b>VT<sub>2</sub></b>	<b>Max</b>	<b>VT<sub>1</sub></b>	<b>VT<sub>2</sub></b>	<b>Max</b>	<b>VT<sub>1</sub></b>	<b>VT<sub>2</sub></b>	<b>Max</b>
% VO <sub>2max</sub> (ml .kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	60.5*	88.5	100	43.7	88	100	42.8	88.2	100
HR (bpm)	151*	185	202	127	181	198	124	179	196
% HR <sub>max</sub>	74.7*	91.5	100	64.1	91.4	100	63.2	91.3	100
Treadmill Velocity (km.h <sup>-1</sup> )	10.1*	14.7	17.8	7.2	14.4	17.1	6.9	14.2	17.7
%Maximal velocity	56.7*	82.5	100	42.1	84.2	100	38.9	80.2	100

\*  $p < 0.05$  Significant difference for PreP group compared to Pub and PostP groups.

PreP = prepubescent; Pub = pubescent; PostP = pos-pubescent

Figure 1:

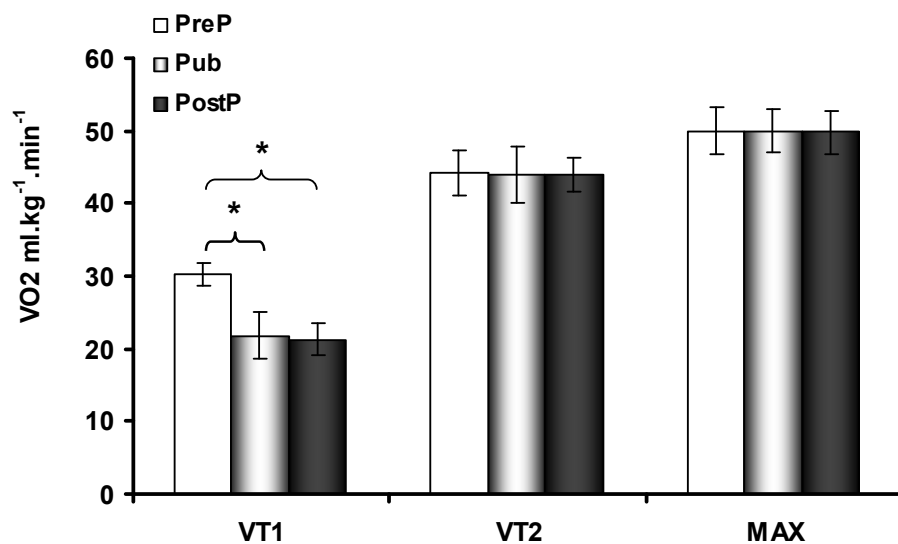
Figure 1: Significant difference between groups \*  $p < 0,05$ 

Figure 2:

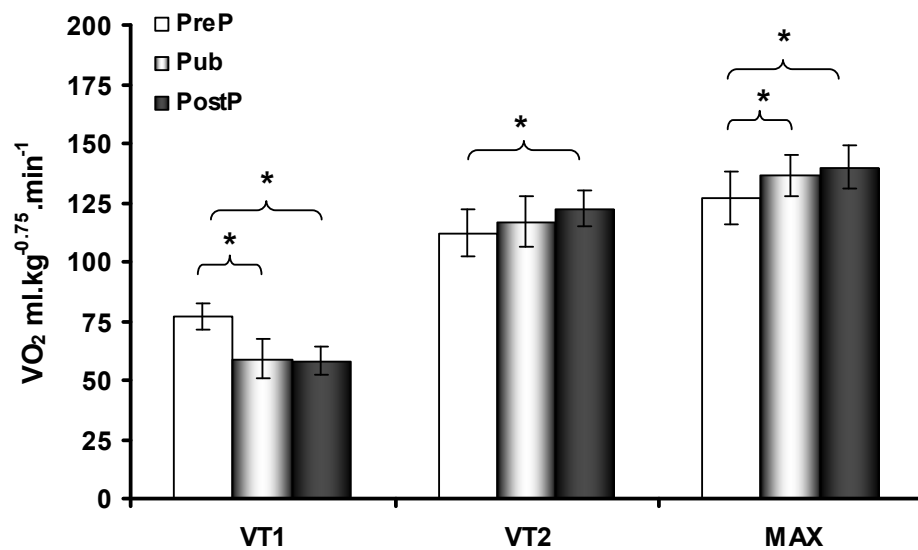
Figure 2: Significant difference between groups \*  $p < 0,05$

Figure 3:

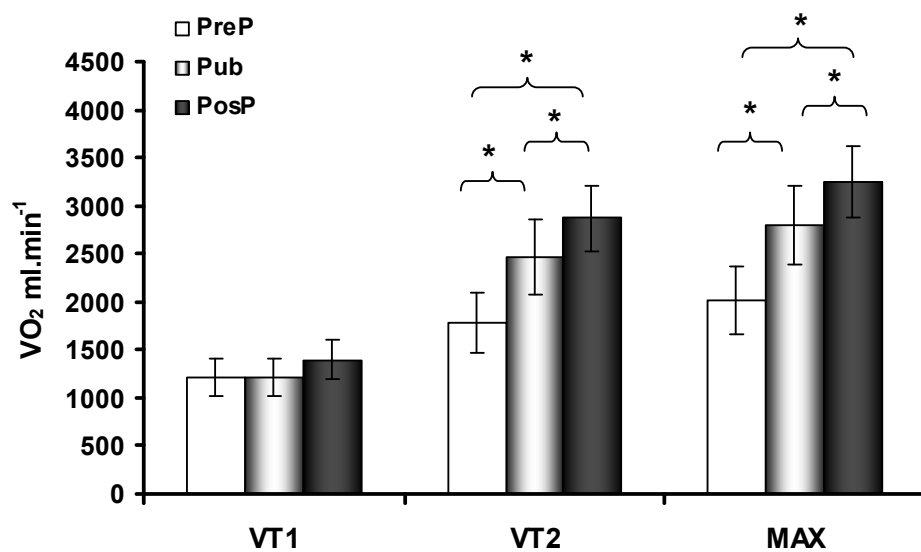


Figure 3: Significant difference between groups \* p&lt;0,05