



CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências da Reabilitação–PPGCR
Mestrado Acadêmico em Ciências da Reabilitação

CLEBER DA PENHA

**EQUAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MEDIDA DO ÍNDICE DE
PRESSÃO MUSCULAR INSPIRATÓRIA DINÂMICA (S-INDEX)
EM ADULTOS SAUDÁVEIS BRASILEIROS**

RIO DE JANEIRO

2024

CLEBER DA PENHA

**EQUAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MEDIDA DO ÍNDICE DE
PRESSÃO MUSCULAR INSPIRATÓRIA DINÂMICA (S-INDEX)
EM ADULTOS SAUDÁVEIS BRASILEIROS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Ciências da Reabilitação,
do Centro Universitário Augusto Motta, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências da Reabilitação.

Linha de Pesquisa: Avaliação Funcional em
Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Luís Felipe da Fonseca
Reis

RIO DE JANEIRO

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação – SBI – UNISUAM

614.5924 da Penha, Cleber

M433a Equação de referência para medida do índice de pressão muscular inspiratória dinâmica (s-index) em adultos saudáveis brasileiros/ Cleber da Penha. – Rio de Janeiro, 2024.

72p.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) - Centro Universitário Augusto Motta, 2024.

, , S-Index

1. Avaliação muscular ventilatória. 2. Pressões inspiratórias máximas 3. S-Index.4. Equação de referência. I. Título.

CDD 23.ed.

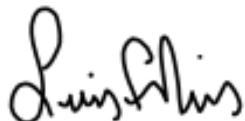
RIO DE JANEIRO - RJ

2024

CLEBER DA PENHA

**EQUAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MEDIDA DO ÍNDICE DE
PRESSÃO MUSCULAR INSPIRATÓRIA DINÂMICA (S-INDEX)
EM ADULTOS SAUDÁVEIS BRASILEIROS**

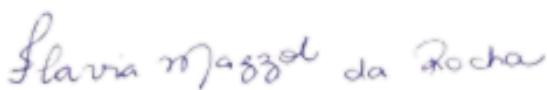
Examinada em: 21/05/2024



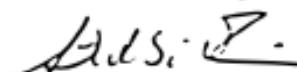
Luis Felipe da Fonseca Reis
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM



Agnaldo José Lopes
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM



Flávia Mazzoli da Rocha
Instituto Nacional de Infectologia –INI - FIOCRUZ



Arthur de Sá Ferreira
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM

RIO DE JANEIRO

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me mostrar que tudo tem seu tempo e por me permitir dar um passo de cada vez.

A minha mãe, Ione da Penha, por toda atenção e dedicação em minha educação e por fazer parte desse sonho desde o início.

A minha esposa Tatiane Condolo Dias, por dividir comigo as angústias, as dificuldades e as alegrias de cada momento vivido. Obrigado meu amor, por todo apoio e incentivo nesse período.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Felipe da Fonseca Reis, agradeço imensamente sua dedicação, empenho, profissionalismo e ensinamentos como professor e amigo nas horas difíceis do trabalho de pesquisa.

Agradeço aos professores: Arthur Ferreira, Thiago Carvalho, Agnaldo Lopes, Patrícia Vigário, Ney Filho, Alex Alves, Luís Felipe Reis, Renato Almeida, Leandro Nogueira e aos alunos do PIBICS por me ajudar nesta jornada do conhecimento.

A banca de qualificação composta pelos professores Dr. Arthur de Sá Ferreira e pelo Dr. Leonardo Cordeiro de Souza, pelo aceite e disponibilidade, pela partilha de seus conhecimentos e por contribuírem para que esse trabalho fosse lapidado.

A Universidade Augusto Motta – Unisuam, pelo Programa de Pós Graduação Stricto Sensu (Mestrado) em Ciências da Reabilitação, por me proporcionar a realização de um sonho.

A todos os meus amigos e familiares, que compreenderam minhas ausências em diversos momentos e que ainda assim, me incentivaram a continuar caminhando atrás deste sonho.

A todos os voluntários desta pesquisa, que doaram seu tempo para realização das avaliações em prol da pesquisa. Agradeço a todos que contribuíram e confiaram no sucesso deste projeto.

O meu muito obrigado!

Resumo

A força dos músculos respiratórios pode ser avaliada a partir de medidas estáticas (pressões inspiratórias e expiratórias máximas, Plmáx e PEmáx) ou inferidas a partir de manobras dinâmicas (índice da pressão inspiratória dinâmica máxima - S- Index). Embora existam diversas equações para os valores de Plmax validados para população brasileira, nenhum estudo anterior forneceu valores de referência para o S-Index usando uma amostra saudável e selecionada aleatoriamente da população adulta brasileira. Com esse objetivo principal, avaliamos prospectivamente, após a aprovação no CEP Institucional, vinculado à plataforma Brasil sob número CAAE: 64320022.4.000.5235, 214 indivíduos, adultos, pareados por sexo e idade, com faixa etária entre 20 e 65 anos (média de idade de $44,95 \pm 14,98$ anos), não fumantes, eutróficos (IMC: $25,45 \pm 3,31$ kg/m²) foram avaliados randomicamente para avaliação sequencial da Plmax, cmH₂O seguida do S-Index, cmH₂O ou vice-versa, além das medidas espirométricas(CVF, VEF1, VEF1/CVF), medida de força muscular periférica (HGMSd, Kgs), dados antropométricos e do nível de atividade física(IPAQ). A mediana da pressão inspiratória máxima (Plmax, cmH₂O) foi estatisticamente maior que a mediana do índice de pressão muscular dinâmico (S-Index, cmH₂O) (Mediana [IQ] Plmax: 97,2 [96,7-112] vs S-Index 92,5 [80 – 105], $p < .001$). A diferença média entre as medianas(SMD) foi de 8,15 com IC 95% compreendido entre 7 e 9,18. Embora as medianas sejam estatisticamente diferentes, há forte correlação entre a Plmax, cmH₂O e o S-Index, cmH₂O (Rho de Spearman 0,822 [IC95% 0,770 – 0,859], $p < 0,001$ e entre o S-Index a medida do HGMSd(Rho de Spearman 0,841 [IC95% 0,760 – 0,853], $p < 0,001$). Assim, as equações de predição linear específicas para o S-Index(cmH₂O) foram desenvolvidas por análise de regressão múltipla com os preditores idade, sexo e HGMSd, estabelecendo a fórmula baseada na equação derivada da reta, $Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + B_3 * X_3 + B_n * X_n$ e assim estabelecer a equação S-Index, cmH₂O = $69,72 + 10,765 * \text{sexo}$ (homens = 1 e Mulheres = 0) – $0,211 * \text{idade} + 0,797 * \text{HGMSd}$. Secundariamente foi calculado também o LIN do índice de pressão muscular (S-Index, cmH₂O) pelo score de Z nas diferentes faixas etárias e o ponto de corte do índice de pressão muscular (S-Index, cmH₂O) para fraqueza muscular ventilatória para homens e mulheres (69,35 para homens e 53,79 para mulheres). Nossos resultados, portanto, fornecem os primeiros valores de referência para o S-Index entre homens e mulheres brasileiros, saudáveis, eutróficos, com idade entre 20 e 65 anos, além dos LIN e os pontos de corte para o diagnóstico de fraqueza muscular ventilatória em ambos os sexos.

Palavras – Chave: Avaliação muscular ventilatória, pressões inspiratórias máximas, S-Index

Abstract

The strength of the respiratory muscles can be assessed from static measurements (maximum inspiratory and expiratory pressures, MIP and MEP) or inferred from dynamic maneuvers (maximum dynamic inspiratory pressure index - S- Index). Although there are several equations for PI_{max} values validated for the Brazilian population, no previous study has provided reference values for the S-Index using a healthy, randomly selected sample of the Brazilian adult population. With this main objective, we prospectively evaluated, after approval by the Institutional CEP, linked to the Brazil platform under CAAE number: 64320022.4.000.5235, 214 individuals, adults, matched by sex and age, aged between 20 and 65 years (average age 44.95 ± 14.98 years), non-smokers, eutrophic (BMI: 25.45 ± 3.31 kg/m²) were randomly evaluated for sequential evaluation of PI_{max}, cmH₂O followed by S-Index, cmH₂O or vice versa , in addition to spirometric measurements (FVC, FEV1, FEV1/FVC), measurement of peripheral muscle strength (HGMSd, Kgs), anthropometric data and physical activity level (IPAQ). The median maximum inspiratory pressure (PI_{max}, cmH₂O) was statistically higher than the median dynamic muscle pressure index (S-Index, cmH₂O) (Median [IQ] PI_{max}: 97.2 [96.7-112] vs S- Index 92.5 [80 – 105], $p < .001$). The mean difference between the medians (SMD) was 8.15 with a 95% CI between 7 and 9.18. Although the medians are statistically different, there is a strong correlation between PI_{max}, cmH₂O and the S-Index, cmH₂O (Spearman's Rho 0.822 [95%CI 0.770 – 0.859], $p < 0.001$ and between the S-Index and the HGMSd measurement(Rho Spearman 0.841 [95%CI 0.760 – 0.853], $p < 0.001$). Thus, the specific linear prediction equations for the S-Index (cmH₂O) were developed by multiple regression analysis with the predictors age, sex and HGMSd, establishing the formula based on the equation derived from the straight line, $Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + B_3 * X_3 + B_n * X_n$ and thus establishing the S-Index equation, cmH₂O = $69.72 + 10.765 * \text{sex}$ (men = 1 and Women = 0) – $0.211 * \text{age} + 0.797 * \text{HGMSd}$. Secondarily, the LIN of the muscle pressure index (S-Index, cmH₂O) was also calculated using the Z score in the different age groups and the cutoff point of the muscle pressure index (S-Index, cmH₂O) for ventilatory muscle weakness for men and women (69.35 for men and 53.79 for women). Our results therefore provide the first reference values for the S-Index among Brazilian men and women. healthy, eutrophic, aged between 20 and 65 years, in addition to the LIN and the cutoff points for the diagnosis of ventilatory muscle weakness in both sexes.

Keywords: Respiratory musclestrength; S-Index; Respiratory muscle assessment.

Lista de Siglas

ATS	American Thoracic Society
CAAE	Certificado de apresentação de apreciação ética
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCI	Coeficiente de correlação intraclasse
CPT	Capacidade pulmonar total
CRF	Capacidade residual funcional
CVF	Capacidade vital forçada
DP	Desvio padrão
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
DMD	Diferença mínima detectável
ERS	European Respiratory Society
EUA	Estados Unidos da América
EPM	Erro padrão da média
FAPERJ	Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
FME	Fraqueza muscular expiratória
FMI	Fraqueza muscular inspiratória
HGMsd	Hand grip measurement
IC	Índice de confiança
IMC	Índice de massa corpórea
IPAQ	International Physical Activity Questionnaire
LIN	Limite inferior de normalidade
MSD	Membro superior dominante
ODS	Objetivo do desenvolvimento sustentável
PPGCR	Programa de pós graduação em ciências da reabilitação
SBPT	Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
UK	Reino Unido
VR	Volume residual

Lista de Abreviações

cm/H ₂ O	centímetros de água
kg/m ²	kilo grama por metro quadrado
lb	Libra
Pdi	Pressão transdiafragmática
PEmax	Pressão expiratória máxima
Plmax	Pressão inspiratória máxima
Pmus	Pressão muscular
Prs	Pressão do sistema respiratório
S-Index	Índice de força muscular respiratória dinâmica
VEF1	Volume expiratório forçado no primeiro segundo
vs	versus

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 1- Equações de referência da Pimax validadas para população brasileira.

Quadro 2- Equações de referência da Pemax validadas para população brasileira.

Tabela 1a- Estatística Descritiva da amostra global.

Tabela 1b- Estatística Descritiva pareada por sexo e idade.

Tabela 1c- Frequências de Nível de atividade física, IPAQ – SF.

Tabela 2- Média e Mediana da Pimax, cmH₂O e do S-Index, cmH₂O.

Tabela 3- Pimax, cmH₂O e S-Index, cmH₂O nas diferentes faixas etárias e entre homens e mulheres.

Gráfico 1- Scatter – plot da Pimax, cmH₂O e do S-Index, cmH₂O nas diferentes faixas etárias e entre homens e mulheres.

Tabela 4- Matriz de correlação de Spearman entre a Pimax, o S-Index e a medida do HGMSd.

Tabela 5- Análise comparativa entre os percentuais dos preditos do S-Index, cmH₂O a partir das 4 equações validadas no Brasil para a Pimax, cmH₂O.

Tabela 6- Modelo de regressão linear em dois modelos diferentes H0 (sexo e idade como variáveis dependentes) e modelo H1 (sexo, idade e HGMSd) para predição do S-Index, cmH₂O.

Tabela 7- Análises dos pressupostos da regressão linear. Todo modelo de regressão foi avaliado em relação aos pré-requisitos da regressão.

Gráfico-2a e 2b- Modelo de regressão foi avaliado em relação aos pré-requisitos da regressão

Tabela 8- Limites inferiores de normalidade da pressão inspiratória máxima (Pimax, cmH₂O) e do índice de pressão muscular (S-Index, cmH₂O) baseados no score Z. **Gráfico 3:** Pontos de corte para fraqueza muscular baseados no Score T.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE SIGLAS	VIII
LISTA DE ABREVIAÇÕES	IX
LISTA DE QUADROS E TABELAS	X
CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA	13
1.0 INTRODUÇÃO	13
1.1 MÚSCULOS RESPIRATÓRIOS	14
1.2 AVALIAÇÃO DA FORÇA MUSCULAR RESPIRATÓRIA	16
1.2.1 AVALIAÇÃO DA PRESSÃO INSPIRATÓRIA ESTÁTICA MÁXIMA	18
1.2.2 AVALIAÇÃO DA PRESSÃO EXPIRATÓRIA ESTÁTICA MÁXIMA	22
1.2.3 AVALIAÇÃO DINÂMICA DA FORÇA MUSCULAR INSPIRATÓRIA	23
1.3 JUSTIFICATIVAS	27
1.3.1 RELEVÂNCIA PARA AS CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO	27
1.3.2 RELEVÂNCIA PARA A AGENDA DE PRIORIDADES DO MINISTÉRIO DA SAÚDE	27
1.3.3 RELEVÂNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	28
1.4 OBJETIVOS	28
1.4.1 PRIMÁRIOS	28
1.4.2 SECUNDÁRIOS	28
1.4.3 HIPÓTESES	24
CAPÍTULO 2 – PARTICIPANTES E MÉTODOS	25
2.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO	25
2.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO	25
2.3 AMOSTRA	25
2.3.1 LOCAL DE RECRUTAMENTO DOS PARTICIPANTES	26
2.3.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	26

2.3.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	26
2.4 PROCEDIMENTOS	27
2.4.1 VARIÁVEIS DE DESFECHO	29
2.4.2 VARIÁVEIS DE DESFECHO PRIMÁRIO	29
2.4.3 VARIÁVEIS DE DESFECHO SECUNDÁRIO	29
2.5 ANÁLISE DOS DADOS	30
2.6 ASPECTOS ÉTICOS	30
2.6.1 POTENCIAIS RISCOS	31
2.6.2 POTENCIAIS BENEFÍCIOS	31
3.0 RESULTADOS	32
3.1 CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS	32
3.2 MEDIDAS DAS PRESSÕES DAS PRESSÕES RESPIRATÓRIAS	
MÁXIMAS ESTÁTICAS (PIMAX) E DINÂMICAS (S-INDEX)	36
4.0 DISCUSSÃO	44
5.0 CONCLUSÃO	50
6.0 REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE 1 – PARECER CONSUBSTANIADO DO CEP E APROVAÇÃO	58
APÊNDICE 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	62
APÊNDICE 3 – QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA (IPAQ)	65

1 Introdução

A força muscular inspiratória é considerada um preditor importante para a capacidade ventilatória e um marcador para a regulação da homeostase do sistema respiratório, estando afetada em diversas condições clínicas como DPOC, ASMA, insuficiência cardíaca, doenças neuromusculares, dentre outras (Laghi & Tobin, 2003). Existem diversas formas e métodos avaliativos para mensuração da força muscular ventilatória, desde métodos com maior necessidade tecnológica como a medida da pressão transdiafragmática (Pdi), até métodos volitivos como as medidas da pressão inspiratória máxima (PImax) cuja avaliação é simples e amplamente utilizada na prática clínica (Gosselink *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2018).

Apesar da manobra de aferição da pressão inspiratória máxima ser a mais utilizada na prática clínica o valor gerado da força muscular representa uma pressão exercida numa faixa estreita da força muscular a partir do volume residual pulmonar (Silva *et al.*, 2018) sendo esta aferida em condições *quasi* estáticas, isométricas.

Recentemente uma nova ferramenta vem sendo disponibilizada como estratégia para mensuração da força muscular respiratória em contraste com a avaliação *quasi* estática, que é a utilização de um equipamento orientado a fluxo — dependente e eletrônico (*Powerbreathe K series*), que avalia a força muscular inspiratória contra a via aérea aberta e assim em condição dinâmica ou isotônica a força muscular inspiratória (Minahan *et al.*, 2015). Esta medida denominada S-Index, (Índice de força muscular respiratória dinâmica), é obtida pela integração do sinal de fluxo obtendo-se assim a relação de pressão em função do volume inspiratório dinâmico e máximo, partindo do volume residual até a capacidade pulmonar total em função do tempo de execução desta manobra (Silva *et al.*, 2018).

O índice de força dinâmica é obtido pela integração numérica do sinal de fluxo e tempo, descartando-se a resistência imposta durante o ato inspiratório, isolando o valor obtido exclusivamente como dependente da variação pressórica e de volume, proporcionado pela ação muscular ventilatória máxima. Desta forma, fica estabelecido pelo S-Index um valor mais fisiológico com maior confiabilidade da força muscular inspiratória total, e com menor trabalho respiratório à execução da manobra (Minahan *et al.*, 2015).

1.1 Músculos Respiratórios

Os músculos respiratórios são músculos estriados esqueléticos que possuem duas funções bem definidas no sistema respiratório, de gerar força e aumentar o volume pulmonar. Esses músculos sofrem uma série de alterações na presença de doenças pulmonares e com o processo de envelhecimento (Nagano *et al.*, 2019).

De acordo com estudos da função muscular respiratória, o desempenho respiratório é determinado pela mecânica dos pulmões, da parede torácica e pela força muscular respiratória, sendo esses fatores limitados pelo exercício físico tanto em indivíduos saudáveis como em doentes crônicos (Willians *et al.*, 1995).

O músculo diafragma é o principal e o mais importante músculo da inspiração. Divide-se em duas hemicúpulas diafragmáticas constituíndo de diafragma costal, com sua origem no processo xifóide do externo e nas margens superiores das seis últimas costelas vertebrais, e origina-se nas três primeiras vértebras lombares e nos ligamentos arqueado medial e lateral (Schepens *et al.*, 2020).

Em condições de repouso seu deslocamento de aproximadamente 1,3 a 1,8 cm aumenta o diâmetro cefalocaudal, podendo chegar a 10 cm numa inspiração forçada (Nagano *et al.*, 2019, Santana *et al.*, 2020).

Sua distribuição de fibras musculares esqueléticas, principalmente fibras do tipo I, resistentes a fadiga, com elevado fluxo sanguíneo, maior capacidade oxidativa e maior densidade capilar, são responsáveis por 70% de todo trabalho respiratório em condições de normalidade da demanda ventilatória (Nagano *et al.*, 2019).

De acordo com a sua configuração geométrica, em forma de cúpula, com a convexidade diafragmática voltada para cima, e em condições de alongamento, com um raio de curvatura menor, sua capacidade de gerar maior tensão aumenta promovendo assim maior pressão de acordo com a lei de Laplace onde, pressão é igual à tensão sobre o raio da curvatura (Polla *et al.*, 2004).

Os músculos intercostais localizam-se entre as costelas e se dividem em intercostais internos, porção paraesternal e interóssea e intercostais externos. Suas

origens são as margens inferiores das costelas e suas inserções são as margens superiores das costelas abaixo. São constituídos por aproximadamente 60% de fibras do tipo I, podendo variar sua composição de acordo com sua localização mais anterior ou posterior do tórax (Courtney *et al.*, 2017; Flint, 1996).

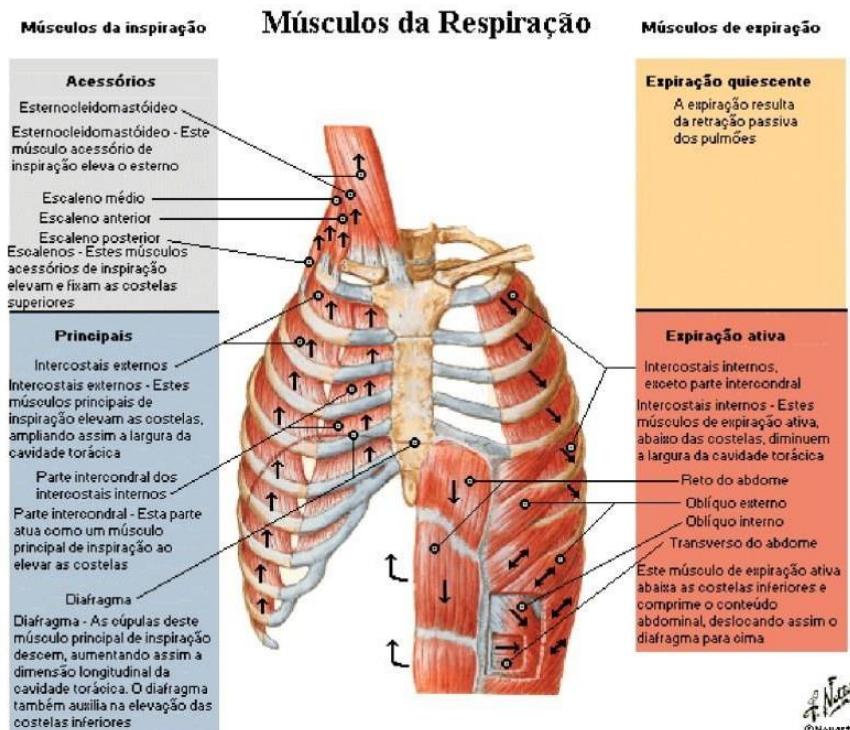


Figura 1: Anatomia dos músculos respiratórios. As setas indicam o sentido da contração muscular. Fonte: Netter. Frank H. Netter. Atlas de anatomia Humana 5° edição. Rio de Janeiro, Elsevier. 2011.

Divergências na literatura demonstram a participação dos intercostais externos e a porção paraesternal como sendo músculos inspiratórios e a porção interóssea como músculos expiratórios (Courtney *et al.*, 2017).

Os músculos escalenos elevam as costelas e o esterno num movimento denominado “braço de bomba”, atuando na expansibilidade da caixa torácica superior. Originam-se das cinco últimas vértebras cervicais e se inserem na borda superior da primeira costela, em sua porção anterior e medial (Polla *et al.*, 2004).

Os músculos abdominais são músculos que participam da fase expiratória da respiração. Sua contração aumenta a pressão intra-abdominal promovendo um aumento da pressão pleural e a saída do ar nos pulmões. Esses músculos se tornam essenciais no mecanismo da tosse e da expiração forçada (Romer & Polkey, 2007).

Esses músculos são compostos pelos músculos reto abdominal, com sua origem na quinta, sexta e sétima cartilagens costais e esterno, inserindo-se no púbis, o músculo oblíquo externo, com sua origem nas últimas costelas e sua inserção na crista ilíaca, no tubérculo púbico e na linha alba, o músculo oblíquo interno, se originando na parte lateral do ligamento inguinal e fáscia tóracolombar e se inserindo no púbis, na linha alba e na cartilagem das três últimas costelas e o músculo transverso do abdome, com origem na face interna das seis últimas costelas, onde se interdigitaliza com as fibras costais do diafragma da fáscia lombar, da crista ilíaca e do ligamento inguinal, inserindo-se na aponeurose ventral (Polla *et al.*, 2004).

A contração sinérgica desses músculos, na fase inspiratória, facilita a ação do diafragma, pois permite ao diafragma um maior alongamento no início da fase inspiratória e durante sua contração, um maior apoio do centro tendíneo nas vísceras abdominais, facilitando a elevação das costelas (Polla *et al.*, 2004).

1.2 Avaliação da Força Muscular Respiratória

Desde 1969, Black & Hyatt introduziram uma forma simples de se medir pressões respiratórias máximas com um manômetro / manovacuômetro graduado em cmH₂O, demonstrando que essa era uma medida quantitativa da função e da força dos músculos respiratórios. Desde então, a força muscular respiratória é medida universalmente através da determinação das pressões respiratórias máximas. (Black & Hyatt, 1969).

As pressões inspiratórias e expiratórias máximas (Pimax / PEmax) são então amplamente utilizadas para a avaliação da força muscular respiratória tanto na investigação científica como na prática clínica (ATS & ERS, 2002; Laveneziana *et al.*, 2019). Estes testes são clinicamente úteis em doentes com suspeita de fraqueza muscular respiratória e / ou comprometimento da tosse, dispneia inexplicável e testes de função pulmonar anormais.

Eles podem contribuir para o diagnóstico, prognóstico, desenho e avaliação dos benefícios do tratamento e acompanhamento do paciente (ATS & ERS, 2002; Laveneziana *et al.*, 2019). Suas principais vantagens são que exigem equipamentos de baixo custo que envolve um procedimento rápido e não invasivo, bem tolerados, pelos pacientes.

Entretanto, o uso desses testes é limitado pela falta de: (1) uma metodologia de medição padronizada; (2) valores de referência normativos representativos de uma

grande população saudável para comparação com os resultados obtidos e (3) pontos de corte objetivos para definir fraqueza muscular respiratória (Rodrigues *et al.*, 2017).

Globalmente, existem cerca de 50 equações de referência para Pimax / PEmax (cada uma envolvendo menos de 10.000 indivíduos) publicadas em adultos saudáveis (Souto-Miranda *et al.*, 2021; Baira Pareddy *et al.*, 2021).

No entanto, valores de referência normativos (Laveneziana *et al.*, 2019) coletados de acordo com metodologia padronizada e endossada pela *American Thoracic Society* e *European Respiratory Society* ATS & ERS, 2002 são raros, situação que dificulta a interpretação uniforme.

Isto contrasta fortemente com outros testes de função pulmonar como por exemplo, a espirometria, para os quais estão disponíveis valores de referência normativos a partir de grandes amostras recolhidas ao abrigo de um protocolo universalmente padronizado (Stanojevic *et al.*, 2022).

A escolha das equações de referência da Pimax também demonstrou ter um grande impacto no diagnóstico de fraqueza muscular ventilatória, com prevalências variando de 33% a 67% dependendo das equações de referência utilizadas (Rodrigues *et al.*, 2017). Esta grande variabilidade pode ser atribuída principalmente aos aspectos técnicos (por exemplo, diferenças nos protocolos e equipamentos utilizados) e características da amostra (principalmente sexo e idade, mas também antropometria e etnia) (Laveneziana *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2017; Lista-Paz *et al.*, 2023).

No Brasil, quatro equações foram descritas para população Brasileira (Neder *et al.*, 1999; Pessoa *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2010; Simões *et al.*, 2010), sendo a equação de NEDER (Neder *et al.*, 1999) a mais utilizada para representar a população brasileira.

Assim, devido à heterogeneidade nos métodos de avaliação, nenhuma definição universal de fraqueza muscular respiratória está disponível atualmente. A *American Thoracic Society* (ATS) e a *European Respiratory Society* (ERS) classificaram como linha de corte para o diagnóstico de fraqueza muscular respiratória uma Pimax (-) < 80 cmH20 em valores absolutos.

Outros autores estabelecem como fraqueza àqueles com Pimax < 65% do predito (Gosselink *et al.*, 2011), < 60% predito (Lotters *et al.*, 2002) ou < 70% (Dall'ago *et al.*, 2006) baseados em equações de referência publicadas. No entanto, como o sexo é um dos principais determinantes da força muscular, parece improvável que estes valores de corte sejam aplicáveis tanto a mulheres como a homens (Evans & Whitelaw, 2009).

A interpretação clínica dos testes de função muscular respiratória é outra questão a considerar. Na espirometria, escores $z \geq 1,64$ de desvio padrão (DP) abaixo das médias específicas de idade e sexo são cada vez mais utilizados para definir os limites inferiores de normalidade (LIN) (Stanojevic *et al.*, 2022). Acredita-se hoje que este último método possa ser útil para definir pontos de corte para fraqueza muscular respiratória (Lista-Paz *et al.*, 2023).

Recentemente um novo conceito de avaliação da força muscular respiratória dinâmica, vem sendo empregado, utilizando-se um índice de força muscular dinâmica (S-INDEX) onde a mensuração da força muscular ocorre contra a válvula inspiratória aberta, levando em conta o pico de fluxo inspiratório para integração e estimativa da força muscular inspiratória dinâmica (Silva *et al.*, 2018).

Para estas medidas não há qualquer descrição anterior de equações de referência que estabeleça seu padrão de normalidade, o que leva muitos clínicos a utilizarem os valores de referência da PI_{max} como paradigma. Entretanto, como as medidas são aferidas de forma biomecanicamente distintas, estas equações de PI_{max} em hipótese não expressam tais medidas

1.2.1 Avaliação da Pressão Inspiratória Estática Máxima

A pressão inspiratória máxima (PI_{max}) é uma medida estática (isométrica) da força dos músculos inspiratórios, sustentada por pelo menos 1 (um) segundo, realizada contra uma via aérea ocluída (manobra de Müller) partindo do volume residual. Por ser uma medida dependente de um esforço máximo, o indivíduo precisa estar motivado a realizar o maior esforço possível e sustentar esse esforço por pelo menos 1 (um) segundo para uma confiabilidade da medição, sendo assim, esta é uma medida volitional. Diante disso, a manobra para mensuração da PI_{max} pode ser difícil de ser realizada, especialmente em indivíduos pouco motivados ou com algum grau de déficit cognitivo (ATS & ERS, 2002; Polla *et al.*, 2004).

A medição da PI_{max} está sujeita a influência do volume pulmonar, da motivação, da habilidade adquirida, do efeito da medição repetida, dos equipamentos e interfaces e das condições de volumes pulmonares durante a manobra. Por isso é importante

controlar esses efeitos com o devido treinamento para habituar os indivíduos à medição (Volianitis *et al.*, 2001).

Segundo a ATS / ERS, ratificado no ano seguinte pela SBPT, a medida da PI_{max} deve ser obtida em pelo menos três manobras, em um total de 5 manobras reproduutíveis, com variabilidade menor que 10%, elegendo o maior valor obtido, com intervalo de repouso entre as manobras de 1 minuto entre elas (ATS & ERS, 2002; SBPT, 2002).

A mensuração da PI_{max} é altamente dependente do esforço máximo do indivíduo, sendo também influenciado pelo efeito do aprendizado motor, que por sua vez relaciona-se ao número de mensurações obtidos dentro de um intervalo inicial (5 manobras) onde a partir deste, ocorre um estado de equilíbrio (steady state). Considera-se o maior valor encontrado entre as três primeiras mensurações realizadas e reproduutíveis (ATS & ERS, 2001; SBPT, 2002).

Esse efeito acaba apresentando grandes variações dos valores encontrados mascarando alterações da PI_{max}, devido aos efeitos da fadiga muscular inspiratória (Nepomuceno *et al.*, 2016). Contudo esse efeito do aprendizado pode ser minimizado colocando uma carga inspiratória submáxima antes da avaliação da PI_{max} (Hawkes *et al.*, 2007). O treinamento com cargas submáximas antes da avaliação da PI_{max} proporciona, um menor tempo e uma menor variação dos valores encontrados, sendo uma alternativa para o efeito do aprendizado durante mensuração da PI_{max} (Hawkes *et al.*, 2007).

Além do exposto anteriormente como o efeito aprendizado ou o treinamento submáximo dos músculos inspiratórios, a fraqueza muscular inspiratória possui relação com a geometria do arcabouço torácico, podendo este gerar alterações nas medidas apuradas e não conseguir objetivamente classificar como fraqueza muscular (Langer *et al.*, 2013).

Para a realização da medição da PI_{max}, podemos utilizar um manovacuômetro analógico, graduado de -150 a + 150 cmH₂O ou um manovacuômetro digital (Figura 2), que além de medir em escala centesimal a PI_{max}, permite análise de interface gráfica, e assim, outras medidas podem ser derivadas. Não há evidências de diferenças clinicamente relevantes entre os manovacuômetros utilizados (Romer & Polkey, 2007;

Gosselink *et al.*, 2011; Evans & Whitelaw, 2009).

A medida da pressão inspiratória máxima é realizada com o indivíduo na posição sentado utilizando-se um clipe nasal e um bom ajuste bucal no aparelho. Este bucal pode ser cilíndrico (MC Elvaney *et al.*, 1989; Enright *et al.*, 1994; Tully *et al.*, 1997; tipo mergulhador (Leech *et al.*, 1983; Wilson *et al.*, 1984; Vincken *et al.*, 1987) (Figura 5).

A medida será feita a partir de uma expiração máxima, até o nível do volume residual (VR) e após é realizado uma inspiração máxima contra um sistema de válvula ocluída, e essa força é transmitida para um manômetro de pressão para o registro do valor encontrado. Utiliza-se como medida o valor da pressão sustentada por 1" e não o valor de pico. (Rodrigues *et al.*, 2000; Polla *et al.*, 2004).



Figura 2: Manovacuômetros analógico (Ventcare) e digital MVD300-U (Global Med Porto Alegre Brasil).

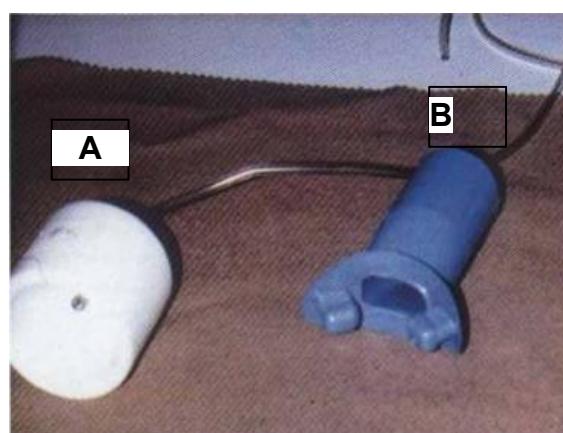


Figura 3: Bucal cilíndrico (A) e bucal tipo mergulhador (B) (Rodrigues *et al.*, 2000).

Existem diferentes estratégias e protocolos de aferição da PI_{max}. Entretanto a

mais universalmente aceita é aquela que afere a pressão inspiratória máxima partindo do nível do volume residual e não da capacidade residual funcional. Ao nível da capacidade residual funcional (CRF), ocorre um equilíbrio entre a expansão torácica e o recuo elástico dos pulmões (Figura 4). No volume residual (VR) esse equilíbrio é alterado ocorrendo maior tendência à expansão, gerando incrementos nos valores aferidos da P_{lmax} de até -30 cmH₂O a partir desse ponto (SBPT, 2002).

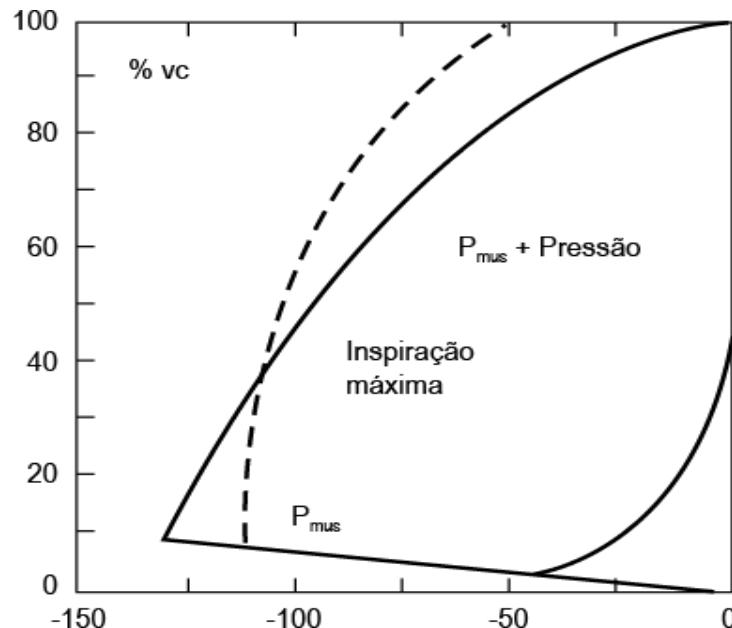


Figura 4: Relação entre a pressão dos músculos inspiratórios e as forças de recolhimento elástico do sistema respiratório em diferentes volumes pulmonares. A linha pontilhada demonstra a pressão gerada pelos músculos. P_{mus} : pressão desenvolvida pelos músculos inspiratórios. Prs : pressão do sistema respiratório. *Fonte: Adaptada de American Thoracic Society (ATS) e European Respiratory Society (ERS, 2002).*

Os valores obtidos na mensuração da Pimax de cada indivíduo precisam ser confrontados com valores de referência para determinados grupos e idades, para se definir numericamente se existe a condição de fraqueza muscular inspiratória adquirida (Pessoa *et al.*, 2014).

Existem diversas equações de predição da força muscular inspiratória na população brasileira, mas elas possuem grandes variações nos valores encontrados. A diversidade heterogênea da população brasileira, o número reduzido de indivíduos que participaram da amostra e a pobre correlação das pressões respiratórias com dados antropométricos acabam gerando discrepâncias nos valores encontrados das equações de referência (Pessoa *et al.*, 2014).

Observe no quadro 1 as diferentes equações da Pimax validadas para a população brasileira (Neder *et al.*, 1999; Pessoa *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2010; Simões *et al.*, 2010).

Quadro 1: Equações de referência da Pimax validadas para população brasileira.

Idade :anos; peso:kg. (Modificado de PROFISIO:CICLO2, VOL.3:2016)

	Homens	Mulheres
NEDER <i>et al.</i> , 1999	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=155,3-0,80(\text{idade})$	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=110,4-0,49(\text{idade})$
COSTA <i>et al.</i> , 2010	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=232,37-1,24(\text{idade})$	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=74,25-0,46(\text{idade})$
PESSOA <i>et al.</i> , 2014	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=63,27-0,55(\text{idade})+17,96+0,58(\text{peso})$	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=63,27-0,55(\text{idade})+0,58(\text{peso})$
SIMÕES <i>et al.</i> , 2010	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=125-0,76(\text{idade})$	$P_{\text{Imáx}}(\text{cmH}_2\text{O})=80,7-0,85(\text{idade})-0,3(\text{peso})$

1.2.2 Avaliação da Pressão Expiratória Estática Máxima

A pressão expiratória máxima (PEmax), mensura a força dos músculos expiratórios em cmH_2O , realizando ao nível da capacidade pulmonar total (CPT) realizando uma expiração forçada máxima sobre um sistema de válvula ocluída (Neder *et al.*, 1999).

A medida da PEmax deve ser realizada com o indivíduo em posição sentada utilizando um clipe nasal e mantendo um bocal firme entre os lábios, para não haver escape, sendo necessário, pelo menos três medidas reproduutíveis e aceitáveis, não variando os valores em mais de 10% dos valores mensurados, com um intervalo de mensuração entre elas de pelo menos 1 minuto (Neder *et al.*, 1999).

A mensuração da pressão expiratória máxima precisa ser mantida por pelo menos 1,0 segundo, para que a maior medida mensurada possa ser considerada aceita como na P_{lmax} . Períodos mais longos mantidos na mensuração da pressão máxima devem ser evitados por gerar aumento da pressão intratorácica, diminuição do débito cardíaco, podendo ocorrer síncope enquanto executa a manobra de força (Neder *et al.*, 1999).

Da mesma forma que ocorre na medida da P_{lmax} , também os valores obtidos das pressões máximas expiratórias apresentam grande discrepância dos valores mensurados. Possivelmente as metodologias empregadas nas equações propostas da P_{lmax} foram propostas também nas equações da P_{Emax} , além dos fatores descritos anteriormente nos valores de limites da P_{lmax} na população brasileira (quadro 2) (Langer *et al.*, 2013).

Quadro 2: Equações de referência da P_{Emax} validadas para população brasileira.

Idade: anos; peso: kg. (PROFISIO: C/CL02, VOL.3;2016).

	Homens	Mulheres
NEDER <i>et al.</i> , 1999	$P_{Emax}(cmH2O)=165,3-0,81(idade)$	$P_{Emax}(cmH2O)=115,6-0,61(idade)$
COSTA <i>et al.</i> , 2010	$P_{Emax}(cmH2O)=183,31-1,26(idade)$	$P_{Emax}(cmH2O)=119,35-0,68(idade)$
PESSOA <i>et al.</i> , 2014	$P_{Emax}(cmH2O)=61,41+2,29(idade)-0,03(idade^2)+33,72$ +1,40(perímetro da cintura)	$P_{Emax}(cmH2O)=61,41+2,29(idade)-0,03(idade^2)+33,72$ +1,40(perímetro da cintura))
SIMÕES <i>et al.</i> , 2010	$P_{Emax}(cmH2O)=87,69-0,83(idade)$	$P_{Emax}(cmH2O)=125,1-0,89(idade) - 0,16(peso)$

1.2.3 Avaliação Dinâmica da Força Muscular Inspiratória

A avaliação dinâmica da força muscular inspiratória é uma medida isotônica, onde o indivíduo realiza uma inspiração máxima, através de um aparelho Powerbreathe K5 ® séries (HaB International London UK) (Figura 5), com uma válvula de passagem de fluxo de controle variável, onde a força muscular é calculada em toda incursão inspiratória de acordo com a variação do volume pulmonar (Powerbreathe, 2016).

O Powerbreathe é o primeiro aparelho criado para treinamento muscular inspiratório e mensuração da força muscular inspiratória, através deste sistema de válvula eletrônica de fluxo variável proporcionando um fluxo livre comum a resistência quase nula de carga constante durante toda inspiração (Areias *et al.*, 2020).



Figura 5: *Equipamento de avaliação do índice de pressão inspiratória dinâmica digital K5 series para avaliação do S-Index (HaB International Londres, Reino Unido. Fonte: Autores (2022).*

De maneira diferente da avaliação isométrica, na avaliação dinâmica os sensores do aparelho calculam por integral do sinal de fluxo a pressão exercida pelos músculos inspiratórios, em cmH₂O, com base na lei da dinâmica dos fluidos de poiseuille (Powerbreathe, 2016).

Desse modo o software (*breathlink®*) como algoritmo do aparelho Powerbreathe K5® séries interpreta e calcula a variação do fluxo em função do tempo, plotando os resultados em um gráfico para posterior análise dos dados (Silva *et al.*, 2016).

O índice de pressão inspiratória dinâmica máxima ou índice de força muscular inspiratória dinâmica máxima (S— Index) é uma medida da força muscular respiratória exercida pelo paciente, baseada na relação entre pressão e fluxo constantes. Essa medida é baseada no pico de fluxo medido durante o teste de inspiração máxima, que dá uma indicação da pressão exercida pela contração dos músculos inspiratórios (Minahan *et al.*, 2015).

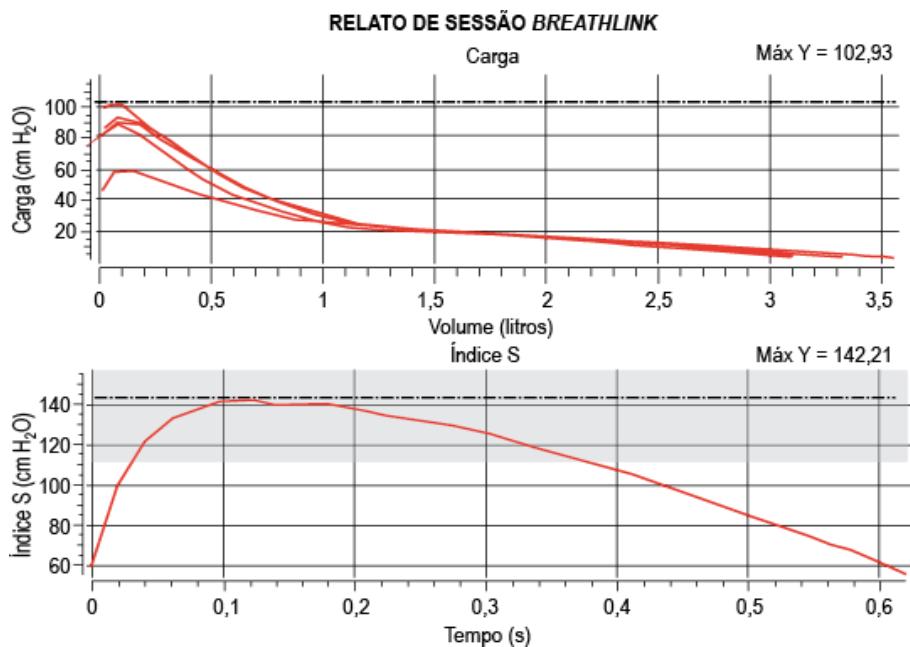


Figura 6: Avaliação do S-Index. Fonte: Powerbreathe (2015).

A avaliação da medida da força muscular dinâmica é feita com o indivíduo sentado com os pés apoiados no solo, utilizando um clipe nasal e com a boca bem acoplada ao bucal. Em seguida é realizada uma expiração máxima até o VR, e a partir desse volume é feita uma inspiração máxima e forte até a CPT (Powerbreathe K-5, 2016).

As medidas são realizadas de forma subsequente e são necessárias algumas mensurações, de 8 a 10 avaliações, para se atingir um valor máximo da pressão inspiratória dinâmica. Como o aparelho Powerbreathe K5® séries possui um fluxo de ar inspiratório quase sem resistência, as mensurações são menos desgastantes, promovendo avaliações sem a necessidade de descanso (Powerbreathe K5, 2016).

Dessa forma é possível reconhecer a variação de fluxo e volume por todo ciclo inspiratório, podendo observar em qual momento os músculos estão menos eficientes, facilitando a interpretação dos resultados de algumas deficiências da musculatura inspiratória (Powerbreathe K 5, 2016).

Através da avaliação da medida dinâmica, quando plotado de forma gráfica, o valor do pico atingido pela manobra recebe o nome de (S – Index). Em um estudo (Minahan *et al.*, 2015), foi demonstrado que os valores do S- Index não se comportam como equivalentes aos valores encontrados na avaliação da Plmax.

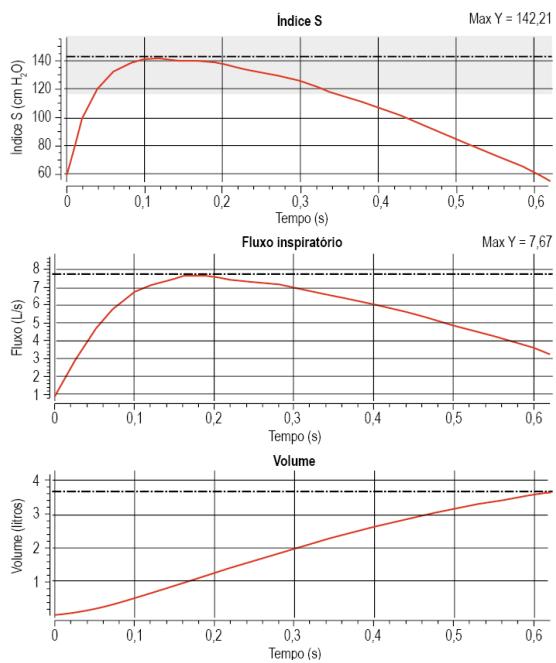


Figura 7: Avaliação do Pico de fluxo inspiratório, S – Index e volume mobilizado na manobra. *Fonte:* Langer *et al.*, 2013).

Esta nova ferramenta de avaliação permite a realização de outras medidas avaliativas por integral do sinal como medida de trabalho inspiratório, potência dos músculos inspiratórios e endurance muscular inspiratória, assegurando assim medidas multimodais mais completas do estado muscular respiratório (Minahan *et al.*, 2015).

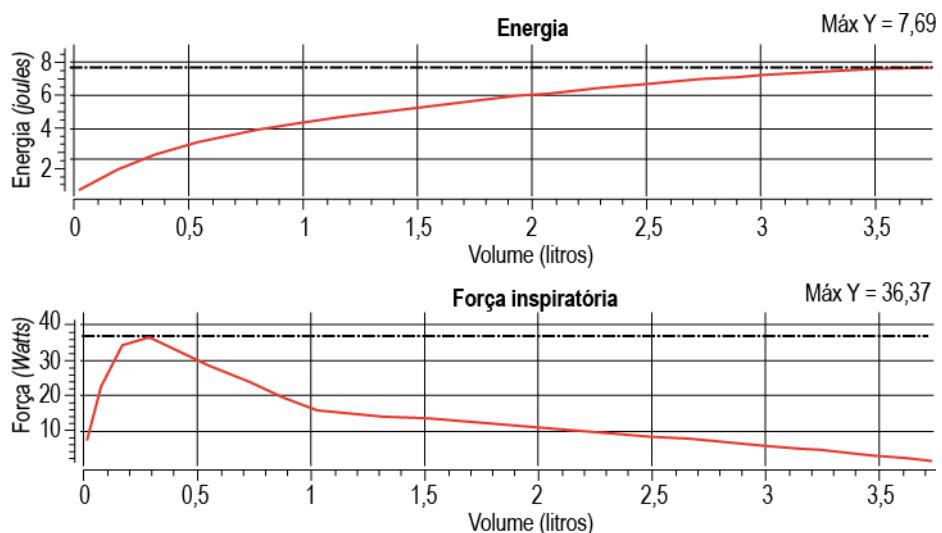


Figura 8: Mensuração da Potência e do trabalho respiratório. Minahan *et al.*, 2015).

1.3 Justificativas

O conceito de valores de referência pode ser descrito como o estabelecimento de dados e/ou valores relevantes para a prática clínica. Por isso, estabelecer valores de referência relaciona-se a detecção de eventuais desvios de saúde, para curar, reabilitar e prevenir doenças (Patino & Ferreira, 2018).

No caso da avaliação dos músculos inspiratórios isso é ainda mais importante, pois embora haja 4 equações diferentes para medidas das pressões inspiratórias estáticas máximas, para o S-Index, ainda não há até o momento nenhuma equação de referência.

Entretanto, clínicos e pesquisadores têm se utilizado como referência os valores da referência da P_{lmax} para estimar o S-Index.

Porém, como esta medida é aferida contra a via aérea ocluída e o S-INDEX contra uma via aérea aberta, as valências musculares são biomeanicamente distintas e assim as equações da P_{lmax} não deveriam ser utilizadas para estimar o S-Index.

Diante do exposto, estabelecer medidas de referência para o S-INDEX, para a população brasileira normal, utilizando um equipamento eletronicamente controlado, contribuirá para um melhor entendimento da função muscular ventilatória, permitindo ampliar o olhar para analisar como as disfunções cardiopulmonares agudas e crônicas afetam a função muscular inspiratória dinâmica.

1.3.1 Relevância para as Ciências da Reabilitação

O projeto fornecerá aos profissionais da saúde novas possibilidades interpretativas para a medida do S-index, permitindo e ampliando o uso desta variável como medida dinâmica da força muscular inspiratória que poderá inclusive, embasar melhor do ponto de vista da especificidade do treinamento, a utilização desta medida como guia para controle da carga durante o treinamento muscular inspiratório. Além disso, este conhecimento fornecerá ao clínico uma visão mais ampla de como as disfunções clínicas, agudas e crônicas impactam nos músculos inspiratórios.

1.3.2 Relevância para a Agenda de Prioridades do Ministério da Saúde

Este projeto utiliza uma inovação tecnológica relativamente recente no contexto clínico que é a utilização de um equipamento eletronicamente controlado para medida da força muscular inspiratória dinâmica. Entretanto, embora esta tecnologia já tenha sido incorporada, para que ela de fato tenha relevância clínica em saúde, faz — se necessário estabelecer um nomograma com balizadores e equações de referência para a medida do S-index. Assim este projeto casa com o Eixo 4 da Agenda de Prioridades

do Ministério da Saúde que fomenta o desenvolvimento de novas tecnologias e inovações em saúde, facilitando sua incorporação plena no âmbito da saúde brasileira.

1.3.3 Relevância para o desenvolvimento sustentável

Dentre os vários objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), destaca-se no eixo saúde e bem estar (ODS 3) a garantia uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades. Neste contexto, inovações tecnológicas em saúde garantem avanços progressivos nos cuidados e na prevenção em saúde, fornecendo subsídios para longevidade com qualidade.

1.4 Objetivos

1.4.1 Primários

Desenvolver uma equação de referência para medida do índice de força muscular inspiratória dinâmica máxima S-Index em adultos saudáveis brasileiros.

1.4.2 Secundários

- 1- Correlacionar os valores encontrados do S – Index com variáveis antropométricas, de gênero e dados funcionais.
- 2- Correlacionar e comparar os valores obtidos do S-Index com os valores de pressão Inspiratória máxima aferidos pela manovacuometria e as respectivas equações de predição da Pimax validadas no Brasil.
- 3- Estabelecer o limite inferior de normalidade do S-Index no Brasil.
- 4- Estabelecer o ponto de corte para determinar clinicamente a presença de fraqueza muscular inspiratória a partir do S-Index.

1.4.3 Hipóteses

O projeto hipotetiza que as medidas do S – Index e da Pimax são diferentes embora

possa haver correlação entre elas e assim a medida do S-Index não pode ser previda pelas equações de referências da Pimax, como frequentemente observamos clinicamente, uma vez que a medida da Pimax avalia os músculos inspiratórios em condições biomecânicas estáticas (contração isométrica máxima) e o S-index em condições dinâmicas (contração isotônica máxima).

2- Participantes e Métodos

2.1 Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo observacional, transversal de voluntários adultos brasileiros, pareados por sexo e idade. Todo delineamento do estudo seguirá as recomendações e o checklist TRIPOD (*Transparent reporting of multivariable prediction models*) (<https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/tripod-for-abstracts/>).

2.2 Local de realização do estudo

O estudo foi realizado no Laboratório de Desempenho dos Sistemas Cardiovascular e Respiratório do Programa de Pós-Graduação em ciência da Reabilitação do Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, localizado na Rua Dona Isabel, 94 - Rio de Janeiro.

2.3 Amostra

Para o cálculo do tamanho da amostra, foi usada a equação de Tabachnick & Fidell, isto é, $N > 50 + 8K$, na qual K representa o número de variáveis independentes (Tabachnick, & Fidell, 2013).

Foram utilizadas seis variáveis independentes (sexo, idade, peso, altura, medida da força de preensão palmar, nível de atividade física pelo IPAC). Considerando perdas de 20%, a amostra será composta por no mínimo 100 participantes de cada sexo.

Como eles foram pareados por sexo e idade foram recrutados 250 homens e mulheres, saudáveis em 5 intervalos de idade para cada gênero conforme discriminado a seguir:

30 – 39 anos – 25 homens / 25 mulheres
40 – 49 anos – 25 homens / 25 mulheres
50 – 59 anos – 25 homens / 25 mulheres
60 – 65 anos – 25 homens / 25 mulheres

2.3.1 Local de recrutamento dos participantes

Os pacientes foram recrutados por chamada pública, através de redessociais, facebook, instagram e grupos de whatsapp e abordagem ativa em diferentes regiões do Rio de Janeiro entre os meses de dezembro de 2022 a outubro de 2023.

2.3.2 Critérios de inclusão

1. Indivíduos saudáveis de 20 a 65 anos de idade de ambos os sexos.
2. IMC entre 18,0 e 29,5 kg/m²

2.3.3 Critérios de exclusão

1. Tabagismo atual ou prévio
2. Histórico de doença respiratória;
3. Histórico de doença cardiovascular;
4. Histórico de doença neuromuscular.
5. Alterações anatômicas como, deformidades torácicas, hérnias abdominais.
6. Alterações espirométricas.
7. Participantes com dificuldade de compreensão dos comandos das avaliações do protocolo proposto.
8. Apresentar dor ou desconforto importante no momento da realização da avaliação.

2.4 Procedimentos

As variáveis como idade, tabagismo, medicamentos de uso regular e eventuais condições clínicas que possam excluir o voluntário do estudo, foram mapeadas por

formulário de anamnese padronizado, após esclarecimento livre e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, TCLE (apêndice1). Todos os procedimentos avaliativos foram realizados em um único dia conforme previsto no TCLE, ao fim de cada avaliação completa, todos os pacientes foram informados individualmente sobre os resultados dos testes e seus significados clínicos.

Todos os voluntários foram randomizados com dados de 6 faces para sequência de procedimentos, sendo números 1, 2 e 3 a sequência de realização de primeiro a medida das pressões respiratórias máximas seguido da medida do S-Index e 4, 5 e 6 iniciando a medida pelo S-Index seguida da medida das pressões respiratórias máximas.

Os dados antropométricos foram obtidos por balança digital (R110, Welmy, São Paulo, Brasil) com precisão de 0,1 kg (com um estadiômetro com precisão de 0,005 m acoplado à mesma).

Todos os voluntários realizaram uma avaliação espirométrica (Spire Health, Inc., Longmont, CO, EUA), para descartar disfunção pulmonar, seguindo as recomendações da *American Thoracic Society* e da *European Respiratory Society* (ATS & ERS, 2002), no qual foi solicitado o uso de um clipe nasal para evitar a respiração nasal e a permanência na posição sentada, com a cabeça em posição neutra. Realizou-se, então, uma inspiração profunda seguida por uma expiração forçada dentro de um bocal que estava conectado a um computador.

Os participantes também realizaram uma avaliação objetiva do nível de atividade física pelo questionário internacional de atividade física IPAQ em sua versão mais curta (anexo 2).

Para avaliação da preensão manual foi utilizado o dinamômetro de preensão manual hidráulico Jamar 90 kg/200 lb (capacidade de mensuração de 0,5 a 90 kg; resolução 0,05 kg; exatidão \pm 0,5 kg/1 lb). No momento do teste, o paciente foi posicionado sentado confortavelmente, com o braço paralelo ao corpo, cotovelo fletido a 90°, antebraço e punho em posição neutra. Três mensurações foram realizadas em cada membro superior, alternando a mão dominante e não dominante com 1 minuto de intervalo entre cada medida (Lopes *et al.*, 2015).

O maior valor obtido em cada mão (dominante e não dominante) foi usado para avaliar a força de preensão manual do participante.

A avaliação da força muscular respiratória foi feita de forma isométrica pelo método de inspiração e expiração máximas, sustentadas por pelo menos 1 segundo, contra a via aérea ocluída utilizando um manovacuômetro digital à vácuo (manobra de

Muller) e isotónica, realizando uma inspiração máxima, profunda e rápida com a via aérea aberta utilizando o equipamento *Powerbreathe K5®* e o software de análise *breathlink®*.

A medida das pressões respiratórias estáticas máximas, a pressão inspiratória máxima *PImax* e a pressão expiratória máxima *Pemax* foi realizada por meio de um manovacuômetro digital à vácuo (MVD 3000®, Globalmed, Brasil), conforme protocolo da *American Thoracic Society* e da *European Respiratory Society* (ATS & ERS, 2002; Lavanaziana *et al.*, 2019).

A *PImax* foi determinada após esforço inspiratório máximo, sustentado por 1 (um) segundo, a partir do volume residual contra oclusão das vias aéreas.

A *PEmax* foi definida após um esforço expiratório máximo, sustentando por 1 segundo a partir da capacidade pulmonar total contra oclusão das vias aéreas.

O dispositivo foi conectado adequadamente ao voluntário por meio de um estímulo verbal fornecido pelo avaliador. Os valores máximos foram medidos, após realização de 3 medidas teste realizadas para educação e aprendizado do paciente, pelo menos 5 manobras, sendo no mínimo 3 aceitáveis (medidas com variação <10%), com intervalos de 1 minuto entre cada esforço máximo para evitar a fadiga da musculatura envolvida (SBPT, 2002; Lavanaziana *et al.*, 2019).

Os valores de predição e normalidade foram baseados na equação de regressão proposta por Neder *et al* (1999) para a população brasileira e valores de pressão estática <70% da *PImax* e *PEmax* preditos foram considerados como fraqueza muscular inspiratória e expiratória (FMI e FME, respectivamente) (Neder *et al.*, 1999).

A medida do índice de pressão muscular dinâmica máxima foi realizada por meio do equipamento *Powerbreathe K5®* (*Powerbreathe K5*, IMT Technologies Ltda., Birmingham, Reino Unido). Este equipamento é orientado a fluxo com carga eletronicamente controlada.

A medida do S – Index é uma medida estimada pela integral do Pico de fluxo inspiratório e do volume em função do tempo, expressas cmH₂O.

Este dispositivo utiliza uma válvula fluxo - dependente, que modifica seu diâmetro com base no fluxo inspiratório gerado, estimando à força muscular de forma dinâmica, com a via aérea aberta (Silva *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018).

A medida é determinada após um esforço inspiratório máximo e rápido a partir do volume residual contra o bucal adequadamente conectado ao voluntário, contra uma válvula aberta, utilizando-se um estímulo verbal sólido fornecido pelo avaliador. Foram realizadas 10 manobras livres de esforço moderado como aquecimento (não aferidas), seguidas de 8 manobras, sendo no mínimo 3 aceitáveis (desde que não haja variação >

10% entre elas) com intervalos de 1(um) minuto entre cada esforço máximo foram respeitados para evitar a fadiga da musculatura envolvida (Romer; McConnell, 2004; Kowalski & Klusiewicz, 2023).

O S - Index foi considerado o maior pico obtido com o software Breathe Link 10.2, com diferença <10% entre três esforços isolados (Laveneziana *et al.*, 2019; Kowalski & Klusiewicz, 2023).

Conforme mencionado acima, todas as medidas – teste foram precedidas de instruções padronizadas sobre cada procedimento, assim como 10 manobras prévias, definidas como manobras - teste, realizados por todos os voluntários.

2.4.1 Variáveis de desfecho

2.4.2 Variáveis de desfecho primário

As variáveis de desfecho primário foram os valores absolutos e percentuais do predito da pressão inspiratória máxima Pimáx e a medida absoluta do S - Index, idade, sexo e os dados antropométricos.

2.4.3 Variáveis de desfecho secundário

As variáveis de desfecho secundário foram as variáveis espirométricas, medida de força de preensão palmar no membro superior dominante (Handgrip MSd), além dos valores absolutos e relativos da pressão expiratória máxima Pemáx e perfil de atividade física (IPAC).

2.5 Análise dos dados

A distribuição dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os dados com distribuição normal foram expressos em forma de média e desvio padrão e os dados não paramétricos como mediana e intervalos interquartilares. As

diferenças de valores absolutos das variáveis contínuas foram analisadas entre os sexos analisadas por meio do teste t para amostras independentes ou do teste U de Mann-Whitney, ao passo que as comparações entre os centros foram realizadas por meio de ANOVA de uma via ou do teste de Kruskal-Wallis e, em seguida, de testes post hoc, quando apropriado. A análise de regressão linear múltipla, foi conduzida com método “inserir”, onde a cada rodada é incluída uma variável que em hipótese poderia influenciar a estimativa do S-Index e realizada uma ANOVA para testar a hipótese se a inclusão de da variável aumentou a qualidade do modelo ou não em prever a medida do S-Index, também conhecido como “forward stepwise”. Modelos de regressão linear múltipla foram utilizados para desenvolver equações de referência específicas para cada sexo. Em primeiro lugar, a relação entre Plmáx, S-Index e outras variáveis relevantes foram determinadas. Para as análises de dependência do S-Index e da Plmax em relação as variáveis categóricas, foi realizada usando-se o teste t ou teste U (ANOVA ou teste de Kruskal-Wallis, respectivamente) caso dois ou mais grupos para Pimax / S-Index fossem formados. Para variáveis contínuas, coeficientes de correlação de Spearman e gráficos de dispersão foram usados para inspecionar a força da dependência linear entre as variáveis, e outliers foram identificados. Dado que diferentes modelos de regressão não foram afetados pela existência de outliers (um dos pré-requisitos da regressão), desenvolvemos dois modelos: 1 incluindo Sexo e idade como variáveis independentes e um segundo modelo incluindo além do sexo e idade a medida do HGMSd. Finalmente, um teste ANOVA entre os 2 modelos alinhados foram realizados para a escolha do melhor modelo de predição e assim estabelecer a equação mais adequada. Secundariamente calculamos o LIN da Plmáx e do S-Index para o sexo feminino e masculino por faixa etária como escores Z baseados em $\geq 1,645$ DP abaixo da média do grupo (Stanojevic *et al.*, 2022). Além disso, também foi proposto um ponto de corte absoluto para fraqueza muscular respiratória usando escores $T \geq 2,5$ DP abaixo da média dos maiores valores do S-Index alcançados em uma idade jovem. Para isso, foi utilizado um método descrito por Dodds e colaboradores. (Dodds *et al.*, 2014).

Foram utilizados os softwares JAMOVI (v. 1.6.15.0, The JAMOVI Project, 2022) e o IBM SPSS statistics 29.0.0.0(241)

2.6 Aspectos éticos

O protocolo experimental foi submetido ao Comitê de Ética da

UNISUAM, vinculado à plataforma Brasil, antes da execução do estudo, em consonância com a resolução 466/2012 e aprovado sob número CAAE: 64320022.4.000.5235. Todos os indivíduos participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido após serem informados sobre a natureza do estudo e do protocolo a ser realizado.

2.6.1 Potenciais riscos

Os voluntários foram expostos a riscos mínimos, todos controlados, e se relacionam a eventuais desconfortos durante a realização da espirometria e das manobras de mensuração da força muscular. Não são reportados eventos adversos importantes nestes exames. Caso ocorresse (o que não foi o caso), a instituição signatária do projeto assumiria a responsabilidade de acompanhar o voluntário durante toda recuperação pós mal estar induzido por eventuais procedimentos. Os eventuais desconfortos que poderiam ocorrer durante a manobra de inspiração máxima podem ser: náuseas, dor de cabeça, tonteira e muito frequentemente síncope.

2.6.2 Potenciais Benefícios

Os principais benefícios do projeto foram a avaliação minuciosa da função muscular ventilatória além de oferecer ao paciente um laudo da sua função pulmonar, exames esses sempre disponíveis e acessíveis à população em geral.

Além disso, diante do laudo, em caso de necessidade e exclusão do paciente do estudo, o mesmo foi contra-referenciado para o sistema de saúde e especialidade necessário para um melhor acompanhamento do caso.

3.0 RESULTADOS

3.1 CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS

Foram recrutados por chamamento público 250 voluntários e destes foram excluídos 36 voluntários (motivos expostos na figura 9), sendo avaliado um total de 214 voluntários, 107 homens e 107 mulheres (pareados por sexo 1:1), com faixa etária entre 20 e 65 anos. A Tabela 1 mostra os dados descritivos dos participantes. Estas variáveis e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk estão descritos na tabela 1a - c. Embora haja diferenças esperadas de peso e altura entre os sexos, a mediana do IMC não apresentou diferenças significativas entre os sexos (Mediana [IQ] 25,57[23,14-28,10] vs 26,03[23,63 – 28,17], $p=0,402$). Os voluntários apresentaram função pulmonar normal (Mediana [IQ] CVF: 3,51[3,08 – 4,32] L; VEF₁: 2,81[2,43 – 3,09] e VEF₁/CVF (%): 81[80-83] %. Os voluntários eram predominantemente sedentários (IPAQ com baixo nível de atividade física, $n=159(74,3\%)$).

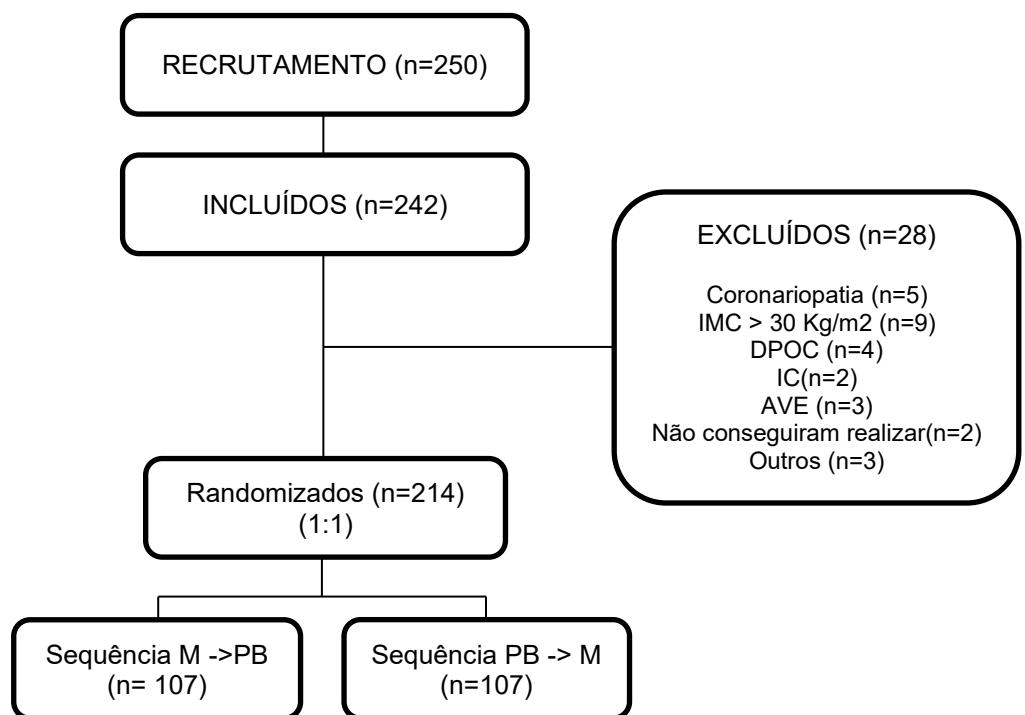


Figura 9: Fluxograma do Estudo.

Tabela 1 a e b: Característica demográfica da Amostra**Tabela 1a: Estatística Descritiva da amostra global**

	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Shapiro-Wilk		Percentis	
					W	p	25th	75th
IDADE	214	44.95	45.50	14.198	0.928	< .001	33.00	58.75
PESO, kg	214	70.58	70.00	11.263	0.968	< .001	62.25	80.00
ALTURA, m	214	1.66	1.65	0.104	0.928	< .001	1.59	1.74
IMC, Kg/m ²	214	25.45	25.71	3.311	0.879	< .001	23.34	28.21
CVF, L	214	3.71	3.51	0.832	0.971	< .001	3.08	4.32
CVF, %	214	96.70	97.05	4.697	0.740	< .001	94.80	98.66
VEF1, L	214	2.78	2.81	0.503	0.990	0.127	2.43	3.09
VEF1, %	214	88.25	89.00	7.724	0.965	< .001	81.42	94.46
VEF1/CVF, %	214	81.46	81.00	2.164	0.927	< .001	80.00	83.00
HG MSd, kgs	214	34.73	32.00	10.480	0.899	< .001	28.00	38.00
PImax, cmH ₂ O	214	100.68	97.35	17.030	0.956	< .001	86.67	112.00
PEmax, cmH ₂ O	214	108.46	102.35	17.030	0.956	< .001	90.28	124.00
% predito (PImax)	214	96.66	97.07	6.165	0.930	< .001	93.88	100.14
% predito (PEmax)	214	94.88	95.20	8.245	0.920	< .001	92.34	108.1
S-Index, cmH ₂ O	214	93.33	92.50	16.376	0.980	0.005	80.00	105.00
PFI, L/s	214	4.65	3.93	6.741	0.210	< .001	3.01	4.87
Volume, L	214	3.48	3.27	0.832	0.971	< .001	2.85	4.08

Tabela 1b: Estatística Descritiva pareada por sexo e idade

	Faixa etária	SEXO	N	Omissos	Média	Mediana	Desvio-padrão	Percentis	
								25th	75th
IMC, Kg/m ²	20-29 anos	FEMININO	21	0	25.00	25.15	2.915	23.24	25.73
		MASCULINO	21	0	25.61	25.70	2.514	23.60	27.72
	30-39 anos	FEMININO	21	0	24.49	23.50	3.158	21.83	27.73
		MASCULINO	21	0	24.61	25.99	3.075	22.49	26.53
	40-49 anos	FEMININO	21	0	25.02	23.94	3.095	22.21	27.53
		MASCULINO	21	0	26.77	28.73	2.887	24.77	29.07
	50-59 anos	FEMININO	22	0	26.25	25.85	2.864	23.63	28.82
		MASCULINO	22	0	25.22	26.63	5.982	25.64	28.21
	60-65 anos	FEMININO	22	0	26.24	27.64	2.596	23.59	28.29
		MASCULINO	22	0	25.22	25.64	2.363	23.87	26.72
CVF, L	20-29 anos	FEMININO	21	0	3.53	3.45	0.324	3.34	3.70
		MASCULINO	21	0	4.77	5.01	0.601	4.57	5.13

Tabela 1b: Estatística Descritiva pareada por sexo e idade

	Faixa etária	SEXO	N	Omissos	Média	Mediana	Desvio-padrão	Percentis	
								25th	75th
CVF, %	30-39 anos	FEMININO	21	0	3.26	3.23	0.209	3.02	3.45
		MASCULINO	21	0	4.76	4.92	0.730	4.62	5.23
	40-49 anos	FEMININO	21	0	3.15	3.21	0.264	2.98	3.28
		MASCULINO	21	0	4.40	4.43	0.276	4.32	4.60
	50-59 anos	FEMININO	22	0	2.88	2.90	0.354	2.73	3.10
		MASCULINO	22	0	3.77	3.88	0.599	3.35	4.21
	60-65 anos	FEMININO	22	0	2.69	2.60	0.342	2.43	3.04
		MASCULINO	22	0	4.01	4.10	0.385	3.92	4.24
	20-29 anos	FEMININO	21	0	97.04	97.71	7.349	92.09	99.60
		MASCULINO	21	0	96.79	96.83	2.020	96.21	98.11
VEF1, L	30-39 anos	FEMININO	21	0	96.60	97.57	3.353	94.45	98.59
		MASCULINO	21	0	96.65	97.17	3.584	94.90	97.71
	40-49 anos	FEMININO	21	0	96.69	96.10	7.463	93.87	97.12
		MASCULINO	21	0	96.30	96.39	3.072	94.98	98.17
	50-59 anos	FEMININO	22	0	95.15	96.98	7.291	94.46	98.41
		MASCULINO	22	0	97.40	97.58	2.583	95.97	98.61
	60-65 anos	FEMININO	22	0	96.98	97.70	3.045	95.25	99.48
		MASCULINO	22	0	97.42	96.76	3.218	95.82	99.23
	20-29 anos	FEMININO	21	0	2.96	2.95	0.290	2.83	3.10
		MASCULINO	21	0	3.42	3.34	0.293	3.25	3.64
VEF1, %	30-39 anos	FEMININO	21	0	2.69	2.80	0.220	2.49	2.85
		MASCULINO	21	0	3.36	3.31	0.392	3.16	3.77
	40-49 anos	FEMININO	21	0	2.57	2.50	0.311	2.36	2.76
		MASCULINO	21	0	3.09	3.10	0.151	3.01	3.18
	50-59 anos	FEMININO	22	0	2.35	2.33	0.316	2.20	2.57
		MASCULINO	22	0	2.58	2.73	0.352	2.22	2.80
	60-65 anos	FEMININO	22	0	2.06	1.95	0.302	1.81	2.36
		MASCULINO	22	0	2.74	2.76	0.262	2.64	2.90
	20-29 anos	FEMININO	21	0	92.90	92.92	4.803	90.06	95.72
		MASCULINO	21	0	81.73	78.36	7.759	76.44	84.44
	30-39 anos	FEMININO	21	0	92.74	94.18	4.209	90.98	95.01
		MASCULINO	21	0	81.86	81.83	5.411	78.25	82.59

Tabela 1b: Estatística Descritiva pareada por sexo e idade

	Faixa etária	SEXO	N	Omissos	Média	Mediana	Desvio-padrão	Percentis	
								25th	75th
VEF1/CVF, %	40-49 anos	FEMININO	21	0	93.17	93.16	5.287	89.41	95.28
		MASCULINO	21	0	81.71	79.47	7.470	77.89	81.72
	50-59 anos	FEMININO	22	0	94.22	94.51	4.364	92.99	96.88
		MASCULINO	22	0	84.32	81.50	6.732	79.52	88.24
	60-65 anos	FEMININO	22	0	94.14	94.28	5.477	89.93	98.32
		MASCULINO	22	0	85.44	85.33	4.094	82.29	87.15
	20-29 anos	FEMININO	21	0	81.43	80.00	2.657	80.00	83.00
		MASCULINO	21	0	80.71	80.00	1.875	80.00	81.00
	30-39 anos	FEMININO	21	0	80.95	81.00	1.987	80.00	83.00
		MASCULINO	21	0	80.95	80.00	1.596	80.00	82.00
HG MSd, kgs	40-49 anos	FEMININO	21	0	81.38	81.00	2.291	80.00	82.00
		MASCULINO	21	0	81.48	81.00	1.834	80.00	83.00
	50-59 anos	FEMININO	22	0	82.41	81.50	2.153	81.00	84.75
		MASCULINO	22	0	81.05	80.50	2.126	80.00	82.50
	60-65 anos	FEMININO	22	0	82.00	81.50	2.600	80.00	84.75
		MASCULINO	22	0	82.14	82.50	2.031	80.00	83.75
	20-29 anos	FEMININO	21	0	33.24	34	1.814	32.00	34.00
		MASCULINO	21	0	49.71	54	8.973	46.00	56.00
	30-39 anos	FEMININO	21	0	32.10	34	2.998	30.00	34.00
		MASCULINO	21	0	49.67	54	8.410	46.00	55.00
PImax, cmH2O	40-49 anos	FEMININO	21	0	30.10	30	2.931	28.00	32.00
		MASCULINO	21	0	44.05	42	6.910	42.00	45.00
	50-59 anos	FEMININO	22	0	26.18	26.00	2.889	24.00	28.00
		MASCULINO	22	0	31.23	32.00	5.623	28.50	34.00
	60-65 anos	FEMININO	22	0	21.45	22.00	1.765	20.00	22.00
		MASCULINO	22	0	31.00	31.00	2.777	30.00	32.00
	20-29 anos	FEMININO	21	0	95.11	95.00	5.609	91.67	98.33
		MASCULINO	21	0	127.49	126.00	10.220	120.00	135.00
	30-39 anos	FEMININO	21	0	91.08	93.00	9.340	90.00	95.00
		MASCULINO	21	0	121.28	125.00	10.913	120.00	125.80
	40-49 anos	FEMININO	21	0	86.33	86.67	5.064	83.20	88.33
		MASCULINO	21	0	115.16	113.33	8.052	110.00	123.33

Tabela 1b: Estatística Descritiva pareada por sexo e idade

	Faixa etária	SEXO	N	Omissos	Média	Mediana	Desvio-padrão	Percentis	
								25th	75th
S-Index, cmH2O	50-59 anos	FEMININO	22	0	85.85	85.00	7.775	80.00	90.00
		MASCULINO	22	0	107.36	109.00	6.130	100.50	112.00
	60-65 anos	FEMININO	22	0	80.40	80.00	2.678	78.75	81.92
		MASCULINO	22	0	98.17	97.34	5.260	94.25	101.92
	20-29 anos	FEMININO	21	0	91.61	89.00	8.304	88.33	95.40
		MASCULINO	21	0	115.59	115.00	7.508	110.00	122.40
	30-39 anos	FEMININO	21	0	85.87	88.50	12.695	76.00	96.00
		MASCULINO	21	0	113.00	110.00	16.063	102.00	126.33
40-49 anos	FEMININO	21	0	85.32	82.70	14.799	74.33	96.67	
		MASCULINO	21	0	103.81	102.00	6.653	100.00	110.00
	50-59 anos	FEMININO	22	0	78.90	79.66	5.740	74.40	80.38
		MASCULINO	22	0	97.09	99.00	8.728	94.00	102.75
	60-65 anos	FEMININO	22	0	74.07	72.00	6.378	70.25	74.75
		MASCULINO	22	0	89.62	89.00	7.073	85.00	93.00

Tabela 1c: Frequências de Nível de atividade física, IPAQ - SF

Nível de atividade física, IPAQ - SF	Contagens	% do Total	% acumulada
Alto	17	7.9 %	7.9 %
Baixo	159	74.3 %	82.2 %
Moderado	38	17.8 %	100.0 %

3.2 MEDIDAS DAS PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS ESTÁTICAS P_{max} E DINÂMICAS S-Index

Todos os voluntários foram randomizados quanto à sequência para realização dos exames, que foram realizados todos no mesmo dia. As sequências foram Manovacuometria => Power Breathe (SEQ 1) ou Power Breathe => Manovacuometria (SEQ 2).

As medidas da P_{max} (Mediana [IQ] 100[90-111] vs 95[85-115], p=0,434) e do S-Index (95[85-115], p=0,123) obtidas não apresentaram diferenças significativas

entre as sequências de realizações (Tabela 2a). A mediana da pressão inspiratória máxima (Plmax, cmH₂O) foi estatisticamente maior que a mediana do índice de pressão muscular dinâmico (S-Index, cmH₂O) (Mediana [IQ] Plmax: 97,2 [96,7-112] VS S-Index 92,5 [80 – 105], 0<.001) (Tabela 2b). A diferença média entre as medianas foi de 8,15 com IC95% compreendido entre 7,00 e 9,18.

Tabela 2: Média e Mediana da Plmax, cmH₂O e do S-Index, cmH₂O.

Teste t para amostras emparelhadas

						Intervalo de Confiança a 95%		
						Média da diferença	Lim. Inferior	Superior
		Estatística	p					
Plmax, cmH ₂ O	S-Index, cmH ₂ O	W de Wilcoxon	19373	<.001	Correlação biserial de ordens	8.15	7.00	9.18

Nota. $H_a: \mu_{\text{Medida 1}} - \mu_{\text{Medida 2}} \neq 0$

Teste de Mann - Whitney

	SEQ	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Percentis		
						25th	75th	Mann-Whitney
Plmax, cmH ₂ O	1	107	101.1	100.0	15.0	90.0	111	0.434
	2	107	100.3	95.0	18.9	85.0	115	
S-Index, cmH ₂ O	1	107	94.6	96.2	15.4	82.7	105	0.123
	2	107	92.0	91.1	17.3	75.8	105	

Há diferenças significativas entre os valores de pressão inspiratória máxima (Plmax. cmH₂O) e do índice de pressão muscular (S-Index, cmH₂O) entre as diferentes faixas etárias ($p < 0.01$) e entre homens e mulheres ($p<0,001$) (Tabela 3 e Gráfico 1)

	SEXO					
	FEMININO(N=107)		MASCULINO (N=107)			
	Plmax, cmH ₂ O	S-Index, cmH ₂ O	Plmax, cmH ₂ O	S-Index, cmH ₂ O	Média ± DP	Média ± DP
20-29 anos	95.11 ± 5.60	#*	91.61 ± 8.30	#*	127.49 ± 10.22	#* 115.59 ± 7.51 #*
30-39 anos	91.08 ± 9.34	*	85.87 ± 12.69	*	121.28 ± 10.91	* 113.00 ± 16.06 *
40-49 anos	86.33 ± 5.06	*	85.32 ± 14.80	*	115.16 ± 8.05	* 103.81 ± 6.65 *
50-59 anos	85.85 ± 7.77	*	78.90 ± 5.74	*	107.36 ± 6.13	* 97.09 ± 8.73 *
60-65 anos	80.40 ± 2.67	*	74.07 ± 6.38	*	98.17 ± 5.26	* 89.62 ± 7.07 *

Tabela 3: Plmax, cmH₂O e S-Index, cmH₂O nas diferentes faixas etárias e entre homens e mulheres. As medidas foram expressas em média ± desvio – padrão. * Há diferença significativa entre os valores de Plmax e do S-Index nas diferentes faixas etárias ($p < 0,01$) e entre homens e mulheres ($p < 0,001$).

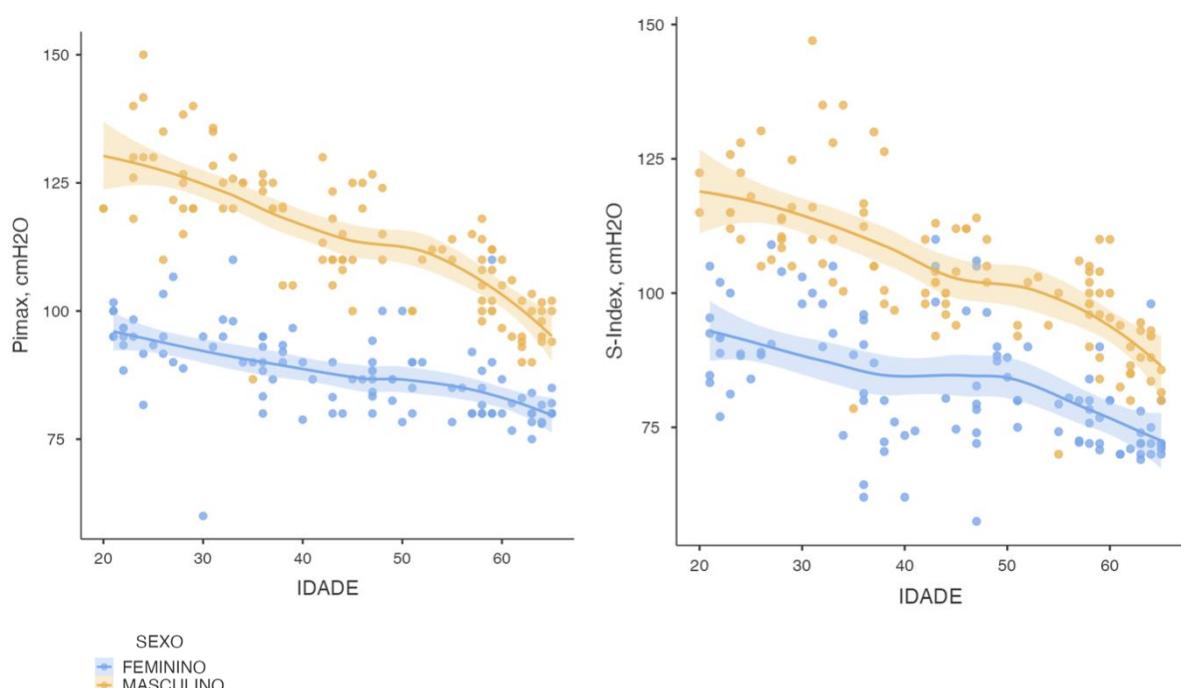


Gráfico 1: Scatter – plot da pressão inspiratória máxima (Plmax, cmH₂O) e do Índice de Pressão Muscular (S-Index, cmH₂O) nas diferentes faixas etárias e entre homens e mulheres. Apesar dos gráficos apresentarem comportamentos semelhantes os valores da Pimax não podem representar os valores do S-Index.

Como as medianas da PImax e do S-Index foram estatisticamente diferentes, analisamos as 4 equações validadas para população brasileira de Predição da PImax e quanto elas poderiam ser utilizadas para predizer o S-Index.

Embora as medianas sejam estatisticamente diferentes, há forte correlação entre a PImax,cmH₂O e o S-Index, cmH₂O (Rho de Spearman 0,822 [IC95% 0,770 – 0,859], p<0.001 e entre o S-Index a medida da força muscular periférica expressa pela medida da dinamometria de preensão palmar no membro superior dominante(HGMSd)(Rho de Spearman 0,841 [IC95% 0,760 – 0,853], p<0.001) (Tabela 4).

Tabela 4: Matriz de correlação de Spearman entre a PImax, o S-Index e a medida do HGMSd.

		PImax, cmH ₂ O	S-Index, cmH ₂ O	HG MSd, kgs
PImax, cmH ₂ O	R de Rho de Spearman	—		
	gl	—		
	p-value	—		
	Limite superior do IC a 95%	—		
	Limite inferior do IC a 95%	—		
S-Index, cmH ₂ O	Rho de Spearman	0.822 ***	—	
	gl	212	—	
	p-value	< .001	—	
	Limite superior do IC a 95%	0.859	—	
	Limite inferior do IC a 95%	0.770	—	
HG MSd, kgs	Rho de Spearman	0.795 ***	0.841 ***	—
	gl	212	212	—
	p-value	< .001	< .001	—
	Limite superior do IC a 95%	0.863	0.853	—
	Limite inferior do IC a 95%	0.776	0.760	—

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

A Tabela 5 apresenta as análises comparativas pareadas entre o predito pelas 4 equações de referência da PImax e do S-Index. Observamos que todas as equações de predição da PImax fornecem valores de referência estatisticamente distintos do S-Index, não podendo assim serem utilizadas para esta predição.

Tabela 5: Análise comparativa entre os percentuais dos preditos do índice de pressão muscular dinâmico (S-Index, cmH₂O) a partir das 4 equações validadas no Brasil para a pressão inspiratória máxima (PImax, cmH₂O).

						Intervalo de Confiança a 95%		
		Estatística	p	Diferença média	Erro-padrão da Diferença	Lim. Inferior	Superior	
% predito (PImax, Neder))	% predito (S-Index, Neder)	Wilcoxon	22326 1	< .00	14.90	0.747	13.35	16.43
% predito (PImax, Costa)	% predito (S-Index, Costa)	Wilcoxon	18726 1	< .00	7.75	0.989	6.47	9.24
% predito (PImax, Simões)	% predito (S-Index, Simões)	Wilcoxon	19172 1	< .00	13.01	1.332	11.06	15.25
% predito (PImax, Pessoa)	% predito (S-Index, Pessoa)	Wilcoxon	19516 1	< .00	9.44	0.791	8.13	10.64

Assim, confirmada a hipótese inicial que os valores de PImax e do S-Index são estatisticamente diferentes e, portanto, as equações de predição da PImax não poderiam ser utilizadas para predizer o S-Index.

Como todas as equações de referência para predição da PImax utilizam dados que sabidamente (Neder *et al.*, 1999; Pessoa *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2010; Simões *et al.*, 2010) interferem no desempenho do teste como sexo, idade, peso, altura, IMC dentre outros e no nosso modelo além destas variáveis modelamos com a inclusão ou não da variável contínua da medida da força de preensão palmar (HGMSd, kg) que expressa a força muscular periférica e que poderia no caso do S-Index, como uma medida de contração isotônica (medida com a via aérea aberta) máxima, predizer desempenho nesta medida.

Desta forma foi realizada uma análise de regressão linear múltipla analisando as variáveis, que podem interferir no desempenho do S-Index em adultos normais. Esta análise foi iniciada analisando dois modelos: H0 onde incluímos no modelo sexo e idade e um segundo modelo, denominado H1 onde além do sexo e da idade foi incluído a medida da força de preensão palmar no membro superior dominante (HGMSd, kgs) para analisarmos quanto esta inclusão contribui para explicar melhor a medida do S-Index em adultos brasileiros normais. Os resultados da regressão linear apontam que o modelo 1, incluindo sexo e idade apresentam um R de 0,793 com um R² de 0,629, enquanto o

modelo 2, incluiu além do sexo e da idade, a medida da dinamometria de preensão palmar (HGMSd, kgs), apresentando um R de 0,842 com R² de 0,708. Comparando os dois modelos, o modelo 2 que incluiu a dinamometria de preensão palmar é estatisticamente diferente do modelo 1 (contendo apenas sexo e idade) para prever a medida do S-Index e que a inclusão da dinamometria de preensão palmar aumenta a capacidade preditiva da medida do índice de pressão muscular dinâmico. Estes dados demonstram que o modelo com a inclusão de sexo e idade explicam as medidas do S-Index em brasileiros adultos, saudáveis em 62,6% (R² ajustado: 0,626; p <0,001, comparado com modelo sem previsores) enquanto que a inclusão da medida do HGMSd ao modelo explica em 70,4% (R² ajustado: 0,704; p <0,001, comparando com modelo contendo apenas sexo e idade) o que representa um aumento significativo de 8% no ajuste preditivo do S-Index (ΔR^2 da mudança: 0,079; p <0.001) com a inclusão da variável HGMSd ao modelo (TABELA 6).

Medidas de Ajuste do Modelo

Modelo	R	R ²	R ² Ajustado	Teste ao Modelo Global			
				F	gl1	gl2	p
1 (Sexo e idade)	0.793	0.629	0.626	179	2	211	< .001
2 (sexo, idade e HGMSd)	0.842	0.708	0.704	170	3	210	< .001

Comparações de Modelos

Comparação		ΔR^2	F	gl1	gl2	p	
Modelo	Modelo						
1	-	2	0.0790	56.9	1	210	< .001

Coeficientes do Modelo - S-Index, cmH₂O

Preditor	Estimativas	Erro-padrão	Intervalo de Confiança a 95%			t	p
			Lim. Inferior	Superior			
Intercepto	69.724	5.4856	58.911	80.5383		12.71	< .001
SEXO_	10.765	1.8022	7.212	14.3173		5.97	< .001
IDADE	-0.211	0.0628	-0.334	-0.0868		-3.35	< .001
HG MSd, kgs	0.797	0.1057	0.589	1.0055		7.54	< .001

Tabela 6: Modelo de regressão linear em dois modelos diferentes H0 (sexo e idade como variáveis dependentes) e modelo H1 (sexo, idade e HGMSd) para predição do índice de pressão muscular dinâmico (S-Index, cmH₂O).

Todo modelo de regressão foi avaliado em relação aos pré-requisitos da regressão (Tabela 7 e gráfico 2a e 2b):

- 1) Ausência de Multicolinearidade ($tolerance > 0.1$) entre as variáveis independentes;
- 2) Resíduos independentes (Teste de Durbin Watson entre 1.5 e 2.5; modelo 1.76);
- 3) Ausência de Outliers (Resíduos padronizados entre -3 e + 3);
- 4) Os resíduos apresentam distribuição normal (gráfico 2a);
- 5) Presença de homocestadicidade (gráfico 2b);
- 6) Relação de linearidade entre as variáveis dependentes e independentes.

Teste de autocorrelação de Durbin-Watson

Autocorrelação	Estatística DW	p
0.118	1.76	0.072

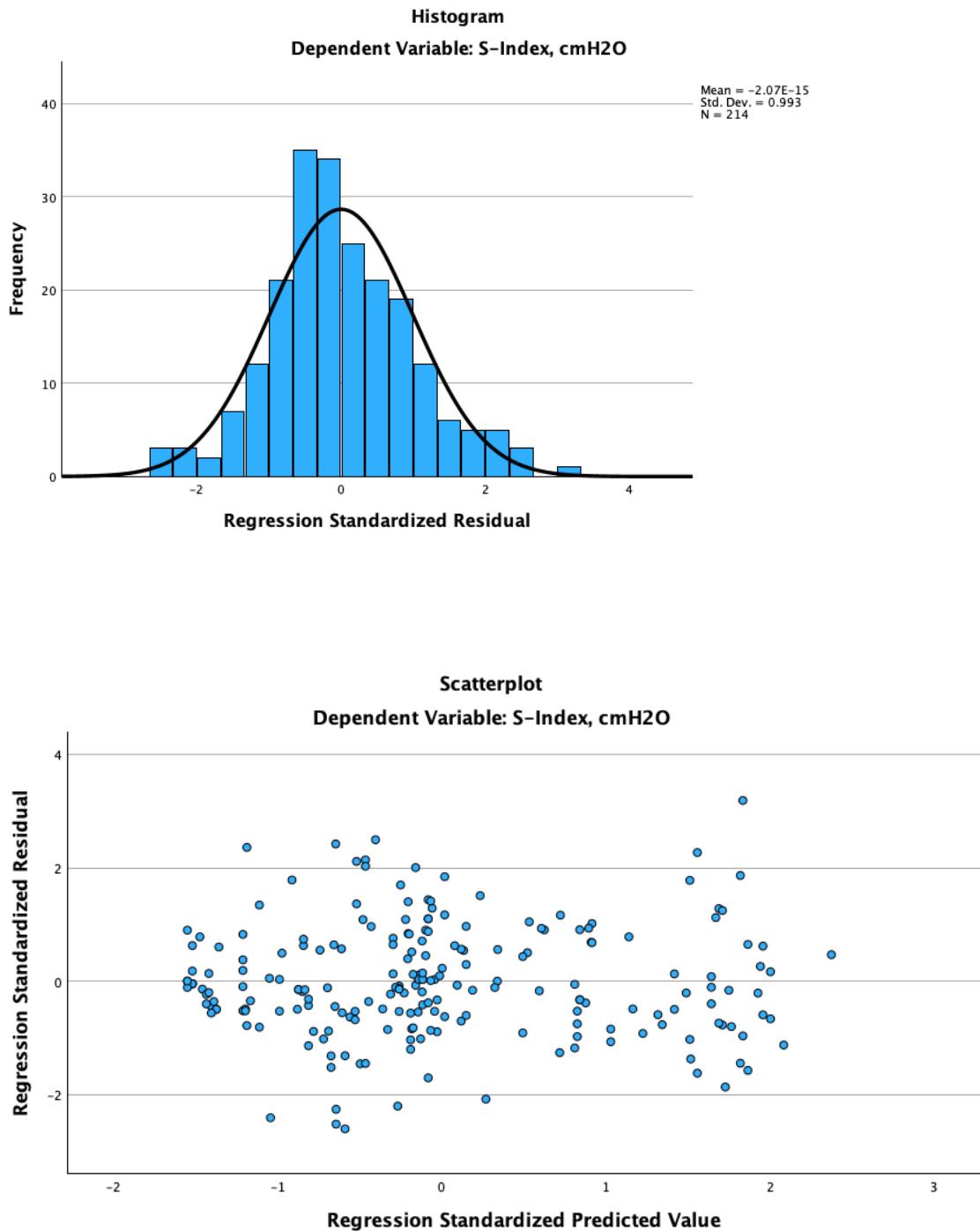
Estatísticas de Colinearidade

	VIF	Tolerância
SEXO_	2.19	0.457
IDADE	2.13	0.469
HG MSd, kgs	3.29	0.304

Teste à Normalidade (Shapiro-Wilk)

Estatística	p
0.988	0.063

Tabela 7: Análises dos pressupostos da regressão linear.



Desta forma, podemos afirmar que o sexo, a idade e a medida da força de preensão palmar são capazes de prever a medida do índice de pressão muscular dinâmico S-Index, cmH₂O em adultos brasileiros saudáveis. A análise de regressão resultou em um modelo estatisticamente significativo [$F (3,210) = 169,8; p <0,001; R^2 = 0,708$]. O sexo ($B = 0,33; t=5,97; p <0,001$), a idade ($B = - 0,18; t=-3,54; p <0,001$) e a medida da força de preensão palmar ($B = 0,51; t=7,54; p <0,001$) são previsores do índice de pressão muscular dinâmico S-Index, cmH₂O em adultos brasileiros saudáveis.

Assim estabelecemos as fórmulas:

S-Index (Homens): $69,72 + 10,765 * \text{sexo} (\text{homens} = 1 \text{ e Mulheres} = 0) - 0,211 * \text{idade} + 0,797 * \text{HGMSd}$.

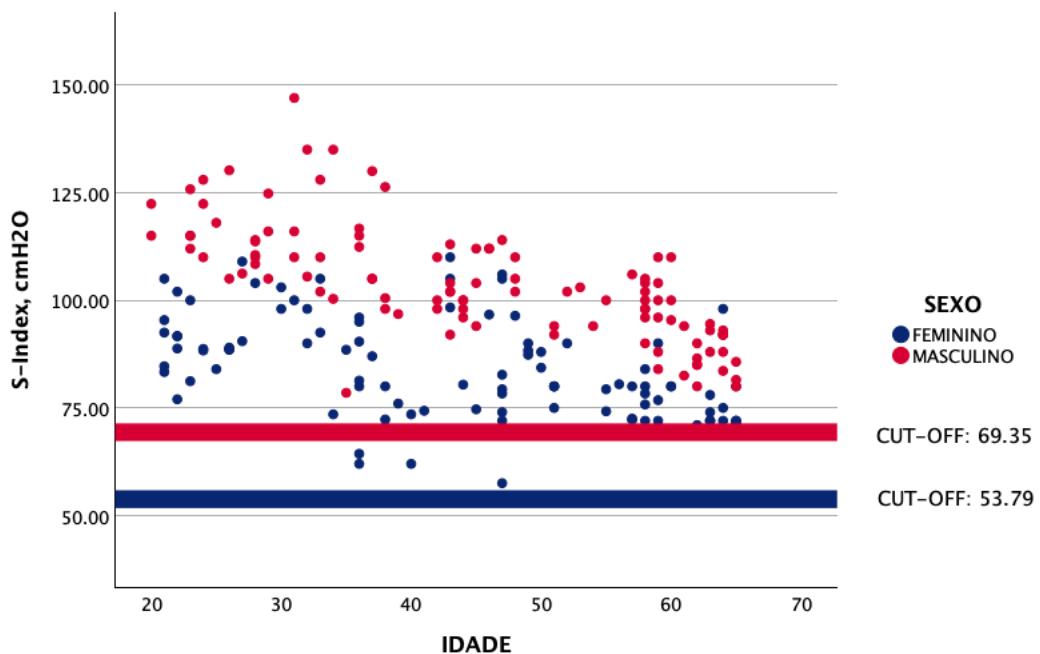
Secundariamente foi calculado também o limite inferior de normalidade do S-Index, cmH₂O pelo score de Z nas diferentes faixas etárias e o ponto de corte do S-Index, cmH₂O para fraqueza muscular inspiratória para homens e mulheres (69,35 para homens e 53,79 para mulheres (Tabela 8; gráfico 3)

	SEXO		SEXO	
	FEMININO	MASCULINO	FEMININO	MASCULINO
	LIN PI _{max} , cmH ₂ O	LIN PI _{max} , cmH ₂ O	LIN S-Index, cmH ₂ O	LIN S-Index, cmH ₂ O
20-29 anos	66.10	98.48	62.79	86.77
30-39 anos	62.26	92.46	57.05	84.18
40-49 anos	57.61	86.44	56.50	74.99
50-59 anos	56.80	78.32	50.08	68.27
60-65 anos	51.44	69.20	45.24	60.80

LIN: limite inferior de normalidade baseado no score Z calculado pela fórmula LIN = média do S-Index nas diferentes faixas etárias – 1,65 *DP.

Tabela 8: Limites inferiores de normalidade da pressão inspiratória máxima (PI_{max}, cmH₂O) e do índice de pressão muscular (S-Index, cmH₂O) baseados no score Z.

Gráfico 3: Pontos de corte para fraqueza muscular baseados no Score T



CUT-OFF: Pontos de corte baseado no score T calculado pela fórmula cut-off = média do S-Index por sexo – 2,5 *DP.

4.0 DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo que estabeleceu equação de referência específica para cada sexo para o S-Index, em uma amostra de voluntários saudáveis brasileiros, utilizando uma metodologia padronizada previamente (Kowalski & Klusiewicz, 2023). O teste S-Index é baseado em inspirações máximas e fortes realizadas desde o volume residual até a capacidade inspiratória total, semelhante à manobra padronizada pela ATS/ERS em 2002 e corroborada pelas diretrizes brasileiras estabelecidas pela SBPT em 2002 (ATS, 2002; SBPT, 2002). Como o S-Index utiliza manobras dinâmicas, especulamos que pode ser uma avaliação mais específica e funcional para os indivíduos do que as medidas estáticas tradicionais, como é o caso da P_{Imax}. O S-Index é obtido com dispositivos próprios, Powerbreathe®, que foram previamente validados (Hajghanbari *et al.*, 2013; Langer *et al.*, 2013; Minahan *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018; Areias *et al.*, 2020).

A confiabilidade teste e reteste foi considerada excelente (Minahan *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018) e permite avaliar a força inspiratória tanto em indivíduos saudáveis quanto

em pacientes (Langer *et al.*, 2013; Minahan *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018; Areias *et al.*, 2020).

O sexo, a idade e a força de preensão palmar foram as variáveis explicativas em ambos os sexos para prever as variações do S-Index. Além disso, pela primeira vez estabelecemos limites para identificação de fraqueza muscular respiratória em mulheres e homens com base score T do S-Index em ambos os sexos. O score T foi utilizado para definir um ponto de corte absoluto para fraqueza muscular respiratória usando escores $T \geq 2,5 * DP$ abaixo da média do S-Index alcançado. Para tanto, utilizou-se método utilizado por Dodds e colaboradores, sendo utilizados hoje para o diagnóstico de sarcopenia e osteoporose. (Dodds *et al.*, 2014).

A amostra estudada buscou representar as características demográficas e antropométricas similares às descritas para a população brasileira saudável em geral. Os resultados encontrados mostram que o S-Index, assim como a Plmáx podem ser adequadamente preditos por meio dos atributos antropométricos e da força de preensão palmar em Jovens (Efstathiou *et al.*, 2016), adultos (Souza *et al.*, 2022; idosos (Parentoni *et al.*, 2013; Marcon *et al.*, 2021) saudáveis.

Embora haja correlação forte entre a Plmax e o S-index, demonstrado em estudos prévios (Areias *et al.*, 2020), nossos resultados expõe que os valores do S-Index foram significativamente menores que a Plmax. Estas diferenças podem ser explicadas biomeanicamente, uma vez que a força isométrica em geral é significativamente maior que a força gerada por contrações isotônicas (Blackburn *et al.*, 2014; Widodo *et al.*, 2022);

A avaliação da força muscular inspiratória, Plmax e S-Index, sofrem influências dos fatores individuais e metodológicos, assim como alguns relativos à técnica. Assim, o tipo de manômetro, tipo da interface, a presença/dimensão do orifício de fuga, o uso do clipe nasal, a postura adotada durante os testes, a instrução e encorajamento das manobras pelo técnico, o número de manobras realizadas, e o critério de reproduzibilidade das medidas selecionadas e a pressão selecionada para registro (ATS, 2002; SBPT, 2002; Evans & Whitelaw, 2009; Lavaneziana *et al.*, 2019; Kowalski & Klusiewicz, 2023).

Portanto, as características demográficas, antropométricas, étnicas das populações e a metodologia utilizada durante os testes de função muscular inspiratória contribuem para a expressiva variabilidade de medidas da Plmax (ATS, 2002; SBPT 2002; Evans & Whitelaw, 2009; Lavaneziana *et al.*, 2019) e que por questões similares

podem ser extrapoladas para as medidas do S-Index (DE Oliveira *et al.*, 2018; Kowalski & Klusiewicz, 2023). Esse fato pode ser comprovado por valores de referência distintos propostos por diferentes autores para indivíduos de mesmo gênero e faixa etária e mesmo país muitas vezes (Neder *et al.*, 1999, Costa *et al.*, 2010; Simões *et al.*, 2010; Pessoa *et al.*, 2013).

Com o objetivo de padronizar o procedimento de medida da Pimax, a *American Thoracic Society / European Respiratory Society* (ATS/ERS, 2002) e a Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia no mesmo ano (SBPT, 2002) propuseram uma abordagem padronizada para o desempenho durante o teste e avaliação da medida da Pimax. Entretanto, poucos estudos objetivaram padronizar a medida do índice de pressão muscular dinâmica, S-Index (Silva *et al.*, 2018). Recentemente, kowalski & klusiewicz em 2023 propuseram um *guideline* para padronização da medida do S-Index (Kowalski & Klusiewicz, 2023). Este guia contribuiu para uniformizar a metodologia de mensuração e análise do S-Index, a fim de minimizar o impacto de variáveis metodológicas nas medidas das mesmas e, por conseguinte, conferir confiabilidade e validade dos valores de referências eventualmente propostos.

Até o presente momento, não há descrito, nenhuma equação de referência para adultos brasileiros de ambos os sexos para o S-Index, e exatamente por este motivo, este trabalho foi construído. Como as equações de referência da Pimax utilizam metodologias muito distintas utilizamos como paradigma metodológico o estudo de proposição da equação de referência da Pimax melhor aceita no Brasil (Neder *et al.*, 1999). Recentemente, um estudo de base populacional multicêntrico espanhol conduzida por Ana Lista-Paz e colaboradores em 2023, validaram a equação de referência espanhola para ambos os sexos e os pontos de corte para fraqueza muscular nesta população, utilizando metodologia similar ao descrito por Neder em 1999 (Lista-Paz *et al.*, 2023).

Assim, foi proposta uma equação de referência específica do S-Index para ambos os sexos. Em consonância com as equações preditivas anteriores que avaliam a função muscular inspiratória, como estudos que propuseram equações para população brasileira adulta da Pimax (Neder *et al.*, 1999, Costa *et al.*, 2010; Simões *et al.*, 2010; Pessoa *et al.*, 2013) confirmamos que a idade foi uma importante variável, determinante das pressões respiratórias máximas para ambos os sexos. Além disso, observamos que as associações de sexo com a idade foram melhores descritas pela adição da medida da força de preensão palmar do membro superior dominante

(HGMSd, kgs), conforme relatado anteriormente por outros autores em correlações com a PI_{max} e o S-Index em indivíduos normais sedentários (Areias *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022), treinados (Roldan *et al.*, 2021) e em diferentes condições patológicas clínicas (Bahat *et al.*, 2014; Borges *et al.*, 2024) ou cirúrgicas (Rocha *et al.*, 2023) .

Nossa equação, incluindo a medida da força de preensão palmar explicou o índice de pressão muscular dinâmica, S-Index em 70,4% (R² ajustado 0,704) e aumentou de forma significativa (ΔR^2 da mudança: 0,079; $p<0.001$) a capacidade preditiva do S-Index.

Secundariamente, para melhor interpretar o LIN do S-Index, foram calculados escores Z e escores T específicos levando-se em conta sexo e faixa etária. Tem sido argumentado que os escores Z podem ser mais adequados para a interpretação da função pulmonar devido ao declínio natural com a idade (Stanojevic *et al.*, 2022).

No entanto, este pode não ser o caso da função muscular inspiratória. Embora as reduções médias na força muscular inspiratória e periférica sejam observadas com o aumento da idade (Dodds *et al.*, 2014) a força muscular pode ser mantida ou mesmo incrementada acima do esperado para idade e sexo com exercícios de condicionamento específicos ou em atletas (Souza *et al.*, 2014; Roldan *et al.*, 2021). Portanto, acreditamos que os escores T fornecem um método ideal para estabelecer um valor de corte para definir (em conjunto com os sintomas do paciente) a fraqueza muscular inspiratória, semelhante aos métodos que foram aplicados anteriormente para força de preensão manual (Dodds *et al.*, 2014; Lista-Paz *et al.*, 2023).

Nosso recém-estabelecido ponto de corte destacou a importância de levar em consideração o sexo na definição dos valores de corte para fraqueza muscular inspiratória considerando o (S-Index: 69,35 e 53,79 cmH₂O para homens e mulheres, respectivamente) essas novas definições de fraqueza muscular inspiratória contrastam com os limites de corte globais isto é, PI_{max} \leq 60 cmH₂O que foram usados anteriormente para estratificar análises de subgrupos em revisões sistemáticas de estudos de treinamento muscular inspiratório (Gosselink *et al.*, 2011; Beamount *et al.*, 2018). De acordo com nossos resultados, as diferenças nos escores Z e nos escores T impactam o LIN, especialmente no envelhecimento, quando os escores Z sempre apresentam valores mais baixos. No entanto, apesar de uma PI_{max} e um S-Index mais baixos serem comuns, este declínio não deve ser considerado normal em pessoas idosas, uma vez que, com o envelhecimento, os músculos respiratórios têm de lidar com cargas aumentadas, em vez de diminuídas, para um determinado esforço respiratório.

Além disso, quando as demandas respiratórias aumentam, os sintomas (por exemplo, dispnéia) também aumentarão (Gea *et al.*, 2020). Para manter o equilíbrio entre a carga e a capacidade muscular respiratória, o S-Index, assim como a PImax precisam, portanto, serem mantidos em um nível mínimo (Jolley *et al.*, 2016).

Este estudo também tem vários pontos fortes. Em primeiro lugar, recrutamos uma amostra considerável, pareadas entre sexos e bem equilibrada na faixa etária em dois centros distintos. Foram estabelecidos critérios rígidos de seleção e todas as características que pudessem influenciar as medidas das pressões respiratórias máximas estáticas (PImax) e dinâmica (S-Index) foram excluídas (por exemplo, excesso de peso, tabagismo, condições pulmonares e neuromusculares etc.) e o nível de atividade física foi controlado.

Em segundo lugar, a nossa metodologia foi rigorosa, randomizando a sequência dos procedimentos realizados para garantir que a medida de um não interferisse de forma sistemática na outra. O protocolo estabelecido pela ATS/ERS 2002, ratificado pela SBPT no mesmo ano foi selecionado para medir PImax e PEmax (ATS, 2002; SBPT, 2002) por ser o mais utilizado no Brasil. Para o S-Index utilizamos a padronização estabelecida por Silva e colaboradores em 2015 e posteriormente em 2018 e recentemente ratificadas (Silva *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018; Kowalski & Klusiewicz, 2023). Também foram implementados treinamentos padronizados para todos os avaliadores e rigoroso controle de qualidade dos testes e retestes. Em terceiro lugar, pela primeira vez, utilizando diferentes métodos validados foram estabelecidos o LIN do S-Index para ambos os sexos e faixas etárias e os pontos de corte do S-Index para o diagnóstico de fraqueza muscular inspiratória entre homens e mulheres (Dodds *et al.*, 2014; Lista-Paz *et al.*, 2023).

Dentre as limitações do estudo, em consonância com a maioria dos estudos anteriores de objetivo similar, o acesso a uma população completamente aleatória não foi possível por razões éticas. No entanto, para minimizar esse potencial viés voluntário, recrutamos nossa amostra por estratégias completamente diferentes (por exemplo: mensagens em grupos de transmissão, convites públicos por via, redes sociais e divulgação em centros comunitários de saúde). Sabe-se que as pressões inspiratórias máximas estáticas (PImax) e dinâmica (S-Index) são manobras dependentes de esforço que podem ser influenciadas pela própria motivação do indivíduo (Bruschi *et al.*, 1992; Pessoa *et al.*, 2014; Kowalski & Klusiewicz, 2023). Em segundo lugar, não foi possível controlar com segurança o grau de escolaridade e isso pode afetar a compreensão dos

comandos e instruções dos testes. Esta limitação foi minimizada com diversas estratégias de orientações aos voluntários.

Desta forma, tanto as novas equações de referência como os pontos de corte baseados nos escores T do S-Index podem e devem ser imediatamente transferidos para a prática clínica podendo ajudar a melhorar a interpretação das pressões inspiratórias máximas (agora também com equações para as pressões dinâmicas), evitando diagnósticos errados de fraqueza muscular inspiratória e, como tal, selecionar candidatos mais adequados para a condição muscular respiratória - intervenções. Estas equações poderão também, após validação, ser úteis para outras populações de regiões distintas do Brasil que por ter dimensões continentais podem apresentar algum grau de variância mesmo que tenham características antropométricas semelhantes. Além disso, outros países poderão a partir desta equação padronizar suas equações de referência para a medida do S-Index. Para facilitar a sua utilização prática, estas novas equações de referência podem ser incorporadas aos equipamentos comercialmente disponíveis e distribuídas entre os laboratórios de função pulmonar e centros de pesquisa. Para o efeito, será organizado pelo PPGCR – UNISUAM e os autores uma campanha informativa para divulgação junto das sociedades científicas e nas redes sociais. Estudos futuros serão necessários para validar as novas equações de referência propostas para o S-Index em outras populações e pontos de corte do S-Index propondo fraqueza muscular inspiratória em diferentes populações, como pacientes com DPOC, Insuficiência Cardíaca e doenças neuromusculares, entre outros. Este estudo foi financiado pela Fundação Carlos Chagas Filho de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ, No. E- 26/211.104/2021) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal (CAPES, Finance Code 001; No. 88881.708719/2022-01, No. 88887.708718/2022-00).

5.0 CONCLUSÃO

Nossos resultados apresentam o maior conjunto de dados do índice de pressões inspiratórias dinâmicas máximas (S-Index) feitos no Brasil até o momento, realizados sob metodologia padronizada em conformidade com as normas internacionais e guias de prática clínica para a medida do S-Index. O limite inferior de normalidade e os pontos de corte do S-Index para ambos os sexos foram estabelecidos pela primeira vez para definir fraqueza muscular inspiratória utilizando escore Z e escore T. Estes terão impacto na prática clínica para identificar mais uma medida, desta vez dinâmica, a fraqueza muscular inspiratória e selecionar candidatos para intervenções de treinamento muscular específico e acompanhamento clínico. Estes resultados têm translação e aplicabilidade clínica imediatas e podem ser usados para comparar valores de S-Index obtidos em indivíduos normais e pacientes com valores de referência que podem ser potencialmente utilizados em diferentes populações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Areias, Guilherme de Souza et al. Concurrent validity of the static and dynamic measures of inspiratory muscle strength: comparison between maximal inspiratory pressure and s-index. **Brazilian journal of cardiovascular surgery**, v. 35, p. 459-464, 2020.

ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 166, n. 4, p. 518-624, 2002.

Bahat, Gulistan et al. Relation between hand grip strength, respiratory muscle strength and spirometric measures in male nursing home residents. **The Aging Male**, v. 17, n. 3, p. 136-140, 2014.

Beaumont, Marc et al. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. **The clinical respiratory journal**, v. 12, n. 7, p. 2178-2188, 2018.

Blackburn, J. Troy; Norcross, Marc F. The effects of isometric and isotonic training on hamstring stiffness and anterior cruciate ligament loading mechanisms. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 24, n. 1, p. 98-103, 2014.

Borges, Sheila et al. Association of sarcopenia traits with static and dynamic respiratory muscle strength in hemodialysis patients: a cross-sectional study. **Kidney International Reports**, v. 9, n. 4, p. S425, 2024.

Bruschi, Claudio et al. Reference Values of Maximal Respiratory Mouth Pressures: A Populationbased Study. **Am Rev Respir Dis**, v. 146, p. 790-793, 1992.

Cordeiro, Jean Aretakis et al. Avaliação estática e dinâmica da força muscular respiratória de crianças e adolescentes asmáticos. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, v. 20, p. 1009-1016, 2021.

Costa, Dirceu et al. New reference values for maximal respiratory pressures in the

Brazilian population. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 36, p. 306-312, 2010.

Courtney, Carol A.; Fernandez-de-Las-Penás, César; Bond, Samantha. Mechanisms of chronic pain–key considerations for appropriate physical therapy management. **Journal of Manual & Manipulative Therapy**, v. 25, n. 3, p. 118-127, 2017.

Dall'ago, Pedro et al. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 47, n. 4, p. 757-763, 2006.

De Oliveira, Francisco Tiago Oliveira et al. Comparação da força e resistência dos músculos inspiratórios entre ativos e sedentários. **Revista Pesquisa em Fisioterapia**, v. 8, n. 2, p. 223-229, 2018.

De Vet, Henrica CW et al. When to use agreement versus reliability measures. **Journal of clinical epidemiology**, v. 59, n. 10, p. 1033-1039, 2006.

Dodds, Richard M. et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. **PLoS one**, v. 9, n. 12, p. e113637, 2014.

Efstathiou, Ioannis D.; Mavrou, Irini P.; Grigoriadis, Konstantinos E. Correlation between maximum inspiratory pressure and hand-grip force in healthy young and middle-age individuals. **Respiratory care**, v. 61, n. 7, p. 925-929, 2016.

Enright, Paul L. et al. Prevalence and correlates of respiratory symptoms and disease in the elderly. **Chest**, v. 106, n. 3, p. 827-834, 1994.

Enright, Paul L. et al. Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. Cardiovascular Health Study Research Group. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 149, n. 2, p. 430-438, 1994.

Escriche-Escuder, Adrian et al. Effects of exercise on muscle mass, strength, and physical performance in older adults with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis according to the EWGSOP criteria. **Experimental Gerontology**, v. 151, p. 111420, 2021. Evans, John A.; Whitelaw, William A. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. **Respiratory care**, v. 54, n. 10, p. 1348-1359, 2009.

Flynn, Timothy W. The thoracic spine and rib cage: Musculoskeletal evaluation and treatment. (No Title), 1996.

Gea, Joaquim et al. Respiratory muscle senescence in ageing and chronic lung diseases. **European Respiratory Review**, v. 29, n. 157, 2020.

Gosselink, Rik et al. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence?. **European Respiratory Journal**, v. 37, n. 2, p. 416-425, 2011.

Gräsbeck, Ralph. The evolution of the reference value concept. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)**, v. 42, n. 7, p. 692-697, 2004.

Hajghanbari, Bahareh et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 27, n. 6, p. 1643-1663, 2013.

Hawkes, Emma Z.; Nowicky, Alexander V.; Mcconnell, Alison K. Diaphragm and intercostal surface EMG and muscle performance after acute inspiratory muscle loading. **Respiratory physiology & neurobiology**, v. 155, n. 3, p. 213-219, 2007.

Jolley, Sarah E.; Bunnell, Aaron E.; Hough, Catherine L. ICU-acquired weakness. **Chest**, v. 150, n. 5, p. 1129-1140, 2016.

Kowalski, Tomasz; Klusiewicz, Andrzej. Powerbreathe® S-Index Test—guidelines and recommendations for practitioners. **Biomedical Human Kinetics**, v. 15, n. 1, p. 225-228, 2023.

Laghi, Franco; Tobin, Martin J. Disorders of the respiratory muscles. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 168, n. 1, p. 10-48, 2003.

Langer, Daniel et al. Measurement validity of an electronic inspiratory loading device during a loaded breathing task in patients with COPD. **Respiratory medicine**, v. 107, n. 4, p. 633-635, 2013.

Laveneziana, Pierantonio et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. **European Respiratory Journal**, v. 53, n. 6, 2019.

Leech, Judith A. et al. Respiratory pressures and function in young adults. **American Review of Respiratory Disease**, v. 128, n. 1, p. 17-23, 1983.

Lista-Paz, Ana et al. Maximal respiratory pressure reference equations in healthy adults and cut-off points for defining respiratory muscle weakness. **Archivos de Bronconeumología**, v. 59, n. 12, p. 813-820, 2023.

Marcon, Liliane de Faria; Melo, Ruth Caldeira de; Júnior, Francisco Luciano Pontes. Relationship between respiratory muscle strength and grip strength in institutionalized and community-dwelling older adults. **Geriatrics, Gerontology and Aging**, v. 15, p. 1-7, 2021.

McElvaney, G. et al. Maximal static respiratory pressures in the normal elderly. **Am Rev Respir Dis**, v. 139, n. 1, p. 277-81, 1989.

Meyer, F. Joachim et al. Respiratory muscle dysfunction in congestive heart failure: clinical correlation and prognostic significance. **Circulation**, v. 103, n. 17, p. 2153-2158, 2001.

Minahan, Clare et al. Repeated-sprint cycling does not induce respiratory muscle fatigue in active adults: measurements from the powerbreathe® inspiratory muscle trainer. **Journal of sports science & medicine**, v. 14, n. 1, p. 233, 2015.

Nagano, A. et al. Respiratory sarcopenia and sarcopenic respiratory disability: concepts, diagnosis, and treatment. **The journal of nutrition, health & aging**, v. 25, p. 507-515, 2021.

Neder, Jose Alberto et al. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. **Brazilian journal of medical and biological research**, v. 32, p. 719-727, 1999.

Nepomuceno Júnior, Balbino Rivail Ventura; Gómez, Thaís Borges; Gomes Neto, Mansueto. Use of Powerbreathe® in inspiratory muscle training for athletes: systematic review. **Fisioterapia em Movimento**, v. 29, p. 821-830, 2016.

Parentoni, Adriana Netto et al. Comparação da força muscular respiratória entre os subgrupos de fragilidade em idosas da comunidade. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 20, p. 361-366, 2013.

Patino, Cecilia Maria; Ferreira, Juliana Carvalho. Validade interna e externa: você pode aplicar resultados de pesquisa para seus pacientes?. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 44, p. 183-183, 2018.

Pessoa, Isabela MBS et al. Predictive equations for respiratory muscle strength according to international and Brazilian guidelines. **Brazilian journal of physical therapy**, v. 18, p. 410-418, 2014.

Polla, B. et al. Respiratory muscle fibres: specialisation and plasticity. **Thorax**, v. 59, n. 9, p. 808-817, 2004.

Rocha, Lara Patrícia Bastos et al. Analysis of physical function, muscle strength, and pulmonary function in surgical cancer patients: a prospective cohort study. **Supportive Care in Cancer**, v. 31, n. 2, p. 105, 2023.

Rodrigues, Fátima; Bárbara, Cristina. Pressões máximas respiratórias: proposta de um protocolo de procedimentos. **Revista Portuguesa de Pneumologia**, v. 6, n. 4, p. 297-307, 2000.

Romer, Lee M.; Polkey, Michael I. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. **Journal of applied physiology**, v. 104, n. 3, p. 879-888, 2008.

Santana, Pauliane Vieira et al. Ultrassonografia diafragmática: uma revisão de seus aspectos metodológicos e usos clínicos. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 46, p. e20200064, 2020.

Schepens, Tom; Fard, Samira; Goligher, Ewan C. Assessing diaphragmatic function. **Respiratory care**, v. 65, n. 6, p. 807-819, 2020.

Silva, Paulo Eugênio et al. Assessment of maximum dynamic inspiratory

pressure. **Respiratory care**, v. 63, n. 10, p. 1231-1238, 2018.

Silva, Paulo Eugênio et al. Avaliação da função muscular ventilatória. **PROFISIO-Fisioter Cardiovasc e Respir**, v. 3, p. 9-46, 2016.

Silva, Paulo Eugênio et al. Avaliação da função muscular ventilatória. **PROFISIO-Fisioter Cardiovasc e Respir**, v. 3, p. 9-46, 2016.

Silva, Paulo Eugênio; Durigan, João Luiz Quaglioti; Cipriano, Gerson. Maximal inspiratory pressure: a lost point trying to explain a s-index function line index. **Journal of sports science & medicine**, v. 14, n. 4, p. 883, 2015.

Simões, Rodrigo P. et al. Pressões respiratórias máximas em indivíduos saudáveis sedentários de 20 a 89 anos da região central do Estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 14, p. 60-67, 2010.

Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia et al. Diretrizes para testes de função pulmonar. **J pneumol**, v. 28, n. Suppl 3, p. S1-S238, 2002.

Souza, Tamiris Aparecida Castro et al. Correlação entre capacidade funcional, força muscular respiratória e força de preensão palmar em candidatos a transplante de fígado. **Clinical and Biomedical Research**, v. 42, n. 4, 2022.

Stanojevic, Sanja et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. **European Respiratory Journal**, v. 60, n. 1, 2022.

Tabachnick, Barbara G.; Fidell, Linda S. **Using multivariate statistics**. HarperCollins Publishers, 1983.

Tully, Keith et al. Maximal expiratory pressures in spinal cord injury using two mouthpieces. **Chest**, v. 112, n. 1, p. 113-116, 1997.

Vincken, W.; Ghezzo, H.; Cosio, M. G. Maximal static respiratory pressures in adults:

normal values and their relationship to determinants of respiratory function. **Bulletin europeen de physiopathologie respiratoire**, v. 23, n. 5, p. 435-439, 1987.

Vincken, Walter; Elleker, Murray G.; Cosio, Manuel G. Determinants of respiratory muscle weakness in stable chronic neuromuscular disorders. **The American journal of medicine**, v. 82, n. 1, p. 53-58, 1987.

Volianitis, Stefanos; McConnell, Alison K.; Jones, David A. Assessment of Maximum Inspiratory PressurePrior Submaximal Respiratory Muscle Activity ('Warm-Up') Enhances Maximum Inspiratory Activity and Attenuates the Learning Effect of Repeated Measurement. **Respiration**, v. 68, n. 1, p. 22-27, 2001.

Weir, Joseph P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 231-240, 2005.

Widodo, AkhmadFajri et al. Isotonic and isometric exercise interventions improve the hamstring muscles' strength and flexibility: A narrative review. In: **Healthcare**. MDPI, 2022. p. 811.

Wilson, S. H. et al. Predicted normal values for maximal respiratory pressures in caucasian adults and children. **Thorax**, v. 39, n. 7, p. 535-538, 1984.

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Titulo da Pesquisa: Equação de referência para medida do índice de força muscular inspiratória dinâmica(S-Index) em adultos saudáveis brasileiros.

Pesquisador: CLEBER DA PENHA

Área Temática: Equipamentos e dispositivos terapêuticos, novos ou não registrados no País;

Versão: 2

CAAE: 64320022.4.0000.5235

Instituição Proponente: SOCIEDADE UNIFICADA DE ENSINO AUGUSTO MOTTA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.786.719

Apresentação do Projeto:

Os músculos respiratórios funcionam para proporcionar uma ventilação pulmonar adequada apresentando como características maior resistência à fadiga, elevado fluxo sanguíneo, maior capacidade oxidativa e densidade capilar. Avaliar a força muscular respiratória contribui para uma melhor homeostase do sistema respiratório no organismo. A medida da força muscular respiratória determina se existe a condição de fraqueza desses músculos. O aparelho Powerbreathe K series avalia a força muscular respiratória através da medida dinâmica do fluxo inspiratório gerando um valor de pico de fluxo chamado S-Index. Para tanto, este projeto pretende sugerir um modelo de equação de predição de normalidade para medir a força muscular respiratória através do índice S-Index utilizando o aparelho Powerbreathe como instrumento de avaliação. Os valores do Sindex foram determinados através de um gráfico tracejado numa linha de tempo entre a relação pressão x volume e interpretado por um software em valores absolutos. Espera-se apresentar uma proposta de equação preditiva para indivíduos saudáveis entre 18 a 65 anos de idade com valores de referência para o S-Index como valores de normalidade.

Objetivo da Pesquisa:

Estabelecer uma equação de referência para medida do índice de força muscular inspiratória dinâmica (SIndex) em adultos saudáveis brasileiros.

Endereço: Rua Dona Isabel, 94, TEL: (21)3882-9797 (Ramal: 9943)

Bairro: Bonsucesso

CEP: 21.032-060

UF: RJ

Município: RIO DE JANEIRO

Telefone: (21)3882-9797

E-mail: comitedeetica@souunisuam.com.br



Continuação do Parecer: 5.786.719

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Os voluntários serão expostos a riscos mínimos, todos controlados e se relacionam e eventuais desconfortos durante a realização da espirometria e das manobras de mensuração da força muscular. Não são reportados eventos adversos importantes nestes exames. Em caso de ocorrência, a instituição signatária do projeto assume a responsabilidade de acompanhar o voluntário durante toda recuperação pós mal estar induzido por eventuais procedimentos. Os eventuais desconfortos que podem ocorrer durante a manobra de inspiração máxima podem ser: náuseas, dor de cabeça, tonteira e muito frequentemente síncope. Um pesquisador treinado e habilitado executará o procedimento da manobra possuindo habilidade técnica para promover os primeiros socorros junto ao participante caso ocorra.

Benefícios:

Os principais benefícios do projeto serão oferecer ao paciente um laudo da sua função pulmonar e muscular ventilatória, exames esses nem sempre disponíveis e acessíveis à população em geral. Além disso, diante do laudo, em caso de necessidade o paciente será contra-referenciado para o sistema de saúde e especialidade necessária para acompanhar o caso.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

1. A folha de rosto está devidamente preenchida
2. Existe identificação do pesquisador responsável
3. O título do projeto é claro e objetivo
4. Há embasamento científico que justifique a pesquisa
5. O objetivo geral está bem definido
6. No material e métodos existe explicação clara dos exames e testes que serão realizados, bem como a devida justificativa
7. O cálculo do tamanho da amostra não é claro mas apresenta justificativa do tamanho definido
8. Há critérios de inclusão e exclusão bem definidos
9. A forma de recrutamento dos sujeitos está clara
10. Há análise crítica de risco/benefícios
11. Há explicitação de responsabilidade do pesquisador e da Instituição, não há Carta de anuência porém entende-se que o projeto será desenvolvido no programa de pós graduação
12. Existem critérios para suspensão da pesquisa
13. Há orçamento financeiro simplificado

Endereço: Rua Dona Isabel, 94, TEL: (21)3882-9797 (Ramal: 9943)

Bairro: Bonsucesso

CEP: 21.032-060

UF: RJ

Município: RIO DE JANEIRO

Telefone: (21)3882-9797

E-mail: comitedeetica@souunisuam.com.br



Continuação do Parecer: 5.786.719

14. O local de realização das etapas está bem definido
15. Há compromisso de tornar público os resultados
16. Os esclarecimentos acerca de valor de ressarcimento são claros
17. Há garantia de acesso aos dados do pesquisador/instituição e forma de garantir a privacidade
18. O cronograma de execução é adequado

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

1. O título do projeto está abaixo do título da folha
2. A linguagem é acessível
3. Possui uma breve introdução incluindo a justificativa do projeto com objetivos bem definidos
4. Expõe e explica os procedimentos que serão realizados
5. Cita os possíveis desconfortos e riscos previstos em relação aos procedimentos
6. Cita os benefícios esperados
7. Tem garantia de esclarecimento a qualquer momento
8. Explica a forma de recusa em participar do projeto, sem prejuízo para o tratamento
9. Traz garantia de sigilo, privacidade, anonimato e acesso aos resultados
10. Traz compromisso de divulgação dos resultados em meio científico
11. Faz referência a forma de ressarcimento de despesas
12. Existe explicação de que os resultados dos exames e/ou dados da pesquisa serão de responsabilidade dos pesquisadores
13. Informa o nome dos responsáveis e o telefone e endereço (pessoal ou profissional) para contato em caso de necessidade
14. Informa contato do comitê de ética (endereço e email ou telefone).
15. Traz espaço para o nome do paciente e do responsável, além do espaço para as assinaturas

Recomendações:

"Nenhuma recomendação a fazer."

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto está aprovado

Considerações Finais a critério do CEP:

O projeto está aprovado.

Cabe ressaltar que o pesquisador se compromete em anexar na Plataforma Brasil um relatório ao final da realização da pesquisa. Pedimos a gentileza de utilizar o modelo de relatório final que se encontra na página eletrônica do CEP-UNISUAM (<http://www.unisuam.edu.br/index.php/>)

Endereço: Rua Dona Isabel, 94, TEL: (21)3882-9797 (Ramal: 9943)

Bairro: Bonsucesso

CEP: 21.032-060

UF: RJ

Município: RIO DE JANEIRO

Telefone: (21)3882-9797

E-mail: comitedeetica@souunisuam.com.br



Continuação do Parecer: 5.786.719

introdução-comite-ética-em-pesquisa). Além disso, em caso de evento adverso, cabe ao pesquisador relatar, também através da Plataforma Brasil.

O presente projeto, seguiu nesta data para análise da CONEP e só tem o seu início autorizado após a aprovação pela mesma.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_1882535.pdf	15/11/2022 22:13:22		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO.pdf	15/11/2022 22:11:33	CLEBER DA PENHA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	15/11/2022 22:08:11	CLEBER DA PENHA	Aceito
Outros	ipaq.pdf	14/10/2022 16:57:37	CLEBER DA PENHA	Aceito
Orçamento	orcamento.docx	14/10/2022 16:51:35	CLEBER DA PENHA	Aceito
Cronograma	Cronograma.docx	14/10/2022 16:49:50	CLEBER DA PENHA	Aceito
Folha de Rosto	folha.pdf	11/10/2022 13:05:03	CLEBER DA PENHA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Sim

RIO DE JANEIRO, 30 de Novembro de 2022

Assinado por:
Arthur de Sá Ferreira
 (Coordenador(a))

Endereço: Rua Dona Isabel, 94, TEL: (21)3882-9797 (Ramal: 9943)
Bairro: Bonsucesso **CEP:** 21.032-060
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3882-9797 **E-mail:** comitedeetica@souunisam.com.br

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Equação de referência para medida do índice de força muscular inspiratória dinâmica (S-Index) em adultos saudáveis brasileiros.

Elaborado a partir da Res.nº466de10/12/2012 do Conselho Nacional de Saúde

Breve justificativa e objetivo da pesquisa: O Sr.(a) está sendo convidado para participar de uma pesquisa científica que trará um benefício para a sociedade e para os profissionais de saúde. A pesquisa tem como objetivo propor uma equação de predição para medir a força muscular respiratória através do índice S-Index utilizando o aparelho Powerbreathe K5 como instrumento de avaliação.

Procedimentos: Inicialmente será feito uma breve explicação oral sobre o objetivo da pesquisa, o pesquisador e o impacto social e na saúde. Após será entregue Otcle para ciência e consentimento para participar da pesquisa. Será feito um questionário sobre a situação de saúde dos participantes. Inicialmente foram coletados variáveis como: idade, sexo, peso, altura e medidas antropométricas e colocado em um banco de dados. Será feito um protocolo de Aprendizado para o participante, instruindo sobre como realizar o teste com o aparelho de medida. No exame o participante irá realizar três tentativas para coleta de dados. Será feito análise dos valores mínimos, a média e valores máximos dos dados.

Potenciais riscos e benefícios: Os voluntários foram expostos a **riscos mínimos**, todos controlados e se relacionam e eventuais desconfortos durante a realização da espirometria e das manobras de mensuração da força muscular. Não são reportados eventos adversos importantes nestes exames. Em caso de ocorrência, a instituição signatária do projeto assume a responsabilidade de acompanhar o voluntário durante toda recuperação pós mal estar induzido por eventuais procedimentos. Os eventuais desconfortos que podem ocorrer durante a manobra de inspiração máxima podem ser: náuseas, dor de cabeça, tonteira e muito frequentemente síncope. Um pesquisador treinado e habilitado executará o procedimento da manobra possuindo habilidade técnica para promover os primeiros socorros junto ao participante caso ocorra. Os principais **benefícios** do projeto será oferecer ao paciente um laudo da sua função pulmonar e muscular ventilatória, exames esses nem sempre disponíveis e acessíveis à população em geral. Além disso, diante do laudo, em caso de necessidade o paciente será contra-referenciado para o sistema de saúde e especialidade necessária para acompanhar o caso.

Participante e seu responsável legal

Responsável por bter o consentimento

Garantia de sigilo, privacidade, anonimato e acesso: Sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa de qualquer forma lhe identificar, foram mantidos em sigilo. Será garantido o anonimato e privacidade. Caso haja interesse, o senhor(a) terá acesso aos resultados.

Garantia de esclarecimento: É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como a garantia do seu livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências.

Garantia de responsabilidade e divulgação: Os resultados dos exames e dos dados da pesquisa foram de responsabilidade do pesquisador, e esses resultados foram divulgados em meio científico sem citar qualquer forma que possa identificar o seu nome.

Garantia de ressarcimento de despesas: Você não terá despesas pessoais em qualquer fase do estudo, nem compensação financeira relacionada à sua participação. Em caso de dano pessoal diretamente causado pelos procedimentos propostos neste estudo, terá direito a tratamento médico, bem como às indenizações legalmente estabelecidas. No entanto, caso tenha qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento mediante depósito em conta corrente ou cheque ou dinheiro. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da sua participação no estudo, você será devidamente indenizado, conforme determina a lei.

Responsabilidade do pesquisador e da instituição: O pesquisador e a instituição proponente se responsabilizarão por qualquer dano pessoal ou moral referente à integridade física e ética que a pesquisa possa comportar.

Critérios para suspender ou encerrar a pesquisa: O estudo será suspenso na ocorrência de qualquer falha metodológica ou técnica observada pelo pesquisador, cabendo ao mesmo a responsabilidade de informar a todos os participantes o motivo da suspensão. O estudo também será suspenso caso seja percebido qualquer risco ou dano à saúde dos sujeitos participantes, consequente à pesquisa, que não tenha sido previsto neste termo. Quando atingir a coleta de dados necessária a pesquisa

Demonstrativo de infraestrutura: A instituição onde será feito o estudo possui a infraestrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa com ambiente adequado.

Propriedade das informações geradas: Não há cláusula restritiva para a divulgação dos resultados da pesquisa, e que os dados coletados foram utilizados única e exclusivamente para comprovação do experimento. Os resultados foram submetidos à publicação, sendo favoráveis ou não às hipóteses do estudo.

Sobre a recusa em participar: Caso queira, o senhor (a) poderá se recusar a participar do estudo, ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar-se, não sofrendo qualquer prejuízo à assistência que recebe.

Contato do pesquisador responsável e do comitê de ética: Em qualquer etapa do estudo você poderá ter acesso ao profissional responsável, CLEBER DA PENHA, que pode ser encontrada no telefone (24) 99395-4533. Se tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa, sítio Rua Dona Isabel, 94 – Bonsucesso – Rio de Janeiro, CEP:21.032-060 ou pelo tel. (21) 3882-9797. Se este termo for suficientemente claro para lhe passar todas as informações sobre o estudo e se o senhor (a) compreender os propósitos do mesmo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Você poderá declarar seu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente das propostas do estudo.

Rio de Janeiro, de _____ de _____.



**QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA –
VERSÃO CURTA -**

Nome: _____
 Data: ____ / ____ / ____ Idade : ____ Sexo: F () M ()

Nós estamos interessados em saber que tipos de atividade física as pessoas fazem como parte do seu dia a dia. Este projeto faz parte de um grande estudo que está sendo feito em diferentes países ao redor do mundo. Suas respostas nos ajudarão a entender que tão ativos nós somos em relação à pessoas de outros países. As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física na **ÚLTIMA** semana. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são MUITO importantes. Por favor responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação !

Para responder as questões lembre que:

- atividades físicas **VIGOROSAS** são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar MUITO mais forte que o normal
- atividades físicas **MODERADAS** são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar UM POUCO mais forte que o normal

Para responder as perguntas pense somente nas atividades que você realiza por pelo menos 10 minutos contínuos de cada vez.

1a Em quantos dias da última semana você **CAMINHOU** por pelo menos 10 minutos contínuos em casa ou no trabalho, como forma de transporte para ir de um lugar para outro, por lazer, por prazer ou como forma de exercício?

dias ____ por **SEMANA** () Nenhum

1b Nos dias em que você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou caminhando por dia?

horas: ____ Minutos: ____

2a. Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **MODERADAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo pedalar leve na bicicleta, nadar, dançar, fazer ginástica aeróbica leve, jogar vôlei recreativo, carregar pesos leves, fazer serviços domésticos na casa, no quintal ou no jardim como varrer, aspirar, cuidar do jardim, ou qualquer atividade que fez aumentar

CENTRO COORDENADOR DO IPAQ NO BRASIL – CELAFISCS –
 INFORMAÇÕES ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS NO BRASIL
 Tel-Fax: – 011-42298980 ou 42299643. E-mail: celafiscs@celafiscs.com.br
 Home Page: www.celafiscs.com.br IPAQ Internacional: www.ipaq.ki.se

moderadamente sua respiração ou batimentos do coração (POR FAVOR NÃO INCLUA CAMINHADA)

dias _____ por **SEMANA** () Nenhum

2b. Nos dias em que você fez essas atividades moderadas por pelo menos 10 minutos contínuos, quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

horas: _____ Minutos: _____

3a Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **VIGOROSAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo correr, fazer ginástica aeróbica, jogar futebol, pedalar rápido na bicicleta, jogar basquete, fazer serviços domésticos pesados em casa, no quintal ou cavoucar no jardim, carregar pesos elevados ou qualquer atividade que fez aumentar **MUITO** sua respiração ou batimentos do coração.

dias _____ por **SEMANA** () Nenhum

3b Nos dias em que você fez essas atividades vigorosas por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

horas: _____ Minutos: _____

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

4a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um **dia de semana**?

_____ horas _____ minutos

4b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um **dia de final de semana**?

_____ horas _____ minutos

PERGUNTA SOMENTE PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

5. Você já ouviu falar do Programa Agita São Paulo? () Sim () Não
6.. Você sabe o objetivo do Programa? () Sim () Não

TRIPOD Checklist: Prediction Model Development

Section/Topic	Item	Checklist Item	Page
Title and abstract			
Title	1	Identify the study as developing and/or validating a multivariable prediction model, the target population, and the outcome to be predicted.	1
Abstract	2	Provide a summary of objectives, study design, setting, participants, sample size, predictors, outcome, statistical analysis, results, and conclusions.	5
Introduction			
Background and objectives	3a	Explain the medical context (including whether diagnostic or prognostic) and rationale for developing or validating the multivariable prediction model, including references to existing models.	14 - 28
	3b	Specify the objectives, including whether the study describes the development or validation of the model or both.	30
Methods			
Source of data	4a	Describe the study design or source of data (e.g., randomized trial, cohort, or registry data), separately for the development and validation data sets, if applicable.	31
	4b	Specify the key study dates, including start of accrual; end of accrual; and, if applicable, end of follow-up.	32
Participants	5a	Specify key elements of the study setting (e.g., primary care, secondary care, general population) including number and location of centres.	32
	5b	Describe eligibility criteria for participants.	32
	5c	Give details of treatments received, if relevant.	NSA
Outcome	6a	Clearly define the outcome that is predicted by the prediction model, including how and when assessed.	35-37
	6b	Report any actions to blind assessment of the outcome to be predicted.	36
Predictors	7a	Clearly define all predictors used in developing or validating the multivariable prediction model, including how and when they were measured.	35-37
	7b	Report any actions to blind assessment of predictors for the outcome and other predictors.	36
Sample size	8	Explain how the study size was arrived at.	35-37
Missing data	9	Describe how missing data were handled (e.g., complete-case analysis, single imputation, multiple imputation) with details of any imputation method.	36
Statistical analysis methods	10a	Describe how predictors were handled in the analyses.	36
	10b	Specify type of model, all model-building procedures (including any predictor selection), and method for internal validation.	36
	10d	Specify all measures used to assess model performance and, if relevant, to compare multiple models.	36
Risk groups	11	Provide details on how risk groups were created, if done.	37
Results			
Participants	13a	Describe the flow of participants through the study, including the number of participants with and without the outcome and, if applicable, a summary of the follow-up time. A diagram may be helpful.	38
	13b	Describe the characteristics of the participants (basic demographics, clinical features, available predictors), including the number of participants with missing data for predictors and outcome.	38 - 42
Model development	14a	Specify the number of participants and outcome events in each analysis.	38 - 42
	14b	If done, report the unadjusted association between each candidate predictor and outcome.	NSA
Model specification	15a	Present the full prediction model to allow predictions for individuals (i.e., all regression coefficients, and model intercept or baseline survival at a given time point).	45-49
	15b	Explain how to use the prediction model.	46-50
Model performance	16	Report performance measures (with CIs) for the prediction model.	46-50
Discussion			
Limitations	18	Discuss any limitations of the study (such as nonrepresentative sample, few events per predictor, missing data).	55
Interpretation	19b	Give an overall interpretation of the results, considering objectives, limitations, and results from similar studies, and other relevant evidence.	51-55
Implications	20	Discuss the potential clinical use of the model and implications for future research.	54-55
Other information			
Supplementary information	21	Provide information about the availability of supplementary resources, such as study protocol, Web calculator, and data sets.	Apêndice
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study.	56

We recommend using the TRIPOD Checklist in conjunction with the TRIPOD Explanation and Elaboration document.



Reference equation for measurement of the maximal dynamic inspiratory muscle pressure index (S-Index) in healthy Brazilian adults

Luis Felipe da Fonseca Reis¹●, Cleber da Penha¹●, Pamela do Carmo Dosso da Silva¹●, Aline Oliveira Martins Soares de Mendonça¹●, Ana Carolina Sebastião da Silva¹●, Clara Pinto Diniz²●, Flavia Mazzoli-Rocha²●, Arthur de Sá Ferreira¹●, Agnaldo José Lopes^{1,3}●

1. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.
2. Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.
3. Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Submitted: 10 June 2025.

Accepted: 25 June 2025.

Study carried out at the Centro de Reabilitação da Polícia Militar / Laboratório de Pesquisa em Desempenho Cardiopulmonar, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

ABSTRACT

Objectives: Several equations for calculating maximal inspiratory pressure (MIP) have been validated for the Brazilian population; however, none exist for maximal dynamic inspiratory muscle pressure (S-Index). **Methods:** This cross-sectional study was conducted at two centers following approval by the institutional ethics committee. Healthy Brazilian adults were sequentially randomized to assess either the MIP or S-Index. Pulmonary function (spirometry), peripheral muscle strength (handgrip strength of the dominant upper limb – HGdUL), and physical activity level (IPAQ) were also evaluated. The S-Index and MIP values were reported as absolute values and compared using the Wilcoxon paired test. Multiple linear regression was used to develop reference equations. Lower limits of normality (LLNs) were stratified by sex and age using Z-scores, providing cut-off points to define inspiratory muscle weakness via the S-Index Deviation Score (SDS). **Results:** The final sample comprised 214 eutrophic volunteers, 50% men, with a mean age of 43.1 ± 15.0 years. The median MIP was significantly higher than the median S-Index (97.2 [96.7–112.0] vs. 92.5 [80.0–105.0] cmH₂O; $p < 0.001$). The predicted equation for the S-Index, which used age, sex, and HGdUL as predictors, was: $S\text{-Index} = 69.72 + 10.765 \times \text{sex}$ (men = 1; women = 0) $- 0.211 \times \text{age} + 0.797 \times \text{HGdUL}$. Additionally, the LLNs and cut-off points for ventilatory muscle weakness by sex and age group were established. **Conclusions:** This study provides the first reference values for the S-Index in healthy, eutrophic Brazilian adults, including LLNs and cut-off points for diagnosing ventilatory muscle weakness.

Keywords: Respiratory muscle strength; S-Index; Respiratory muscle assessment.

INTRODUCTION

Maximal inspiratory pressure (MIP) and maximal expiratory pressure (MEP) are widely used in clinical practice because of their reliability and accessibility.⁽¹⁾ These measurements assess ventilatory muscle strength under static conditions,^(2,3) in contrast to the dynamic contractions observed in physiological states. Conditions such as chronic obstructive pulmonary disease (COPD), asthma, obesity, and neuromuscular disorders can impair ventilatory muscle dynamics by altering the length-tension relationship, leading to dysfunction.⁽³⁾

In order to evaluate inspiratory muscle strength under dynamic conditions, researchers generally use a portable electronic device equipped with a gate valve and variable flow control, initiating the measurement at residual volume. Flow and pressure signals are typically sampled at 500 Hz to calculate the maximal dynamic inspiratory muscle pressure, known as the S-Index.^(4,5)

The S-Index represents the peak inspiratory pressure at the highest point on the pressure-lung volume curve. As with other isokinetic devices, a minimum load of 3 cmH₂O is applied to create resistance to airflow, enabling detection of flow variations. A mathematical algorithm is then used to calculate the S-Index.^(6,7) This approach allows the identification of variations in airflow and lung volume, assisting in the interpretation of inspiratory muscle weakness.^(5–8)

This device has since been increasingly used in Brazil and other countries for the clinical screening of both acute and chronic conditions.^(9–14) However, due to the lack of established reference values for the S-Index, clinicians often rely on MIP measurements and reference equations to estimate this parameter. Nevertheless, the MIP does not accurately reflect dynamic inspiratory performance.

Therefore, the aim of the present study was to develop a predictive equation for the S-Index in healthy

Correspondence to:

Luis Felipe da Fonseca Reis. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Centro Universitário Augusto Motta, Rua Paris 84, Bonsucesso, 21041-020, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: luisfelipe.reis@gmail.com.

Financial support: This study was funded by the Carlos Chagas Filho Research Support Foundation of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ; Protocol No. E-26/211.104/2021, No. E-26/210.239/2018, and No. E-26/201.357/2022), and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES; Finance Code 001; Protocol No. 88881.708718/2022-01 and No. 88887.708718/2022-00).

Conflicts of interest: None to declare.



Brazilian adults and to establish its LLNs and criteria for diagnosing ventilatory muscle weakness.

METHODS

This study proposes a new equation for predicting the S-index in healthy Brazilian adults, establishing LLNs and diagnostic criteria for ventilatory muscle weakness. During a single outpatient visit, sociodemographic data, medical history, and smoking status were obtained through structured interviews carried out between December 2022 and November 2023.

Adult volunteers residing in Rio de Janeiro, southeastern Brazil—but originally from 12 different Brazilian states—were recruited via public invitations posted on social media. The participants were matched by sex and age (range: 20–65 years), were non-smokers, and had normal weight (body mass index [BMI]: $25.45 \pm 3.31 \text{ kg/m}^2$). Exclusion criteria included a history of respiratory, cardiovascular, or neuromuscular disease; spirometric abnormalities at baseline; difficulty understanding test instructions; or significant pain/discomfort during the evaluation.

Height and weight were measured using a digital scale (precision: 0.1 kg) attached to a stadiometer (accuracy: 0.005 m), and BMI was determined. Physical activity level was assessed using the short version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), validated in Portuguese, and was categorized as low (<600 MET-min/week), moderate (600–3,000 MET-min/week), or high (>3,000 MET-min/week).⁽¹⁶⁾

Handgrip strength was assessed using a Jamar 90 kg/200 lb hydraulic handgrip dynamometer (JLW Instruments, Chicago, IL, USA), which has a measurement range of 0.5–90 kg and a resolution of 0.05 kg. Participants were seated with the arm positioned parallel to the body, elbow flexed at 90°, and their forearm and wrist were in a neutral position. Three measurements were taken for each upper limb, alternating between the dominant and non-dominant hands, with a 1-minute rest interval between attempts. The highest value from each hand was recorded.

Pulmonary function was evaluated using a computerized spirometry system (Koko SX 1000, nSpire Health, USA), following standard protocols to measure forced expiratory volume in the first second (FEV₁), forced vital capacity (FVC), and the FEV₁/FVC ratio. The results were then compared with the predicted values for the Brazilian adult population as described by Pereira et al. (2007).⁽¹⁹⁾

All participants were randomly assigned to the sequence of assessment procedures using a six-sided die. Rolls of 1, 2, or 3 indicated that the participant would begin with static maximal respiratory pressure measurements (MIP and MEP) first, followed by dynamic maneuvers, while rolls of 4, 5, or 6 began with dynamic inspiratory muscle pressure (S-Index) measurements followed by static maneuvers.

The MIP and MEP were determined using a digital vacuum manometer (MVD 300, Globalmed, Porto Alegre, RS, Brazil), following ATS/ERS guidelines.

⁽¹⁾ MIP was measured from residual volume with closed airways, while MEP was measured from total lung capacity. Pressure was recorded after sustaining effort for at least 3 seconds, and the plateau value was registered as the MIP or MEP. A minimum of five acceptable maneuvers was performed, with at least three showing less than 10% variability. The highest value from the three reproducible maneuvers was used and expressed both as an absolute value and as a percentage of the predicted value based on the equation by Neder et al. (1999).⁽²⁰⁾

The maximal dynamic inspiratory muscle pressure (S-Index) was measured using a Powerbreathe K5® device and analyzed with Breathelink® K5 software, version 2.1.1. This is currently the only available device capable of performing such measurements. It is flow-oriented and electronically controlled, and estimates the S-Index by integrating peak inspiratory flow and volume over time. The device contains a valve that adjusts its diameter in response to inspiratory flow and calculates muscle strength with the airway open.

The measurements were obtained after the participants performed maximal, rapid inspiratory efforts through a properly fitted mouthpiece, with the valve open, under verbal encouragement from the evaluator. Prior to testing, each participant completed 10 unmeasured moderate-intensity warm-up maneuvers, followed by 8 maximal-effort maneuvers, of which at least 3 had to be acceptable. A minimum 1-minute rest interval was allowed between each maximal effort to avoid muscle fatigue. The S-Index varied by less than 10% among the three acceptable maneuvers, and the highest peak value was recorded.

All evaluations at the two participating centers followed the same protocol. Eight evaluators—specialists in the field—received three months of training from the lead researchers before data collection began.

This study was approved by the Institutional Ethics Committee of the coordinating center, registered on the Brazil Platform (CAAE No. 64320022.4.000.5235). All participants provided written informed consent.

Statistical analysis

The sample size was calculated using the equation proposed by Tabachnick and Fidell (1983): $N > 50 + 8K$, where K represents the number of independent variables.⁽²²⁾ This study included six independent variables: sex, age, weight, height, handgrip strength, and physical activity level (assessed using the IPAQ). Accounting for a 20% loss, the required sample consisted of at least 100 participants of each sex. The volunteers were matched by sex and age, resulting in a total of 250 healthy adults (125 men, 125 women), distributed across five age ranges for each sex: 20–29, 30–39, 40–49, 50–59, and 60–65 years.

Multiple linear regression analysis was conducted using the *enter* method, whereby each variable hypothesized to influence the S-Index was added in successive steps. ANOVA was used to determine whether each variable significantly improved the model's predictive accuracy for the S-Index.

Sex-specific reference equations were developed using multiple linear regression models. The associations between MIP, S-Index, and other relevant variables were analyzed to assess the dependence of S-Index and MIP on categorical variables. For continuous variables, either the t-test or the Mann-Whitney U test was applied to evaluate the strength of linear dependence, and outliers were identified.

Two regression models were constructed: one with sex and age as independent variables, and a second model incorporating sex, age, and the HGdUL measurement. All regression models were evaluated for compliance with standard assumptions, including absence of multicollinearity among independent variables, independence of residuals, absence of outliers, normally distributed residuals, homoscedasticity, and linearity between dependent and independent variables.

ANOVA testing was performed between the two nested models to select the best predictive model and establish the most appropriate equation. The LLN of the S-Index in men and women across the age groups was calculated using Z-scores. A Bland-Altman analysis was conducted to assess the agreement between the values predicted by the model's equation and the actual S-Index measurements.

Lower limit of normality (LLN)

The 5th and 95th percentile limits of a healthy population can be used to identify individuals with

unusually low or high results, respectively.⁽²³⁾ These percentiles are based on the reference interval, which reflects the distribution of expected values in a healthy population. The LLN serves as a cut-off to define results falling outside the typical range observed in clinical practice.

For the S-Index, the LLN for men and women in each age group was calculated using Z-scores, defined as values ≥ 1.645 standard deviations below the group mean. Z-scores or population-based percentage values describe the probability of a given result occurring within the distribution of healthy individuals. In spirometry, the 5th percentile (corresponding to a Z-score of -1.645) is commonly used as a threshold for low values, acknowledging a 5% false-positive rate among healthy individuals.

The S-Index Deviation Score (SDS) indicates how many standard deviations a value falls below the peak mean S-Index, providing a descriptive and context-appropriate metric for identifying potential muscle weakness.

All analyses were conducted by an independent statistician using IBM SPSS Statistics, version 29.0.0.0.241.

RESULTS

Among the 250 volunteers recruited through public invitation, 36 were excluded for reasons detailed in Figure 1. Of the 214 participants evaluated, 107 were male, with ages ranging from 20 to 65 years (mean age: 44.95 ± 14.2 years). Table 1 presents the descriptive data of the participants (additional details are provided in Supplementary Table S1). Demographic

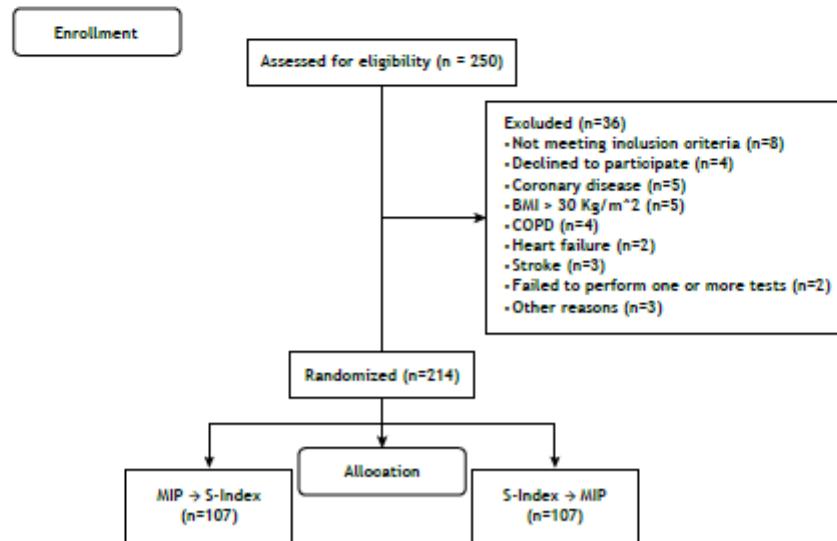


Figure 1. Flowchart of participant recruitment and eligibility. Legend: BMI, body mass index; COPD, chronic obstructive pulmonary disease; S-Index, maximal dynamic inspiratory muscle pressure index; MIP, maximal inspiratory pressure.

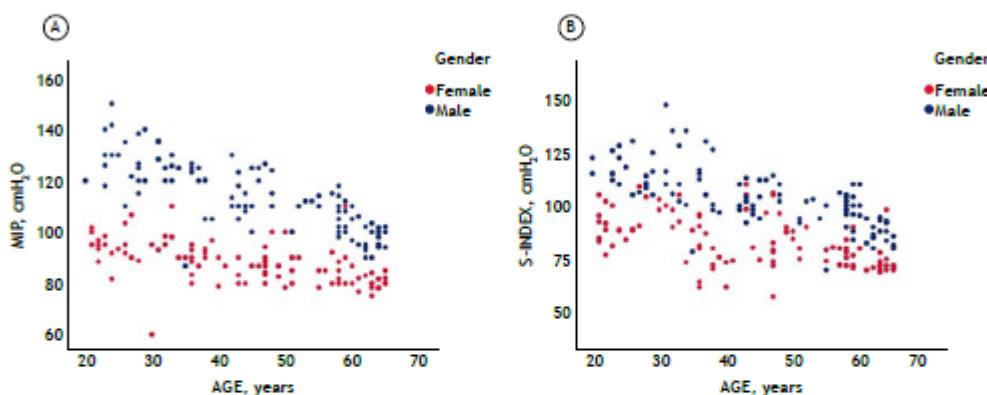


Figure 2. Scatter plots of maximal inspiratory pressure (MIP) (A) and maximal dynamic inspiratory muscle pressure Index (S-Index) (B) by sex (females and males) and age group. Legend: MIP, maximal inspiratory pressure; S-Index, maximal dynamic inspiratory muscle pressure index.

The final equation for predicting the S-Index is:

$$\text{S-Index} = 69.72 (\pm 5.49) + 10.765 (\pm 1.80) \times \text{sex} \\ (\text{men} = 1, \text{women} = 0) - 0.211 (\pm 0.06) \times \text{age} + 0.797 \\ (\pm 0.11) \times \text{HGDUL}$$

Standard Error of the Estimate (SEE) = 8.91; Adjusted R² = 0.704

A Bland-Altman analysis was performed to assess the agreement between the predicted and actual S-Index values. The results demonstrated an adequate level of agreement, with most data points falling within the established limits, indicating that the prediction model reliably estimates inspiratory muscle strength. The Bland-Altman plot is presented in the Supplementary Materials (Supplementary Figure S2).

DISCUSSION

This study introduces the first sex-specific reference equation for calculating the S-Index (cmH₂O) in healthy Brazilian adults using a standardized method.⁽²¹⁾ The S-Index test involves maximal, fast, and forceful inspirations from residual volume to total inspiratory capacity,^(6,7) and may offer a more functional assessment of inspiratory muscle strength than traditional static measurements, such as MIP, due to its use of dynamic maneuvers. The S-Index was measured using validated PowerBreathe® devices,^(5,7,9,10-14,26,27) and the test-retest reliability was shown to be excellent,^(4,8) supporting its application in both healthy individuals and patients.^(4,5,7,8,10-14)

However, few studies have employed a standardized protocol for measuring the S-Index.^(6,7) In 2023, Kowalski and Klusiewicz proposed guidelines to minimize methodological variability and provide reliable reference values for this parameter.⁽²¹⁾ In the present study, sex, age, and handgrip strength were identified as significant predictors of S-Index variation.

Kowalski and Klusiewicz also recently presented reference values for the S-Index in athletes of both sexes aged 18-39 years, reporting mean S-Index

values of 70.7 ± 24.1 cmH₂O for women and 128.7 ± 28.8 cmH₂O for men in non-athlete populations. Although the age ranges and physical activity profiles differ from those of the current sample, their findings support the influence of age, sex, and physical activity level on S-Index performance, corroborating our results.

To date, no reference equation for measuring the S-Index in adults has been proposed in Brazil or globally.⁽²⁷⁾

The thresholds for identifying respiratory muscle weakness in men and women were based on the S-Index Deviation Score (SDS). This parameter reflects the number of standard deviations below the peak mean S-Index and serves as a context-appropriate metric for identifying muscle weakness. Previous studies have used the T-score to establish normative values and define diagnostic criteria for osteoporosis. Notably, the term "T-score" is specifically defined by the World Health Organization in the context of bone mineral density and refers to the number of standard deviations a measurement is from the mean of a young, healthy reference population, typically for diagnosing osteoporosis.^(24,25)

In our study, we applied similar statistical reasoning to define a threshold for inspiratory muscle weakness, using a value corresponding to 2.5 standard deviations below the mean S-Index of the youngest adult group (20-29 years). However, we acknowledge that referring to this value as a "T-score" could be misleading outside the context of bone density. Therefore, we adopted the term "S-Index Deviation Score (SDS)" to distinguish it from the conventional T-score.

We are aware that in the original study by Ana Lista-Paz et al. (2023), the authors applied a T-score threshold of ≥ 2.5 standard deviations below the mean peak pressure achieved by young adults to establish a single absolute cut-off point for respiratory muscle weakness, separately for men and women.⁽²⁶⁾

Table 2. Linear regression models used to develop reference equations for the maximal dynamic inspiratory muscle pressure index (S-Index).

Model	R	R ²	Adjusted R ²	SE of the Estimate	Model Summary				Durbin-Watson			
					R ² Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	Coefficients	Coefficients SE	Standardized Beta
1	0.79 ^a	0.63	10.02	0.63	178.95	2	211	<0.001				
2	0.84 ^b	0.71	0.70	8.91	0.080	56.85	1	210	<0.001	1.76		

HgdUL, hand grip of the dominant upper limb; R, correlation coefficient; R², coefficient of determination; R² Change, change in R-squared; df1, degrees of freedom 1; df2, degrees of freedom 2; Sig. F Change, significance of the change in F; SE of the Estimate, standard error of the estimate; R² Change, change in R-squared; df1, degrees of freedom 1; df2, degrees of freedom 2; Sig. F Change, significance of the change in F.

In contrast, our study adopted a different approach. Rather than determining a single cut-off value, we established a minimum expected value (LLN) for each age group and sex, thereby accounting for physiological variations between men and women as well as the age-related decline in respiratory muscle strength consistently reported in previous studies.^(1,20) By calculating age- and sex-specific thresholds, our methodology offers a more precise and clinically relevant assessment of ventilatory muscle weakness. It reflects the natural changes associated with aging rather than applying a fixed value across all adult age groups. This approach improves diagnostic accuracy and aligns with the growing body of literature emphasizing the need for age- and sex-adjusted reference values for respiratory muscle strength.

The study sample reflected the demographic and anthropometric characteristics of healthy Brazilian adults. Results showed that both the S-Index and MIP can be predicted using anthropometric data and handgrip strength across different age groups. The S-Index values were lower than the MIP values, consistent with the fact that isometric forces are typically greater than those generated during isotonic contractions. Both MIP and S-Index assessments are influenced by various factors, including the pressure gauge, interface, air leaks, posture, test instructions, and examiner encouragement, among others.^(1-3,21,31) Variability in these measurements may also stem from differences in reference values proposed for individuals of the same sex and age.^(20, 33-35)

As mentioned previously, no S-Index reference equations have yet been established for the Brazilian population—a gap this study aimed to address. Using the most widely accepted methodology for MIP reference equations,⁽²⁰⁾ the present study proposes a reference equation for the S-Index that aligns with previous predictions of ventilatory muscle function. Age significantly impacted maximal respiratory pressures, and incorporating handgrip strength (HgdUL) enhanced the associations among sex, age, MIP, and the S-Index. The equation explained 70.4% of the S-Index variance (adjusted R² = 0.704) and significantly improved predictive capacity ($\Delta R^2 = 0.079$; p < 0.001).

In order to better understand the S-Index LLN, both Z-scores and the SDS were calculated for different age and sex groups. While Z-scores are useful for interpreting lung function across aging, they may be less suitable for assessing respiratory muscle function, since strength can be preserved or improved through conditioning or training beyond age-related expectations.^(24-28,32,37) Therefore, defining respiratory muscle weakness using age- and sex-specific cut-offs is more appropriate than applying a fixed MIP threshold (e.g., ≤ 60 cmH₂O), as often used in systematic reviews of inspiratory muscle training.^(39,40) Differences between Z-scores and SDS influence LLN calculation—particularly in older adults, where Z-scores are consistently lower.

Table 3. Lower limits of normality (LLNs) for the maximal dynamic inspiratory muscle pressure index (S-Index; cmH_2O), based on Z-scores and S-Index Deviation Score (SDS) used for cut-off points for ventilatory muscle weakness.

	Sex			
	Female	Male	LLN S-Index, cmH_2O	SDS, cmH_2O
20-29 years	62.79	70.85	86.77	96.81
30-39 years	57.05	64.55	84.18	87.17
40-49 years	56.50	58.12	74.99	75.27
50-59 years	50.08	54.14	68.27	72.27
60-65 years	45.24	48.33	60.80	71.94

LLN, lower limit of normality based on the Z-score, calculated using the formula $\text{LLN} = \text{age-range specific mean} - 1.645 \text{ standard deviation (SD)}$; S-Index Deviation Score (SDS) reflects the number of standard deviations below the peak mean S-Index and serves as a descriptive and context-appropriate metric for identifying muscle weakness.

This study has several strengths, including its large, well-matched sample from two centers, with balanced age and sex distributions. Rigorous inclusion and exclusion criteria minimized confounding factors, such as obesity, smoking, lung or neuromuscular conditions, and physical activity levels. Our structured methodology followed the ATS/ERS 2002 protocol—Brazil's most widely used method for MIP/MEP assessment^(1,2)—and the standardization procedures by Silva et al.^(6,7,9,21) All evaluators were extensively trained, and strict quality control measures were applied during testing and retesting.^(24,36)

Although the sample was not fully randomized due to ethical constraints, recruitment strategies such as outreach via social media and community health centers helped reduce bias. Motivational factors affecting MIP and S-Index performance were also mitigated through proper volunteer guidance.

The analyzed age range (20 to 65 years) may limit the clinical applicability of the reference values—particularly given the aging population and the higher prevalence of respiratory and cardiovascular diseases in individuals over 70 years of age. Nevertheless, the new reference equations and SDS provide improved clinical interpretation of maximal respiratory pressures, helping avoid misdiagnoses of respiratory muscle weakness and refining the selection of candidates for intervention.

Further research is needed to validate these S-Index reference equations in other populations

and to establish cut-off values for respiratory muscle weakness in specific patient groups, such as those with COPD, heart failure, or neuromuscular diseases, among others.

Our study presents the largest dataset of S-Index measurements to date in Brazil, using a standardized methodology aligned with international standards and clinical practice guidelines. We established LLN and S-Index cut-off points for both sexes across different age groups, enabling the identification of respiratory muscle weakness. These findings have significant clinical implications and offer immediate applicability for identifying respiratory muscle weakness and selecting appropriate candidates for targeted training interventions and follow-up.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

LFFR: data collection, writing, editing, descriptive analysis, essay, and translation; CP: data collection, essay, writing, editing, and descriptive analysis; PCDS: data collection, essay, writing and editing; AOMSM: data collection, essay, writing and editing; ACSS: data collection, essay, writing and editing; CPD: data collection, writing, editing, descriptive analysis and translation; FMR: data collection, writing, editing, descriptive analysis and translation; ASF: writing, descriptive analysis, translation and supervision; AJL: writing, descriptive analysis, translation and supervision.

REFERENCES

- American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166:518-624.
- Gouza RB. Pressões respiratórias estáticas máximas. *J Pneumol.* 2002;28(Suppl 3):S155-565.
- Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J.* 2019;53(6):1801214. <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>.
- Minahan C, Sheehan B, Doutreband R, Kikwood T, Reeves D, Cross T. Repeated-sprint cycling does not induce respiratory muscle fatigue in active adults: measurements from the powerbreathe® inspiratory muscle trainer. *J Sport Sci Med.* 2015;14(1):233-8.
- Langer D, Jacome C, Charuszin N, Scheers H, McConnell A, Decramer M, et al. Measurement validity of an electronic inspiratory loading device during a loaded breathing task in patients with COPD. *Respir Med.* 2013;107(4):633-5. doi: 10.1016/j.rmed.2013.01.020.
- Silva PE, Durigan JL, Cipriano G. Maximal Inspiratory Pressure: A Lost Point Trying to Explain a S-Index Function Line Index. *J Sport Sci Med.* 2015;14(4):883-4. PMID: 26664287; PMCID: PMC4657433.
- Silva PE, de Carvalho KL, Frazão M, Maldaner V, Daniel CR, Gomes-Neto M. Assessment of Maximum Dynamic Inspiratory Pressure. *Respir Care.* 2018;63(10):1231-8. <https://doi.org/10.4167/respcares.06058>.
- Romer LM, McConnell AK. Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(2):237-44. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000063111.11111>

- doi.org/10.1249/01.MSS.0000048642.58419.1E.
9. Areias GS, Santiago LR, Teixeira DG, Reis MG. Concurrent Validity of the Static and Dynamic Measures of Inspiratory Muscle Strength: Comparison between Maximal Inspiratory Pressure and G-Index. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2020;35(4):459-64. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2019-0259>.
 10. Pereira MG, Silva AMO, Galhardo FDM, Almeida BDM, Lopes RL, Boin IFGF. Respiratory muscle training with electronic devices in the postoperative period of hepatectomy: A randomized study. *World J Hepatol.* 2023;15(8):688-98. <https://doi.org/10.4254/wjh.v15.i8.688>.
 11. Van Hollebeke M, Poddighe D, Gojovic T, Clerckx B, Muller J, Hermans G, et al. Measurement validity of an electronic training device to assess breathing characteristics during inspiratory muscle training in patients with weaning difficulties. *PLoS One.* 2021;16(8):e0255431. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255431>.
 12. Bazzo-Vanelli RP, Di Lorenzo VAP, Ramalho M, Labadessa IG, Regueiro EMG, Jamami M, et al. Reproducibility of inspiratory muscle endurance testing using PowerBreath for COPD patients. *Physiother Res Int.* 2018;23(1). <https://doi.org/10.1002/pri.1687>.
 13. Lee KB, Kim MK, Jeong JR, Lee WH. Reliability of an Electronic Inspiratory Loading Device for Assessing Pulmonary Function in Post-Stroke Patients. *Med Sci Monit.* 2016;22:191-6. <https://doi.org/10.12659/medsci.895673>.
 14. da Silva Guimarães B, de Souza LC, Cordeiro HF, Regis TL, Leite CA, Puga FP, et al. Inspiratory Muscle Training With an Electronic Resistive Loading Device Improves Prolonged Weaning Outcomes in a Randomized Controlled Trial. *Crit Care Med.* 2021;48(4):889-97. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000004787>.
 15. Heus P, Damen JAAG, Pajouheshnia R, Schotens RJPM, Reitsma JB, Collis GS, et al. Uniformity in measuring adherence to reporting guidelines: the example of TRIPOD for assessing completeness of reporting of prediction model studies. *BMJ Open.* 2019;9(4):e25611. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-025611>.
 16. Matzudo S, Araújo T, Matzudo V, Andrade D, Andrade E, Oliveira LC, et al. International physical activity questionnaire (IPAQ): a study of validity and reliability in Brazil. *Rev Bras Ativ Fis Saúde.* 2001;6(2):5-18. Available from: <https://rbaf.org.br/rbaf/article/view/831>.
 17. Lima TR, Guimarães FG, Neves RG, Menezes GL, Lopes AJ. Sclerodermia: Assesment of posture, balance and pulmonary function in a cross-sectional controlled study. *Clin Biomed (Bristol).* 2015;30(5):438-43. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.03.013>.
 18. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barakatovic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2018 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200(8):e70-e88. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1580ST>.
 19. Pereira CA, Gato T, Rodrigues SC. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. *J Bras Pneumol.* 2007;33(4):397-406. English, Portuguese. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132007000400008>.
 20. Neder JA, Andreoni S, Llerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res.* 1999;32(6):719-27. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x1999000600007>.
 21. Kowalski T, Kusiewicz A. POWERbreath® G-Index Test-guidelines and recommendations for practitioners. *Biomedical Human Kinetics.* 2023;15(1):25-28. <https://doi.org/10.2478/bhk-2023-0026>.
 22. Tabachnick BG, Fidell LG. Using multivariate statistics. 6th ed. Boston: Pearson Education, 1983.
 23. Stanojevic S, Kambitsky DA, Miller MR, Thompson B, Alberti A, Barakatovic I, et al. ERG/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J.* 2022;60(1):2101489. <https://doi.org/10.1183/13990003.01489-2021>.
 24. Dodds RM, Gyddall HE, Cooper R, Benzeval M, Deary IJ, Dennison EM, et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. *PLoS One.* 2014;9(12):e113637. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113637>.
 25. Kanis JA. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. WHO Study Group. *Osteoporos Int.* 1994;4(6):368-81. <https://doi.org/10.1007/BF01622200>.
 26. HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *J Strength Cond Res.* 2013;27(6):1643-63. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826973f>.
 27. Kowalski T, Wilk A, Kusiewicz A, Pawliczek W, Wiecha S, Szczepanska B, et al. Reference values for respiratory muscle strength measured with the G-Index Test in well-trained athletes, e-sports athletes and age-matched controls. *Exp Physiol.* 2024. <https://doi.org/10.1113/EP081938>.
 28. Efthathiou ID, Marvou IP, Grigoriadis KE. Correlation Between Maximum Inspiratory Pressure and Hand-Grip Force in Healthy Young and Middle-Age Individuals. *Respir Care.* 2016;61(7):925-9. <https://doi.org/10.4187/respcare.04319>.
 29. Souza TAC, Jucu K, Cavenaghi OM, Mello JRC, Femeira LL. Correlation of functional capacity, respiratory muscle strength, and hand grip strength in liver transplant candidates. *Clin Biomed Res.* 2023;4(2). <https://doi.org/10.22481/2357-9730.123704>.
 30. Widodo AF, Tien CW, Chen CW, Lai SC. Isotonic and Isometric Exercise Interventions Improve the Hamstring Muscles' Strength and Flexibility: A Narrative Review. *Healthcare (Basel).* 2022;10(5):811. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050811>.
 31. Evans JA, Whitelaw WA. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respir Care.* 2009;54(10):1348-59. PMID: 19796415.
 32. de Oliveira FTO, Petto J, Esquivel MS, Diaz CMCC, Oliveira ACS, Araújo R. Comparison of the strength and resistance of inspiratory muscles between active and sedentary people. *J Physiother Res.* 2018;8(2):223-9. <https://doi.org/10.17267/2238-2704pt.v82.1926>.
 33. Costa D, Gonçalves HA, Lima LP, Iki D, Cancelliere KM, Montebelo MI. New reference values for maximal respiratory pressures in the Brazilian population. *J Bras Pneumol.* 2010;36(3):306-12. English, Portuguese. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132010000300007>. Erratum in: *J Bras Pneumol.* 2010 Oct;36(5):667. PMID: 20625667.
 34. Pessoa IM, Houri Neto M, Montemezzo D, Silva LA, Andrade AD, Paimira VF. Predictive equations for respiratory muscle strength according to international and Brazilian guidelines. *Braz J Phys Ther.* 2014;18(5):410-8. <https://doi.org/10.1590/bjpt-bf.2014.0044>.
 35. Simões RP, Deus AP, Auaad MA, Dionizio J, Mazzonetto M, Borghi-Silva A. Maximal respiratory pressure in healthy 20 to 89 year-old sedentary individuals of central São Paulo State. *Rev Bras Fisiol.* 2010;14(1):60-7. <https://doi.org/10.1590/s1413-35552010000100010>.
 36. Lliza-Paz A, Langer D, Barral-Fernández M, Quintela-Del-Rio A, Gimeno-Garcia E, Arbillaga-Etxaniz A, et al. Maximal Respiratory Pressure Reference Equations in Healthy Adults and Cut-off Points for Defining Respiratory Muscle Weakness. *Arch Bronconeumol.* 2023;59(12):813-20. English, Spanish. <https://doi.org/10.1016/j.arch.2023.08.016>.
 37. Roldán A, Forte A, Monteagudo P, Cordellat A, Monfener-Marin J, Blasco-Lafarga C. Determinants of dynamic inspiratory muscle strength in healthy trained elderly. *Postgrad Med.* 2021;138(7):807-16. <https://doi.org/10.1080/00325481.2021.1945761>.
 38. Bahar G, Tufan A, Oztaya H, Tufan F, Alpinar TG, Akin S, et al. Relation between hand grip strength, respiratory muscle strength and spirometric measures in male nursing home residents. *Aging Male.* 2014;17(3):136-40. <https://doi.org/10.3109/13685538.2014.936001>.
 39. Gosselink R, De Vos J, van den Heuvel GP, Gegerz J, Decramer M, Kvaal K. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J.* 2011;37(2):416-25. <https://doi.org/10.1183/09031936.00031810>.
 40. Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reyhle G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J.* 2018;12(7):2178-88. <https://doi.org/10.1111/crj.12905>.