

**Artigo original**João Augusto Reis de Moura ¹
João Luiz Zinn ²**PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS
REGRESSIVOS PARA ESTIMATIVA DA FORÇA DINÂMICA
MÁXIMA A PARTIR DE VARIÁVEIS PREDITIVAS
NEUROMUSCULARES****PROPOSITION AND VALIDATION OF REGRESSIVE MATHEMATICAL MODELS TO
ESTIMATE MAXIMUM DYNAMIC FORCE FROM PREDICTIVE
NEUROMUSCULAR VARIABLES****RESUMO**

Neste estudo buscou-se propor e validar modelos matemáticos para estimativa da Força Dinâmica Máxima (FDM) a partir de variáveis preditivas neuromusculares, e verificar se estes são sustentados através de um processo estatístico de validação cruzada. Para tal selecionou-se uma amostra composta por 75 mulheres na faixa etária 18 a 30 anos, todas familiarizadas com Exercícios Resistidos com Pesos (ERP). A amostra foi seccionada em dois grupos: grupo I (n=55) utilizado no processo estatístico de proposição dos modelos matemáticos, e grupo II (n=20) utilizado para o processo de validação destes modelos. As variáveis independentes foram as neuromusculares Repetições Máximas (RMs) realizadas nos exercícios Puxada Frontal (PF) e Flexão de Joelhos (FJ). A variável dependente foi a FDM mensurada em 10 aparelhos de ERP através do teste de 1RM, protocolo de Moura et al. (1997). Utilizou-se da Análise de Regressão Múltipla para proposição dos modelos matemáticos, e para verificar se estes seriam sustentados, utilizou-se o processo de validação cruzada (Lohman, 1992) com significância de $p < 0,05$. Foram propostos 10 modelos matemáticos regressivos baseados em duas variáveis preditivas (RMs), todos altamente significativos ($p < 0,0001$). Contudo, no processo de validação cruzada somente 04 modelos matemáticos sustentaram validade através da análise dos critérios adotados. Conclui-se que as variáveis preditivas neuromusculares, isoladamente, apresentam bom poder preditivo da FDM, sustentando assim 04 modelos matemáticos a partir delas ajustadas.

Palavras-chave: modelos matemáticos, força, validação.

ABSTRACT

The purpose of this study was to propose and validate mathematical models to estimate the Maximum Dynamic Force (MDF) from predictive neuromuscular variables, and to verify if they are upheld by a statistic process of cross-validation, The sample consisted of 75 women, 18 to 30 years of age, and well acquainted with Resistance Weight Exercises (RWE). The sample was divided into two groups: group I (n=55) utilized in the statistical process for developing the proposed mathematical models, and group II (n=20) utilized for the process of validation of those models. Independent variables were the neuromuscular Maximum Repetitions (MR) executed in the Frontal Pull (FP) and Knee Flexion (KF) exercises. The dependent variable was MDF measured on 10 RWE apparatus by means of the 1 MR test, according to the Moura et al. protocol (1997). Multiple Regression Analysis was used to produce proposed mathematical models, and cross-validation (Lohman, 1992), with significance set at $p < 0.05$, was used to verify their validity. Ten regressive mathematical modes were proposed based on the two predictive variables (MR), all of them highly significant ($p < 0.0001$). However, after the cross-validation process, only 4 mathematical models retained validity through the analysis of the adopted criteria. It was concluded that the predictive neuromuscular variables, in isolation, offered good predictive power for MDF, confirming, therefore, 4 of the mathematical models.

Key words: mathematical models, strength, validation.

¹ Prof^o Ms. Substituto do CEFD/UFSM

² Prof^o Dr. Titular do CEFD/UFSM

INTRODUÇÃO

Com a vinda de brasileiros, professores de Educação Física, do exterior com a titulação de Doutores em determinadas áreas do conhecimento, iniciou-se os programas de Pós-Graduação no Brasil e como consequência a pesquisa científica alavancou em seu desenvolvimento.

A partir desta intensificação do desenvolvimento científico, usando como populações de pesquisa sujeitos das mais diversas regiões do Brasil é que se conseguiu a análise de diferentes parâmetros da população nacional, melhorando, dessa forma, o conhecimento das características nacionais com relação à atividade física e ao exercício físico, analisadas sobre os mais variados prismas científicos. No Treinamento Desportivo o controle sobre as cargas de treinamento e a prescrição e avaliação dos esforços físicos evoluiu, em muito, a partir de então. Sabe-se muito mais hoje em dia sobre prescrição e controle de volume e intensidade em programas de exercícios físicos que há, por exemplo, 20 ou 30 anos atrás.

Exercícios Resistidos com Pesos (ERP)³ cumprem uma importância crucial na manutenção da qualidade de vida das pessoas: no idoso oferta o sistema ósseo uma determinada sobrecarga mantendo a densidade óssea (Pollock & Wilmore, 1993; Raso et al., 1997), fortalecimento muscular e tendíneo proporcionando um condicionamento físico muscular, e ao idoso uma vida mais autônoma (Santarém, 1993; Monteiro et al., 1999), colabora para a resistência muscular (Bittencourt, 1986) proporcionando a correção de posturas corporais e, controlando determinadas classes de desvios posturais (Carnaval, 1995; Tribastone, 2001), contribui para o fortalecimento mio-ligamentar evitando determinadas lesões (Fleck & Kraemer, 1999).

Em programas para o condicionamento físico, em algumas situações, a medida da exigência física máxima é mais adequada para o controle de intensidade das cargas (Guedes & Guedes, 1998). Todavia, em indivíduos com

osteoporose, hipertensos e com determinadas arritmias cardíacas, é contra indicado os testes de esforço máximo (Pollock & Wilmore, 1993; Guedes & Guedes, 1998; Fleck & Kraemer, 1999), principalmente em exercícios de regime neuromuscular e/ou intervalado como no caso dos ERP.

Alternativas para o controle da intensidade são realizadas através de modelos matemáticos (equações) que predizem o esforço máximo sem expor o indivíduo a essa exigência física (Monteiro, 1994; Gravel et al. 1997; Pinheiro et al. 1998; Wentworth & Abadie, 1999; Moura, 2000).

A utilização de modelos matemáticos para estimar valências morfológicas é bem documentada na literatura (Guedes, 1985; Petroski, 1995; Rodriguez-Añez, 1997; Moura & Zinn, 1999; Yonamine & Pires Neto, 2000), mas ainda o uso de modelos matemáticos para estimativa de algumas qualidades físicas, carece de estudos mais aprofundados e com maior embasamento científico. Portanto, persiste a necessidade de um controle mais efetivo de sobrecargas nos programas de condicionamento físico para populações específicas de hipertensos, cardíacos e sedentários por meio de equações preditivas.

Neste estudo buscou-se propor e validar modelos matemáticos regressivos que estimem a qualidade física, força dinâmica máxima através de variáveis neuromusculares de repetições máximas realizadas em dois exercícios resistidos com pesos, na intenção de contribuir para a determinação da intensidade ideal de carga de treinamento.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo enquadra-se no paradigma Empírico Analítico e caracterizou-se como descritivo e correlacional, sendo sua amostra composta por 75 mulheres divididas em 02 grupos: grupo I (n=55) utilizado para o desenvolvimento dos modelos matemáticos, e grupo II (n=20) utilizado para verificar se os modelos matemáticos seriam sustentados através de um pro-

³ ERP são popularmente designadas como musculação

cesso de validação cruzada. Todas as mulheres foram adaptadas aos ERP através de 8 a 11 sessões de treinamento, sendo os mesmos exercícios dos quais realizaram-se os testes de FDM (Força Dinâmica Máxima).

A seleção da amostra foi de forma intencional justificada pela exigência da condição física prévia dos indivíduos antes de iniciarem a adaptação, ou seja, o seu baixo nível de atividade física diária e pouca familiarização aos ERP. Justifica-se também pelo fato de que, as testagens de esforço máximo que recaíam sobre hipertensos, indivíduos com arritmias cardíacas e iniciantes que não estão adaptados, não devem ser conduzidas por exporem estes indivíduos a riscos elevados de lesão. Deste modo, tornou-se impraticável a utilização de uma sistemática aleatória na escolha dos sujeitos para comporem a amostra.

Devido ao platô de força, em indivíduos destreinados, encontraram-se nas idades de 18 a 30 anos (Nutter & Thorland, 1987; Freitas, 1987; Pollock & Wilmore, 1993; Fleck & Kraemer, 1999), utilizou-se desta faixa etária evitando que a idade fosse fonte de variação sobre a amostra.

Foram controladas neste estudo as variáveis: idade, sexo, período de adaptação, ritmo circadiano e nível de treinabilidade quanto à exercitação de força muscular. Possíveis variáveis intervenientes levantadas foram motivação intrínseca, tipagem de fibra muscular e aspectos nutricionais, os quais não tiveram condições de controle neste estudo. A variável dependente do estudo foi a FDM, sendo a independente as variáveis preditivas de repetições máximas (RMs).

Para obtenção dos valores da FDM utilizou-se o teste de 1RM seguindo o protocolo de medidas sugerido por Moura et al. (1997), cujo teste apresenta os seguintes critérios de autenticidade científica.

As testagens seguiram a mesma ordem seqüencial dos exercícios em que foram apresentados na Tabela 01.

As variáveis independentes (RMs) foram realizadas nos seguintes exercícios:

- A) Exercício puxada frontal;
- B) Exercício extensão de joelhos.

Tabela 01: Valores de autenticidade científica do teste de 1RM

Exercícios	Fidedignidade	validade	Objetividade
Extensão de joelhos	0,984	0,755	0,985
Flexão de joelhos	0,982	0,813	0,969
Voador frontal	0,975	0,714	0,969
Voador invertido	0,956	0,742	0,923
Leg press Horizontal	0,977	0,839	0,960
Puxada frontal	0,959	0,744	0,955
Rosca tríceps	0,987	0,770	0,971
Abdução de quadril	0,985	0,565	0,947
Adução de quadril	0,957	0,675	0,951
Supino	0,959	0,695	0,980

Fonte: Moura et al. (1997)

Adotou-se como protocolo para obtenção do número de repetições máximas a proposta de Carnaval (1995) para testes de repetições máximas, com pequenas modificações, realizadas em virtude do objetivo a que se propôs este trabalho.

Com um valor de quilagem fixado (21kg para o exercício extensão de joelho e 22kg para a puxada frontal), os indivíduos foram orientados para que realizassem o maior número de repetições possíveis de forma completa e correta mantendo ritmo e eficiência mecânica sem deformar o movimento. O teste era encerrado a partir do momento em que, as repetições deixassem de ser executadas de forma correta (deformação do movimento). Os testados foram orientados para que respirassem normalmente durante a testagem.

No dia de testagem primeiramente eram realizados os testes de 1RM dava-se um intervalo de 15 minutos de descanso e então aplicava-se os testes de RMs, com intervalo entre estes de 10 minutos.

Estabeleceu-se uma equipe de coleta formada pelo pesquisador e mais quatro auxiliares treinados no protocolo de medidas de 1RM e RMs. A coleta de dados deste estudo realizou-se em um período de 06 meses, sendo feita sempre pela equipe de avaliadores em um mesmo horário do dia, das 13:30 às 15:30 horas.

Tratamento Estatístico

Para o desenvolvimento e proposição dos modelos matemáticos utilizou-se a Análise

de Regressão Múltipla, modo Stepwise, onde foram testadas as variáveis independentes do estudo (RMs) nos respectivos modelos preditivos da FDM.

O processo de validação foi realizado através do cruzamento estatístico entre os valores de Força Dinâmica Máxima Mensurada (FDMm), através do teste de 1RM os quais foram considerados Padrão Ouro de validação, e os valores de Força Dinâmica Máxima Estimada (FDMe), através dos modelos matemáticos propostos.

A validação cruzada foi operacionalizada através de análise estatística sugerida por Lohman (1992), as quais foram constituídas pelo(a); Teste "t" de Student, Correlação Linear de Pearson, Análise dos Desvios Padrões e Análise do Erro Padrão de Estimativa (EPE). Além destes valores estatísticos, também aplicou-se outro procedimento matemático: o Coeficiente de Variação Residual (CV-residual) e como ponto de corte, para validação de equações, usou-se o valor de 13%.

Os dados foram tratados através do pacote estatístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows versão 6.0, com nível de significância de $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente serão apresentados os modelos matemáticos desenvolvidos logo em seqüência apresentar-se-ão os valores estatísticos de regressão para o desenvolvimento dos modelos e finalizando será apresentado e discutido o processo estatístico de validação cruzada.

Os modelos matemáticos desenvolvidos são apresentados na Tabela 02. São informados os valores betas (β_0) das constantes de cada modelo, bem como os β_s (coeficientes de regressão parcial) das variáveis independentes (caracterizadas, neste estudo, como neuromusculares), preditivas da FDM, e também para cada modelo, que corresponde a um determinado exercício.

Pode-se observar que somente os modelos matemáticos dos exercícios flexão e extensão de joelho possuem duas variáveis preditivas

TABELA 02 – Modelos matemáticos propostos a partir de variáveis neuromusculares para estimar a força dinâmica máxima (n=55)

FDM estimada (exercício)	Modelos Matemáticos Regressivos
Flexão de joelho	= 14,90 + 0,19 (RMs pux) + 0,21 (RMs ext)
Extensão de joelho	= 23,05 + 0,39 (RMs pux) + 0,46 (RMs ext)
Leg press horizontal	= 57,84 + 1,16 (RMs pux)
Abdução de quadril	= 29,35 + 0,25 (RMs pux)
Adução de quadril	= 23,42 + 0,44 (RMs pux)
Voador frontal	= 20,51 + 0,33 (RMs pux)
Voador invertido	= 17,03 + 0,34 (RMs pux)
Puxada frontal	= 22,49 + 0,39 (RMs pux)
Rosca de tríceps	= 13,46 + 0,21 (RMs pux)
Supino	= 24,63 + 0,57 (RMs pux)

RMs pux = Repetições máximas realizada no exercício puxada frontal
RMs ext = Repetições máximas realizada no exercício extensão de joelho

integrando-os, ficando os outros modelos com apenas uma variável preditiva (RMs do exercício puxada frontal).

A multiplicação de cada valor obtido nas RMs pelo respectivo coeficiente β apresentado na tabela 02, e a posterior soma destes valores com o valor β_0 , determinarão o escore de FDM estimado para um determinado sujeito em um ERP específico realizado em maquinário. Por exemplo:

Exercício a estimar a FDM: flexão de joelhos

Escore do indivíduo no RMs puxada frontal: 18 repetições

Escore do indivíduo no RMs extensão de joelho: 11 repetições

Equação e cálculo:

FDM estimada para flexão de joelhos = 14,898 + 0,193 (18) + 0,215 (11)

FDM estimada para flexão de joelhos = 20,74 kg

O valor estimado para a FDM no exercício flexão de joelhos para este indivíduo com um escore na RMs puxada frontal (RM pux) de 18 repetições e na RM extensão de joelhos (RM ext) de 11 repetições, é de 20,74 kg.

Proposição dos Modelos Matemáticos Regressivos

Os valores estatísticos de proposição dos modelos matemáticos preditivos neuromusculares são apresentados na Tabela

FDM estimada para flexão de joelhos = 14,898 + 0,193(RMs pux) + 0,215(RMs ext)

03, onde observa-se as Correlações Múltiplas (R), Coeficientes de Determinação (R^2) e Erros Padrões de Estimativa (EPE) estabelecidos a partir das 10 modelos matemáticos desenvolvidos. Nas duas últimas colunas são apresentados os valores da Análise de Variância (F) e o correspondente nível de significância obtido (p).

Primeiramente, analisando-se os valores de F e p verificou-se que os modelos matemáticos desenvolvidos para estimar a FDM foram altamente significativos ($p < 0,000$), sendo o modelo de menor significância ($p = 0,00036$) apresentado no exercício abdução de quadril.

Quanto às correlações múltiplas, na grande maioria, foram valores de moderados a altos, havendo uma variação de $R = 0,457$ (exercício abdução de quadril) a $R = 0,914$ (exercício puxada frontal), sendo este último em que a FDM foi melhor explicada pelo modelo de regressão, explicando 83,5% da variação da FDM pela variação dos valores da RMs e ficando o exercício de abdução de quadril com a menor correlação múltipla e 20,8% de sua variação sendo explicada pelo modelo matemático de regressão.

Outra equação, com baixo R, foi o exercício adutor de quadril, que mensurava a musculatura antagonista ao exercício anterior, apresentando um valor de $R = 0,684$; estando todos os outros modelos matemáticos com correlações múltiplas iguais ou acima de 0,736 (exercício de flexão de joelhos), por conseqüência a

FDM do exercício adução de quadril obteve uma baixa explicação de sua variação ($R^2 = 46,7\%$) pelo modelo de regressão. Todas as outras 08 equações apresentaram valores de R^2 iguais ou superiores a 54,2%.

Verificou-se, neste estudo, boas correlações múltiplas entre os testes de RMs e a FDM, demonstrando que a força e a resistência possuem associações consistentes como é colocado por Coelho & Coelho (1999). Entretanto, as correlações não se mostraram tão fortes, próximas a $r = 0,90$, como registradas por Baumgartner & Jackson (1995), muito provavelmente por serem as intensidades de quilagens altas (80 a 95% do máximo) as que melhor pre dizem a força máxima (Morales & Sabonya, 1996); conseqüentemente, em intensidades altas, a correlação é maior que em baixas intensidades.

Os modelos matemáticos regressivos abdução e adução de quadril mostraram uma característica diferenciada das demais, sendo a FDM dos grupos musculares envolvidos nestes exercícios poucos preditos pelas RMs realizadas.

Os autores acreditam que a especificidade do grupo muscular medido nas RMs, para estimar a FDM, foi de fundamental importância nesta baixa explicação da força nos exercícios abdução e adução de quadril, pois tratava-se de ERP que mobilizavam músculos do Membro Inferior (MI) de um volume muscu-

TABELA 03 – Valores dos testes estatísticos referentes as modelos matemáticos propostos para estimar a força dinâmica máxima (n=55)

Exercício	Valores referentes aos modelos propostos				
	R	R^2	EPE	ANOVA	
				F	p
Flexão/joelho	0,736	54,2%	2,732	31,315	0,0000
Extensão/joelho	0,774	59,9%	5,119	41,839	0,0000
Leg press Horizontal	0,761	57,9%	9,842	77,094	0,0000
Abdução/quadril	0,457	20,8%	4,966	14,492	0,0003
Adução/quadril	0,684	46,7%	4,657	48,284	0,0000
Voador frontal	0,751	56,4%	2,848	71,305	0,0000
Voador invertido	0,777	60,3%	2,730	85,166	0,0000
Puxada frontal	0,914	83,5%	1,719	293,18	0,0000
Rosca tríceps	0,754	56,8%	1,777	70,977	0,0000
Supino	0,780	60,9%	4,493	85,574	0,0000

R = correlação Múltipla; R^2 = coeficiente de determinação; EPE = erro padrão de estimativa; F = valor da análise de variância; p = probabilidade referente a análise de variância

lar de baixa dimensão e extremamente específico (exercício abdução de quadril – glúteos médio e mínimo e tensor da fácia látea. E exercício adução de quadril – grácil, pectíneo e os adutores magno, longo e curto).

Nos outros exercícios de Membros Inferiores (MI) como flexão e extensão de joelhos, que também possuem grupos musculares específicos, a variável preditiva RMs extensão de joelho foi incluída na equação, melhorando o poder de predição desta. Portanto, a relação especificidade do grupo muscular medido e poder de estimação das variáveis preditivas, foi utilizada como ajustes nestas duas equações pela inclusão da segunda variável preditiva (RMs extensão de joelho).

Na equação *leg press*, embora mobilizando MI do corpo e usando como variável preditiva a RMs da musculatura do Membro Superior (MS), o volume muscular atingido é, proporcionalmente aos anteriores, bem maior; representando uma força geral do corpo que também está presente nos músculos do MS e tronco, grupos musculares estes que foram medidos através do RMs puxada frontal.

Devido a um baixo volume e especificidade de grupos musculares nos exercícios abdução e adução de quadril, acredita-se ter influenciado nas correlações analisadas.

Esta especificidade do grupamento muscular com relação às variáveis preditivas de RMs, e o poder de estimativa dos modelos matemáticos regressivos, já estavam sendo esperados devido às colocações de Ilha et al. (2000), demonstrando a especificidade existente entre as associações encontradas entre as variáveis de resistência muscular localizada e FDM.

Os testes que observaram-se maiores correlações foram os que apresentaram similaridades de grupos musculares, mostrando que estas duas qualidades físicas associam-se, porém, somente quando mensurados os mesmos grupos musculares; sugerindo que, a especificidade da musculatura é de extrema importância para associações das duas qualidades físicas (p.259).

Neste último estudo, um aspecto adicional importante foi a constatação de que o

princípio do treinamento desportivo que discorre sobre a especificidade de treinamento (Dantas, 1998, McArdle et al., 1998), determina também os graus de associações entre às duas qualidades físicas.

Os exercícios pouco explicados pelas equações foram proporcionalmente os de maiores EPE. Porém, deve-se ter cuidado com as proporções da FDM de um exercício para o outro com relação as análises dos erros (EPE), por exemplo:

No aparelho *pulley alt* a diferença das médias de FDM entre o exercício de rosca de tríceps e puxada frontal é considerável (27,95kg na puxada frontal e 16,10kg na rosca tríceps) os valores de R^2 são distintos 83,5% e 56,8% respectivamente, mas os valores do EPE são muito similares 1,71kg e 1,77kg (tabela 02), respectivamente. Portanto, o EPE é maior para o exercício rosca de tríceps, pois analisando-se o seu EPE com a respetiva média, e comparando-os com os mesmos valores do exercício puxada frontal, verifica-se que este erro é maior proporcionalmente à média de FDM, a favor do exercício rosca de tríceps.

Portanto, na observação do EPE, a média da FDM determinada para o respectivo exercício, deve ser inserida conjuntamente na análise. Dentro desta perspectiva de análise do EPE, na equação para exercício *leg press* (9,84kg), é o maior valor determinado; porém, o seu valor médio de FDM também é mais alto que os demais (75,38kg) sendo o EPE desta equação, relativamente a sua média de FDM, um valor similar aos demais.

Validação Cruzada dos Modelos Matemáticos Regressivos

Primeiramente, analisando-se os valores do Teste “t” e o seu respectivo p (Tabela 04), verifica-se que as médias entre FDM mensurada (FDMm) e FDM estimada (FDMe) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Os valores variaram de $t=1,995$ ($p=0,0605$) no exercício de puxada frontal, para $t=0,194$ ($p=0,8479$) no exercício adução de quadril.

Por conseguinte, pelo primeiro critério de validação (diferenças entre as médias esti-

madras e mensuradas) os modelos matemáticos desenvolvidos a partir de variáveis preditivas neuromusculares apresentaram forte tendência de validação.

Seguindo a fase de validação o próximo passo foi o cálculo da Correlação Linear de Pearson. Neste sentido pode-se visualizar na Tabela 03 que, em todos os exercícios, as correlações foram altamente significativas ($p < 0,011$). Os valores variaram de $r = 0,571$ ($p = 0,011$) no exercício adução de quadril, para $r = 0,931$ ($p = 0,000$) no exercício puxada frontal. Segmentando-se os exercícios em dois grupos (exercícios que envolviam a musculatura de MI e os que envolviam a musculatura de MS e tronco) os exercícios que melhor correlação apresentaram entre FDMm e FDMe foram os que possuíam como variáveis preditivas os mesmos exercícios utilizados para mensurar a RMs (extensão de joelho e puxada frontal).

Este fato sugere que a similaridade da musculatura e movimentos envolvidos nos testes da variável preditiva neuromuscular, é de fundamental importância na elaboração de modelos matemáticos regressivos, indo ao encontro do detectado por Ilha et al. (2000) quanto ao aspecto correlacional das variáveis.

Por meio do segundo critério de validação, (análise correlacional) todos os dez modelos analisados possuem subsídios para serem válidos, pois apresentaram correlações significativas, embora alguns modelos tenham apresentado correlações moderadas. Entretanto, para Vincent (1995), para objetivos preditivos um "r" menor que 0,70 pode produzir erros de estimativa inaceitáveis. Utilizando-se $r = 0,70$ como ponto de corte, somente as equações extensão de joelho, adução de quadril, voador frontal, voador invertido, puxada frontal e supino validam sob o aspecto correlacional.

TABELA 04 - Validação cruzada dos modelos matemáticos propostas (n=20)

Exercícios	Médias	T	r	EC	EPE	CV-residual
1 flexão/joelho	20,62±3,01	-0,688	0,588	0,69	3,85	18,6%
2 flexão/joelho	21,52±4,77	$p = 0,44773$	$p = 0,008$			
1 extensão/joelho	35,61±5,57	-1,120	0,822	1,09	4,30	12,0%
2 extensão/joelho	36,90±7,57	$p = 0,27650$	$p = 0,000$			
1 leg press	77,30±10,85	-0,668	0,574	1,90	12,65	16,5%
2 leg press	79,60±15,46	$p = 0,51224$	$p = 0,010$			
1 abdução/Quadril	33,25±2,10	1,642	0,571	-1,90	4,05	12,2%
2 abdução/Quadril	32,05±4,94	$p = 0,11708$	$p = 0,011$			
1 adução/quadril	30,25±3,67	0,194	0,725	-1,15	3,60	11,9%
2 adução/quadril	29,35±5,23	$p = 0,84791$	$p = 0,000$			
1 voador frontal	25,82±2,77	-1,850	0,786	-1,24	2,68	10,4%
2 voador frontal	23,70±4,34	$p = 0,08282$	$p = 0,000$			
1 voador invertido	22,29±2,82	1,625	0,699	-1,09	3,01	13,5%
2 voador invertido	21,20±4,22	$p = 0,12063$	$p = 0,001$			
1 puxada frontal	28,52±3,24	1,9954	0,931	-0,57	1,27	4,4%
2 puxada frontal	28,05±3,50	$p = 0,06054$	$p = 0,000$			
1 rosca/tríceps	16,62±1,70	1,244	0,654	-0,52	1,87	11,2%
2 rosca/tríceps	16,05±2,48	$p = 0,22856$	$p = 0,002$			
1 supino	33,42±4,72	1,440	0,771	-1,67	5,01	15,0%
2 supino	31,95±7,87	$p = 0,16599$	$p = 0,000$			

1 - Valores estimados pelas equações, 2 - Valores mensurados diretamente pelo 1-RM (critério)

CV-residual = divisão do EPE pela respectiva média estimada, multiplicado por 100%.

t = Teste "t" de Student

r = Correlação linear de Pearson

EC (erro constante) = média mensurada - média estimada;

EPE (erro padrão de estimativa) = $EPE = S \sqrt{1 - R^2}$

O EPE analisa a precisão com que as equações estimam a variável dependente, verificando o grau de erro que está associado aos valores estimados.

Interpretando-se os valores expostos na Tabela 03, verificou-se uma ampla distribuição de valores do EPE concedendo-lhe uma grande amplitude, que apresentou limites de 1,27kg (exercício puxada frontal) a 12,65kg (exercício *leg press*). Esta amplitude mostrou-se menor, e mais equilibrada, quando analisou-se somente os modelos dos exercícios de MS e tronco 1,27 kg a 5,01kg (exercícios de puxada frontal e supino, respectivamente).

Para realizar uma análise mais clara dos erros associados, determinou-se os Coeficientes de Variação dos Resíduos (CV-residual).

Na interpretação destes valores denota-se que os exercícios flexão de joelho, *leg press* e supino, apresentaram os maiores erros associados aos valores estimados proporcionalmente as suas respectivas médias de FDM (CV-residual= 18,6%, 16,5% e 15,0%, respectivamente). Concluindo-se, portanto, que os modelos matemáticos destes exercícios, não se apresentaram com grande precisão de estimativa. Por outro lado, o exercício puxada frontal demonstrou a maior precisão de estimativa com um baixo erro (CV-residual = 4,4%), destoando-se, para melhor, dos demais modelos matemáticos regressivos.

Segundo Rodriguez-Añez (1997; p.23) em trabalhos de validações de modelos matemáticos na área de cineantropometria “Tem sido aceito que uma equação é válida para outra população quando o erro de estimativa da densidade for menor que 0,0090 g/ml”. Valor que também é considerado em outros estudos (Petroski, 1995; Glaner & Rodriguez-Añez, 1999). Todavia, proposição e validação de modelos matemáticos regressivos para estimar a FDM esta começando e caminha a passos lentos, quando comparado com a área de cineantropometria ao desenvolver modelos matemáticos para densidade corporal e/ou percentual de gordura. Em função disto, e conforme a literatura que este estudo teve acesso, ainda não foram desenvolvidos trabalhos no sentido de criar pontos de cortes que estabeleçam o tamanho do EPE que valide uma equação preditiva da FDM.

Este trabalho então propõe um ponto de corte não para o EPE, mas sim para o CV-residual por tratar-se de um valor relativo à magnitude da média de FDM sendo, assim, proporcional a esta. Pois o EPE difere muito entre os exercícios em função das médias de FDM que são também bastante distintas. Propondo-se um valor único de EPE como ponto de corte para os 10 exercícios que foram desenvolvidos os modelos matemáticos, ocorreriam graves erros. Conseqüentemente, um valor relativo à magnitude da média de força em cada exercício (CV-residual), conclui-se como o mais adequado.

O valor de 13% é proposto neste trabalho como ponte de corte do CV-residual para validar os modelos matemáticos propostos. A explicação para tal colocação, e adaptação aos critérios de Lohman (1992), se faz da seguinte forma:

- considera-se como sendo um percentual não elevado de erro associado aos modelos matemáticos, entretanto, este não é de magnitude pequena porém, aceitável;
- a troca de quilagem nas placas das máquinas de ERP é de no mínimo 2kg. EPE de valores menores que estes serão desconsiderados quando da utilização na prática dos modelos regressivos propostos. Com exceção dos exercícios flexão de joelho, *leg press*, voador invertido e supino que não validaram devido a apresentarem um CV-residual maior de 13%, nos demais o percentual abaixo de 13% de CV-residual gira em torno de 3kg de erro, sendo um valor bem próximo às trocas mínimas de peso das máquinas;
- no momento de prescrição dos exercícios, por meio de estimativas da FDM, os erros apresentados tornam-se ainda menores, principalmente quando estes erros forem abaixo de CV-residual 13%. Por exemplo, no exercício abdução de quadril (com média= 32,05kg; EPE= 4,50kg e CV-residual= 12,2%) ao se prescrever um exercício de resistência muscular localizada (60% da FDM) este valor será de 19,23kg (calculando-se com os valores médios encontrados para FDM), ou 16,53kg (calculado-se com o valor de 1 EPE abaixo da média), ou ainda 21,93kg (calculando-se com o valor de 1 EPE acima da média). Verificando-

se as diferenças entre 19,23kg e 21,93kg (diferença igual a 2,7kg), e 19,23kg e 16,53kg (diferença de 2,7kg), percebe-se que quando prescreve-se o treinamento de força, os erros de estimativas, que eram de 4,5kg (EPE), tornam-se menores próximos a 2,7kg. Compreende-se o erro de 2,7kg, como um valor pequeno de erro de prescrição de treinamento de resistência que não inviabiliza este treinamento. Este exemplo desenvolvido foi no exercício de maior EPE e CV-residual (12,2%) que ainda assim valida pelo ponto de corte proposto, conseqüentemente, nos demais exercícios que validam os erros para prescrição dos exercícios são ainda menores;

- este valor possui concordância ao determinado por Gravel et al. (1997), que desenvolveu e aplicou modelos matemáticos de regressão para prever força estática máxima gerada pelos grupos musculares flexores laterais e extensores do tronco, quando relataram que o erro médio encontrado na predição foi de 13%. Com este valor de CV-residual os pesquisadores concluíram que os modelos matemáticos regressivos podem ser usados proveitosamente para prever força individualmente nos sujeitos.

Entende-se, assim, que 13% como ponto de corte para o CV-residual, passam a ser um valor coerente para aplicar-se a modelos matemáticos que estimem a FDM em máquinas de ERP como ponto de corte para critério de validação.

Este ponto de corte é relativo às médias de FDM, e também está relacionado aos valores de r entre FDMm e FDMe, pois a equação para determinar o EPE é influenciada por esta correlação (Vincent, 1995). Portanto, o CV-residual é um cálculo estatístico influenciado pela média da FDMm e pela correlação entre FDMm e FDMe, e ainda é derivado do próprio EPE, sendo assim, uma estatística interessante de uso em validação de modelos matemáticos, já que, expressa três análises ao mesmo tempo (média, correlação e EPE).

Acredita-se que este valor do CV-residual é adequado aos dados que este estudo obteve, pois conforme registra Vincent (1995, p.105) "cada pesquisador deve determinar um

aceitável erro para os dados analisados. Estes níveis dependerão das conseqüências dos erros de predição".

Utilizando-se um CV-residual de 13% como ponto de corte os modelos matemáticos regressivos dos exercícios flexão de joelho, *leg press*, voador invertido e supino não validaram segundo este critério, sendo as demais demonstraram tendência a validação para estimar FDM para mulheres pouco familiarizadas com ERP.

Os valores do Erro Constante obtiveram variação de -1,90kg (exercício abdução de quadril) a 1,90kg (exercício *leg press*), com valores em módulo o EC de menor magnitude foi apresentado no exercício rosca de tríceps (0,52kg).

O quarto critério de análise de validação é com relação aos desvios padrões dos valores mensurado (DPM) e estimados (DPE).

Observou-se nas Figuras 01 e 02, a extrema similaridade entre as médias de FDM mensuradas e estimadas pelos modelos matemáticos propostos, nos exercícios de MI e MS, onde, como já foi visto, não houveram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as médias dos valores mensurados e estimados.

Com relação à variação dos dados verifica-se que, os valores dos desvios padrões estimados (Dpe) possuíam sempre menores valores comparativamente com os desvios padrões mensurados (DPM). Este fato sugere que a amostra de validação não foi totalmente representada através dos modelos matemáticos utilizados. Pois, conforme Jackson & Pollock (apud Glaner & Rodriguez-Añez, 1999), quanto mais o DPe está próximo do DPM, mais representativa será a equação. Ou seja, um menor DP dos valores de FDMe comparados com os valores de FDMm, indica que os indivíduos que obtiveram índices de FDM altos tiveram seus valores subestimados pelos modelos matemáticos utilizados, e indivíduos com índices de FDM mais baixos tiveram seus valores superestimados pelo modelos matemáticos regressivos.

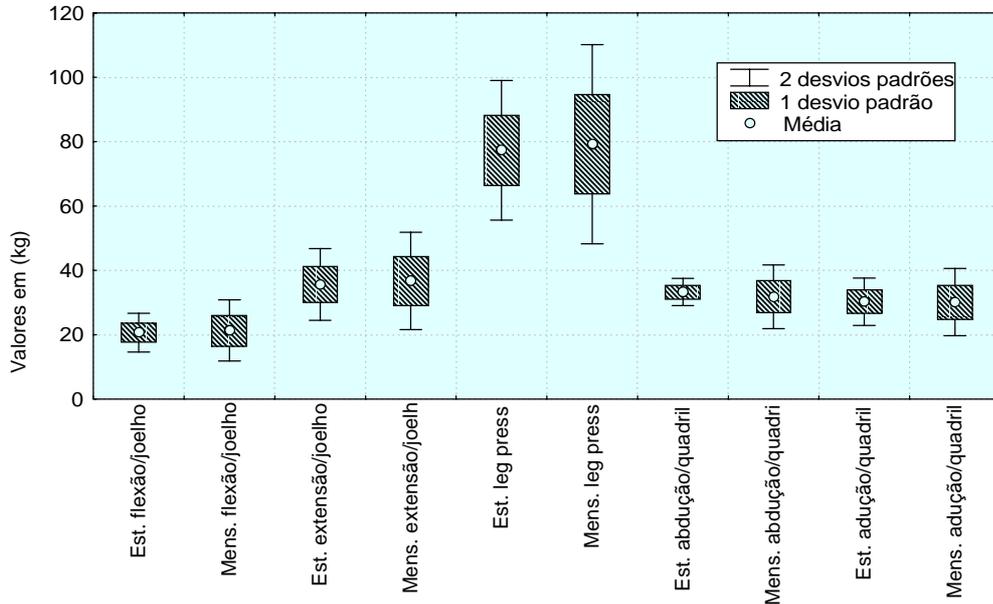


FIGURA 01 – Dados descritivos de média e desvios padrões dos testes de força dinâmica máxima referente aos exercícios de membros inferiores para valores estimados (Est.) e valores mensurados (Mens.) (n=20).

Embora seja sempre maior o DPM em relação ao DPE, esta intensidade da diferença apresenta-se em graus variados.

Observa-se que o exercício *leg press*, supino, abdução de quadril e extensão de joelhos são os de maior diferença absoluta nos desvios padrões (com 4,61 kg; 3,15 kg; 2,84 kg e 2,0 kg; respectivamente), ficando os outros exercícios com menores diferenças (abaixo de 2,0 kg). Conseqüentemente, deve-se possuir cautela ao interpretar-se valores estimados por estes modelos matemáticos a indivíduos que

possuam escores extremos altos ou baixos na variável dependente.

Em vista dos critérios de validação apresentados e discutidos neste estudo, ficou evidenciado que os modelos matemáticos regressivos dos exercícios extensão de joelhos, adução de quadril, voador frontal e puxada frontal, construídos a partir de variáveis neuromusculares, possuem validade concorrente para estimar a FDM em máquinas de ERP da marca INBAF, em mulheres pouco familiarizadas com este tipo de exercitação corporal.

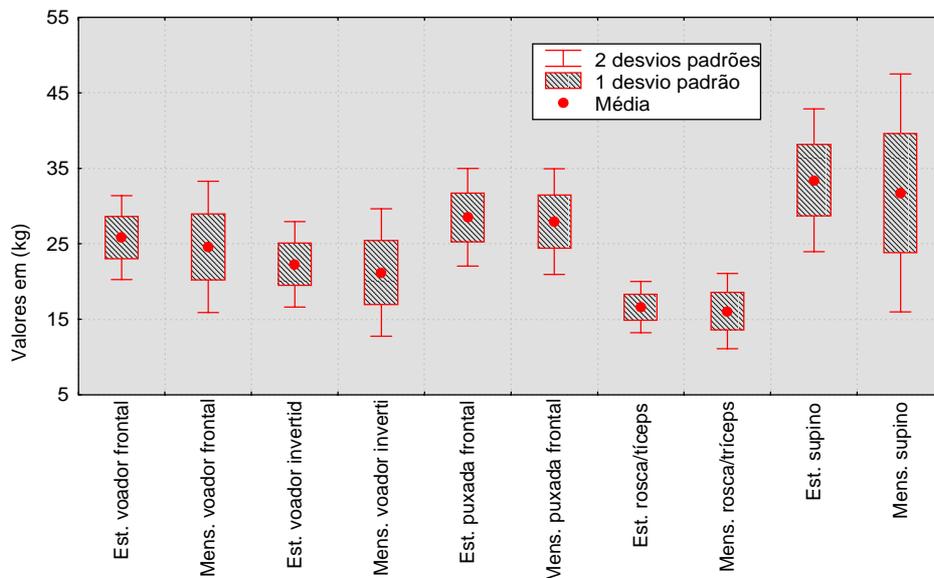


FIGURA 02 – Dados descritivos de média e desvios padrões dos testes de força dinâmica máxima referentem aos exercícios dos membros superiores/tronco para valores estimados (Est.) e valores mensurados (Mens.) (n=20)

A discussão sobre os resultados acima expostos diz respeito somente aos modelos matemáticos propostos para estimativa da FDM em maquinários da marca INBAF, haja vista que, em estudo de Moura et al. (2001) os autores encontraram diferenças significativas entre as médias dos escores de força mensurado em um mesmo grupo de sujeitos, nas mesmas máquinas de exercício (os quais por sua vez mediam o mesmo grupo muscular) porém de marcas diferenciados. Os autores explicaram as variações encontradas argumentando que os designs (braços de alavancas, roldanas, torques, etc.) dos maquinários, por serem diferentes, causaram as variações de força encontrada.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Conclui-se que os modelos matemáticos regressivos dos exercícios extensão de joelhos, adução de quadril, voador frontal e puxada frontal; são válidos para estimar a FDM em exercícios resistidos com peso realizados em maquinário da marca INBAF em mulheres pouco familiarizadas a este tipo de exercitação corporal.

Sugere-se o desenvolvimento de modelos matemáticos para estimar a força no sexo masculino e em outros grupos com características amostras diferentes das estudadas neste trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Baumgartner, T. A. & Jackson, A. S. (1995). Measurement for Evaluation. Physical Education and Exercise Science; 15. ed. Wisconsin: WCB Brown & Benchmark.
- Bittencourt, N.G. (1986). **Musculação; uma Abordagem Metodológica**. Rio de Janeiro: Sprint.
- Carnaval, P. E. (1995). **Musculação Aplicada**. Rio de Janeiro: Sprint.
- Coelho, R. W. & Coelho, Y. B. (1999). Estudo Comparativo dos Diferentes Tipos de Respiração na Musculação. **Revista Treino Desportivo**, 4 (1), 08-13.
- Dantas, E.H.M. (1998). **A Prática da Preparação Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: Shape.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (1999). **Fundamentos do Treinamento de Força Muscular**. 2ª. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul.
- Freitas, F. M. C. (1987). Fatores influenciadores da força muscular. **Revista Artus**, 18 (19), 38-45.
- Glaner, M. F. & Rodriguez Añez, C. R. (1999). Validação de Procedimentos Antropométricos para Estimar a Densidade Corporal e Percentual de Gordura em Militares Masculinos. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**. 1 (1), 24-29.
- Guedes, D. P. & Guedes, J. E. P. R. (1998). **Controle do Peso Corporal: Composição Corporal, Atividade Física e Nutrição**. Londrina: Midiograf.
- Gravel, D.; Gagnon, M.; Plamondon, A. et al. (1997). Development and Application of Predictive Equations of Maximal Static Moments Generated by the Trunk Musculature. **Clinica Biomechanics**. 12 (5), 56-59
- Ilha, P.; Moura, J. A. R. & Zinn, J. L. (2000). Associação entre resistência muscular localizada e força máxima dinâmica (Resumo). **ANAIS – Sessões Científicas, XV Congresso Internacional de Educação Física – FIEP/2000**; Foz do Iguaçu, PR.
- Lohman, T. G. (1992). **Advances in Body composition Assessment**. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Mcardle, W. D.; Katch, F.I. & Katch, V.L. (1998). **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Monteiro, W. D. (1994). **Predição da Força Relativa Através de Testes de Resistência Muscular Localizada – Um Estudo Preliminar da Validade de Conteúdo**. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Educação Física, UGF, Rio de Janeiro, RJ.
- Morales, J. & Sobonya, S. (1996). Use of Submaximal Repetition Test for Predicting 1-RM Strength in Class Athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 10 (3), 186-189.
- Moura, J. A. R.; Almeida, H. F. R. & Sampedro, R. M. F. (1997). Força Máxima Dinâmica: Uma Proposta Metodológica para Validação do Teste de Peso Máximo em Aparelhos de Musculação. **Kinesis**, 18, 23-50.
- Moura, J. A. R. & Zinn, J. L. (1999) Desenvolvimento de Equação para Estimar a Massa Corporal de Crianças de 7 a 13 anos de Idade Baseado em Circunferências do Braço e Tronco (Resumo). **Anais: IV Seminário Institucional de Ensino, Pesquisa e Extensão & II Amostra de Iniciação Científica**, Unicruz, Cruz Alta.
- Moura, J. A. R. (2000). **Proposição e Validação de Equações para Estimativa da Carga Máxima em Exercícios de Sobrecarga para Mulheres**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Educação Física, Centro de Educação Física e Desportos, UFSM, Santa Maria, RS.

- Moura, J.A.R.; Zinn, J.L & Ilha, P.M.V. (2001). Diferenças na força dinâmica máxima mensurada em diferentes marcas de aparelhos de musculação. **Kinesis**, Edição Especial, 87-102.
- Nutter, J. & Thorland, W. (1987). Body composition and anthropometric correlates of isokinetic leg extension strength of young adult males. **Research Quarterly for Exercise and Sport**. 1(58), 47-51.
- Yonamine, R.S. & Pires Neto, C.S. (2000). Desenvolvimento e validação de equações para estimativa da massa corporal magra de meninos de 12 a 14 anos. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**. 2(1), 7-16.
- Petroski, E. L.. (1995). **Desenvolvimento e Validação de Equações Generalizadas para Estimativa da Densidade Corporal em Adultos**. Tese de Doutorado. Doutorado em Educação Física, Santa Maria, RS.
- Pinheiro, P. T. M.; Costa, A. L. L. & Soares, M. (1998). Relação entre Força Voluntária Máxima, Número de Repetições e Circunferência Corrigida do Braço (Resumo). **XXI Simpósio Internacional de Ciências do Esporte**, CELAFISCS, São Caetano do Sul.
- Pollock, M. L. & Wilmore, J. H. (1993). **Exercícios na Saúde e na Doença: Avaliação e prescrição para Prevenção e Reabilitação**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Medsi.
- Raso, V., Andrade, E. L., Matsudo, S. M. & Matsudo, V. K. R. (1997). Exercícios com pesos para mulheres idosas. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, 2(4), 17-26.
- Rodriguez-Añez, C. R. (1997). **Desenvolvimento de Equações para Estimar a Densidade Corporal de Soldados e Cabos do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Educação Física, UFSM, Santa Maria, RS.
- Santarém, J. M. (1993). **Musculação: Princípios Atualizados: Fisiologia, Treinamento e Nutrição**. São Paulo: Arte Final.
- Vincent W. J. (1995). **Statistics in Kinesiology**. California State University: Human Kinetics.
- Wentworth, M. C. & Abadie, B. R. (1999). Prediction of one repetition maximum shoulder press strength from a 5-10 repetition sumaximal strength teste in college-aged females. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, 1 (70), 45-49.

Endereço do autor:

João Augusto Reis de Moura
Rua Angelo Bolsson, 357, aptº 104.
Bairro Medianeira
CEP 97070-000 - Santa Maria (RS)
Fone: (55) 9965-1193.