

# Mestrado Profissional associado à residência médica

# MEPAREM



## **Avaliação ultrassonográfica da atrofia diafragmática induzida pela ventilação mecânica em pacientes pediátricos**

Mestranda: Rafaela Catelan Martins Pereira

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joelma Gonçalves Martin

Prof. Dr. Fábio Joly Campos



**Programa de Pós-Graduação em Medicina**

Mestrado Profissional Associado à Residência Médica

FMB - UNESP

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**  
**Faculdade de Medicina de Botucatu**  
**Programa de Pós-Graduação em Medicina**  
**Mestrado Profissional associado à Residência Médica-MEPAREM**

**Título:**

**Avaliação ultrassonográfica da atrofia diafragmática induzida pela ventilação mecânica em pacientes pediátricos**

**Autores:**

**Mestranda:** Rafaela Catelan Martins Pereira

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joelma Gonçalves Martin

**Coorientador:** Prof. Dr. Fábio Joly Campos

**Editoração e Diagramação:**

Rafael Victor Francisco e Silva – **Staepe - FMB/Unesp**

**Coordenação do MEPAREM:**

**Coordenadora:** Profa. Associada Silméia Garcia Zanati Bazan

**Vice-Coordenadora:** Profa. Associada Maria Regina Bentlin

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU – UNESP  
Bibliotecária Responsável: **Ana Clara Gatto – CRB 8/10577**

Pereira, Rafaela Catelan Martins

Avaliação ultrassonográfica da atrofia diafragmática induzida pela ventilação mecânica em pacientes pediátricos [recurso eletrônico] / Rafaela Catelan Martins Pereira, Joelma Gonçalves Martin, Fábio Joly Campos. - Botucatu : NEAD.TIS/FMB, 2025.

Ebook

Mestrado Profissional associado à Residência Médica - MEPAREM

ISBN 9786550670801

1. Ventilação mecânica (Terapia). 2. Atrofia muscular. 3. Ultrassonografia. 4. Diafragma – Lesões. 5. Pediatria. I. Martin, Joelma Gonçalves. II. Campos, Fábio Joly. III. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina, Botucatu. IV. Título.

CDD 618.9209

**2025**

[2]

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS DO ESTUDO .....</b>	<b>5</b>
<b>METODOLOGIA DO ESTUDO.....</b>	<b>5</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>6</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>13</b>

## INTRODUÇÃO

A ventilação mecânica (VM) é um tratamento crucial para crianças gravemente doentes, mas pode levar à disfunção diafragmática (DD), uma condição caracterizada como perda da capacidade do diafragma de gerar força, juntamente com lesão muscular e atrofia das fibras, levando à diminuição da capacidade inspiratória e da resistência dos músculos respiratórios. A disfunção diafragmática induzida pelo ventilador (VIDD) pode ocorrer já nas primeiras 12 a 24 horas de VM, causando atrofia muscular e danos celulares, como estresse oxidativo e acúmulo de lipídios (Zambon et al, 2016, Dres et al 2017 e Montoro et al, 2021). Essa disfunção dificulta o desmame da VM, prolonga a internação na UTI e aumenta a morbimortalidade.

O diagnóstico da VIDD é desafiador devido à dificuldade das técnicas atuais. No entanto, a ultrassonografia diafragmática (USD) surge como uma alternativa promissora. É um método não invasivo, rápido, de baixo custo e que permite avaliar a anatomia e função do diafragma em tempo real, à beira do leito (Goligher et al 2015).

Embora a USD seja bem estabelecida em adultos para monitorar a espessura diafragmática, em crianças ainda há poucos estudos (Weber, et al 2021). Não existem valores de referência ou técnicas padronizadas para diagnosticar a VIDD em pediatria.

## OBJETIVOS DO ESTUDO

Este estudo visa investigar a reprodutibilidade das técnicas de medição da espessura diafragmática em crianças após treinamento prático-teórico, buscando documentar a atrofia diafragmática e sua relação com o tempo em ventilação mecânica. O objetivo é fornecer ferramentas mais eficazes para o cuidado de pacientes pediátricos críticos.

## METODOLOGIA DO ESTUDO

Este estudo, conduzido em uma UTI pediátrica universitária de Botucatu - SP, é um ensaio prospectivo observacional analítico unicêntrico realizado entre outubro de 2023 e maio de 2024 que buscou avaliar a atrofia diafragmática em pacientes pediátricos sob ventilação mecânica (VM).

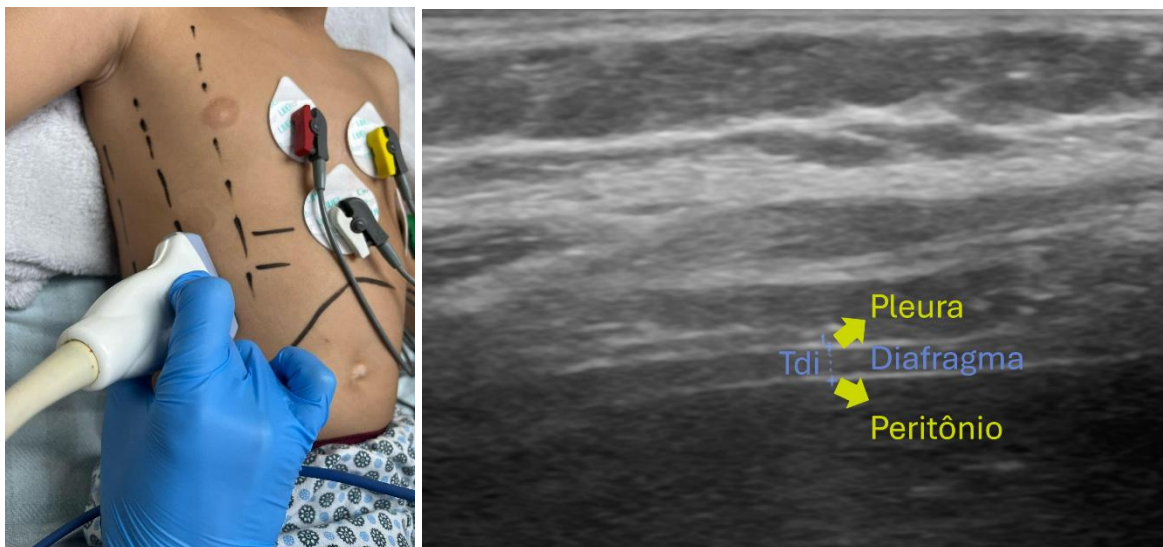
### Participantes e Coleta de Dados

Foram incluídos pacientes de 29 dias a 15 anos incompletos em VM por no mínimo 24 horas, excluindo-se aqueles com doenças neuromusculares ou desnutrição grave. Os dados clínicos, como idade, sexo, comorbidades, tempo de VM e uso de medicamentos, foram coletados do prontuário eletrônico.

### Metodologia de Avaliação

A espessura diafragmática (Tdi) foi medida por meio de ultrassonografia portátil (GE VIVID e com transdutor linear de 7-13 MHz). As medições foram realizadas em dois momentos: no início da VM (até 24 horas) e entre 24 e 48 horas de VM. Para garantir a confiabilidade, dois avaliadores distintos, previamente treinados e aprovados em exames supervisionados, realizaram as medições de forma independente em cada paciente, sem acesso aos resultados um do outro. O diafragma foi visualizado na zona de aposição (entre o 8° e 10° espaços intercostais, nas linhas axilares), e a Tdi foi aferida entre a pleura parietal e peritoneal ao final da expiração, conforme demonstra a figura 1 abaixo

(Boon, et al 2013). Foram feitas três aferições repetidas em cada lado para verificar a reprodutibilidade.



**Figura 1:** A) Região anatômica de identificação da ZA (imagens do autor). B) Espessura diafragmática (Tdi) medida pelo modo B, visto como uma estrutura de três camadas (imagem do autor).

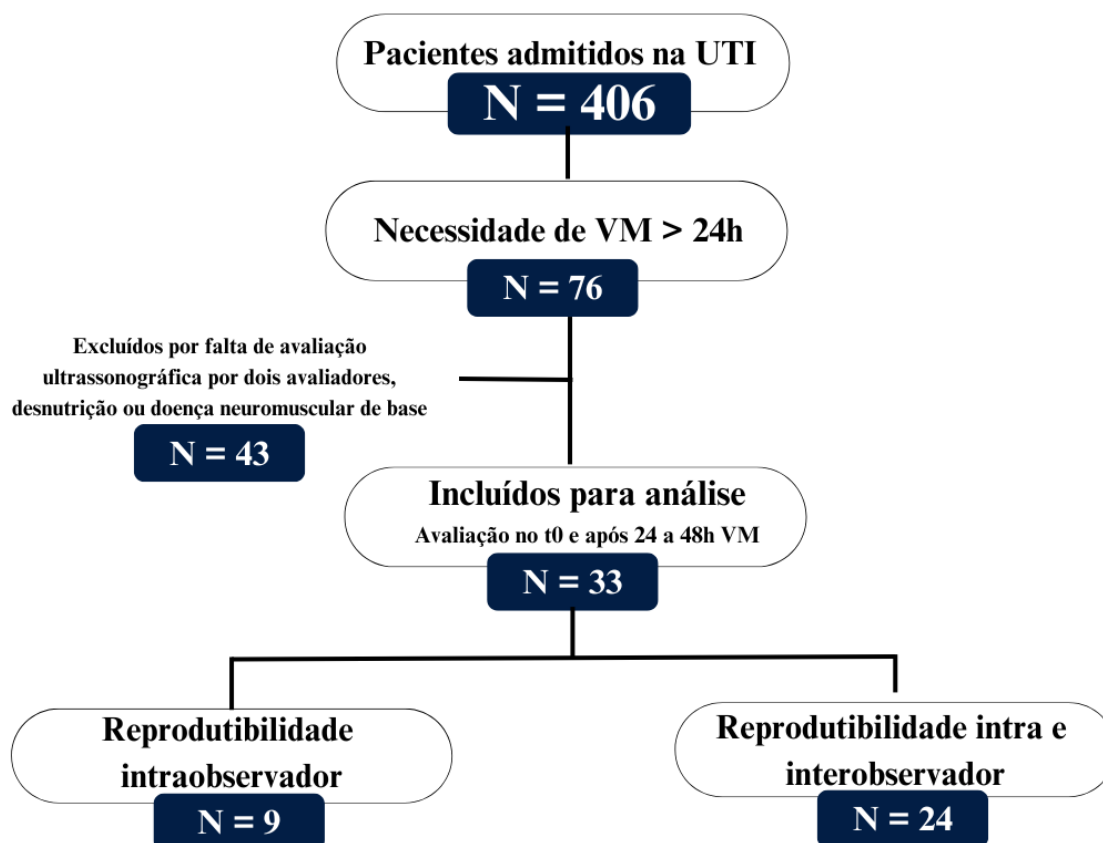
### **Análise Estatística**

Os dados foram analisados anonimamente, utilizando estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana, frequências). A confiabilidade intra e interobservadores da Tdi foi avaliada por teste t-pareado e coeficiente de correlação intraclassa (ICC). A comparação da Tdi entre os dois momentos de aferição foi feita por teste t-pareado, e a correlação entre a atrofia e o tempo de VM foi analisada pelo coeficiente de correlação de Pearson. A influência das características clínicas na variação da espessura foi verificada por ANOVA, seguida do teste de Tukey. O nível de significância foi fixado em 5%.

## **RESULTADOS**

De 406 pacientes admitidos na UTI pediátrica durante o estudo, 76 (18,7%) precisaram de ventilação mecânica por mais de 24 horas e foram considerados elegíveis. Após a exclusão de pacientes com doenças neuromusculares, desnutrição e aqueles sem duas avaliações ultrassonográficas, 33 pacientes foram submetidos à avaliação diafragmática,

totalizando 519 exames de imagem. Destes 33, nove não puderam ser avaliados por dois profissionais e, portanto, foram excluídos da análise de consistência interobservador.



A amostra do estudo foi composta por 33 pacientes pediátricos em ventilação mecânica, sendo a maioria (66,7%) do sexo masculino, com idade média de 3 anos e 8 meses. Embora 17 pacientes fossem hígidos, a maioria apresentava ao menos uma comorbidade, como sibilância recorrente, encefalopatia crônica não progressiva e cardiopatias congênitas. A insuficiência respiratória aguda foi a principal causa de internação e indicação de VM, seguida por pós-operatório e sepse. O tempo médio de internação na UTI foi de 8 dias.

### **Terapia Farmacológica e Modos Ventilatórios**

A maioria dos pacientes (87,8%) recebeu uma combinação de sedoanalgésicos, principalmente midazolam e fentanil. Cerca de 40% estavam em uso de corticosteroides, indicados principalmente para problemas

respiratórios. O modo ventilatório mais comum no início do estudo foi o assistido controlado à pressão (81,8%).

### Avaliação Diafragmática e Atrofia

A espessura diafragmática (Tdi) foi medida por ultrassonografia, com valores médios de 0,15 cm. A análise demonstrou alta consistência nas medições tanto entre diferentes avaliadores quanto para o mesmo avaliador, com valores altos de coeficientes de correlação intraclasse, confirmando a reprodutibilidade da técnica. Conforme tabelas abaixo.

**Tabela 1** - Comparação de concordância de aferição interobservador no t0 para os dois avaliadores (N= 24)

Variável	Avaliador 1 (N = 24)		Avaliador 2 (N = 24)		Valor de p	ICC
	Média	DP	Média	DP		
<b>Lado direito</b>						
Aferição 1	0,16	0,03	0,16	0,04	1	0,804
Aferição 2	0,16	0,03	0,16	0,04	0,7536	0,760
Aferição 3	0,16	0,03	0,15	0,03	0,438	0,744
<b>Lado esquerdo</b>						
Aferição 1	0,15	0,03	0,15	0,03	0,3136	0,850
Aferição 2	0,15	0,03	0,15	0,03	0,7023	0,802
Aferição 3	0,15	0,03	0,15	0,03	0,8507	0,859

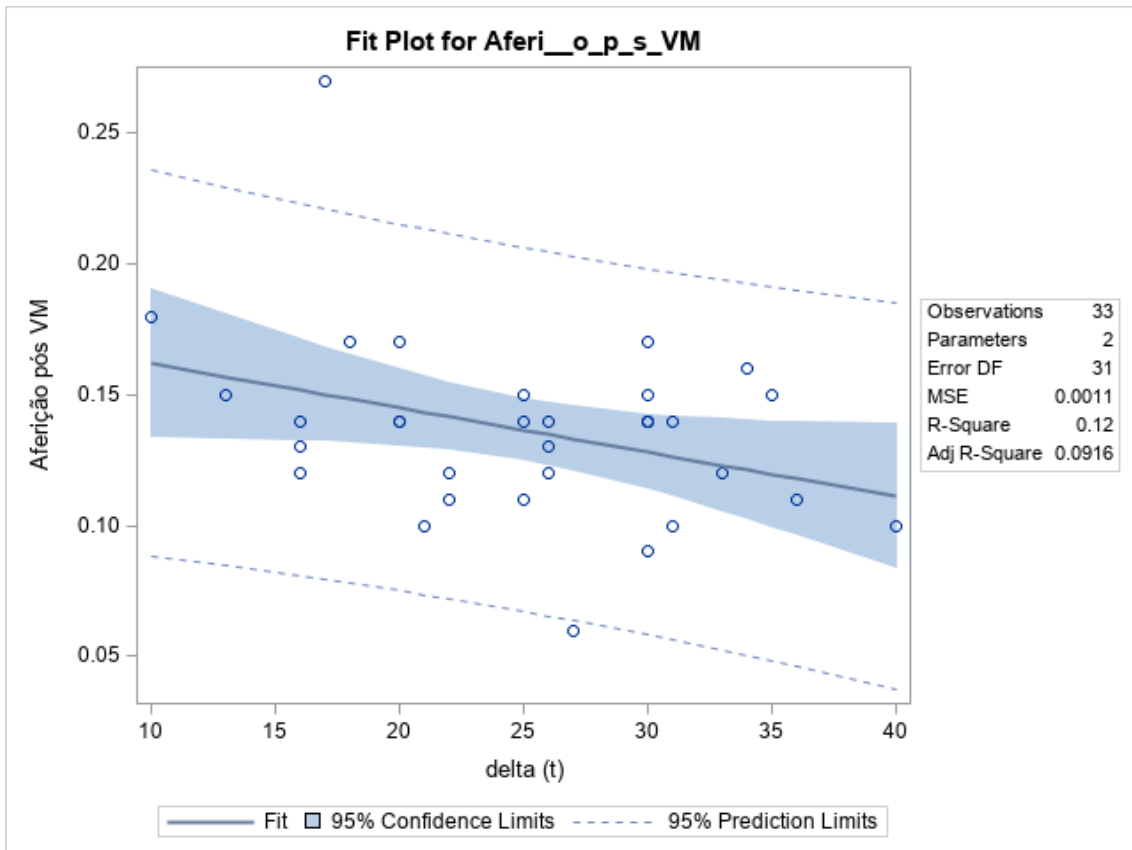
ICC: coeficiente de correlação intraclasse.

**Tabela 2** - Comparação de concordância de aferição intraobservador no t0 para os dois avaliadores.

Concordância intraobservador	Avaliador 1 (N=33)			Avaliador 2 (N=24)	
	Aferição	Valor de p	ICC	Valor de p	ICC
Lado direito	1 x 2	0,4021	0,929	0,9239	0,920
	1 x 3	0,8435	0,921	0,6339	0,862
	2 x 3	0,3738	0,965	0,4238	0,939
Lado esquerdo	1 x 2	0,1778	0,917	0,7495	0,882
	1 x 3	0,2393	0,896	0,7881	0,928
	2 x 3	0,9125	0,931	0,5641	0,894

ICC: coeficiente de correlação intraclassa.

Ao comparar a Tdi no início da VM e após 24-48 horas, observou-se uma atrofia diafragmática significativa ( $p=0.0009$ ), com uma taxa de atrofia de 11,5%. Além disso, foi encontrada uma relação negativa entre a espessura final do diafragma e o tempo de ventilação mecânica (coeficiente de correlação de Pearson =  $-0,34638$ ;  $p = 0,0483$ ), indicando que quanto maior o tempo em VM, maior a atrofia.



**Figura 2** - Taxa de atrofia diafragmática (aferição pós VM, em cm) e tempo (delta t, em horas). Linha de regressão com ICs de 95% (linhas pontilhadas).

Nenhuma das variáveis clínicas analisadas demonstrou relação positiva isolada com a atrofia diafragmática.

## DISCUSSÃO

Este estudo traz dois achados importantes: a reprodutibilidade da ultrassonografia para medir a espessura do diafragma em crianças por diferentes avaliadores e a confiabilidade das medições feitas por um mesmo avaliador. Isso é crucial para avaliar a função diafragmática e identificar a disfunção diafragmática induzida pelo ventilador (VIDD), que neste estudo se mostrou relacionada positivamente com o tempo em ventilação mecânica (VM).

A literatura já demonstra que um treinamento prático adequado é suficiente para a realização da ultrassonografia diafragmática (Boussuges et al, 2009, Baldwin et al, 2011; Viver et al, 2012; Umbrello et al, 2015; Zambom et al, 2016; Santana et al, 2020). Este estudo utilizou um curso teórico-prático com cinco medições supervisionadas, garantindo a capacitação dos avaliadores, inclusive para a população pediátrica, onde não havia estudos de reprodutibilidade até então. Ao contrário da preferência por medições no lado direito em adultos, este estudo não encontrou diferenças entre a avaliação do diafragma direito e esquerdo em crianças (Goligher et al, 2015).

A VIDD é um fenômeno conhecido em adultos, com estudos mostrando atrofia diafragmática de até 6% ao dia nas primeiras 24 a 72 horas de VM (Grosu et al, 2012). Em crianças, a pesquisa ainda é incipiente, mas este estudo encontrou uma taxa de atrofia de 11,5%, com o processo de atrofia sendo precoce e diretamente relacionado ao tempo de VM.

### **Fatores Relacionados e Limitações**

Embora a atrofia seja evidente, este estudo não conseguiu correlacionar a atrofia diafragmática com nenhuma característica clínica específica dos pacientes. A literatura sugere que fatores como o uso de bloqueadores neuromusculares, corticosteroides e modos ventilatórios podem influenciar a atrofia, mas essas relações não foram consistentemente observadas aqui, possivelmente devido à variabilidade nas doses e tipos de corticosteroides usados (Weber et al, 2021; Yao et al, 2024; Xue et al, 2020). O modo ventilatório predominante foi o assistido controlado à pressão, e embora modos

espontâneos possam ser protetores contra a atrofia, a literatura ainda não tem um consenso sobre isso.

Ainda há muito a ser compreendido sobre o prognóstico da atrofia diafragmática em pacientes pediátricos e seus fatores predisponentes.

## **CONCLUSÃO**

Este estudo demonstra a reprodutibilidade da aferição da espessura diafragmática, intraobservador e entre diferentes observadores realizada por profissionais após um treinamento rápido, simples e objetivo quanto a técnica de aferição, sendo capaz de identificar uma taxa de atrofia diafragmática no paciente pediátrico em ventilação mecânica.

Destacamos como pontos fortes em nosso estudo tratar-se de um dos pioneiros a serem realizados no Brasil envolvendo a população pediátrica, num serviço terciário de saúde e centro de ensino, corroborando com o que tem demonstrado a literatura mundial acerca do uso do US a beira leito como ferramenta indispensável para análise global do paciente crítico pediátrico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

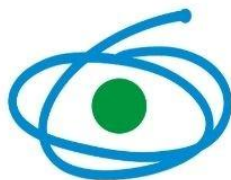
1. Baldwin CE, Paratz JD, Bersten AD. Diaphragm and peripheral muscle thickness on ultrasound: intra-rater reliability and variability of a methodology using non-standard recumbent positions. *Respirology*. 2011;16(7):1136-1143. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2011.02005.x>
2. Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS, Strommen JA, Watson JC, Sorenson EJ. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: quantitative values in normal subjects. *Muscle Nerve*. 2013;47(6):884-889. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mus.23702>
3. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009;135(2):391-400. Disponível em: <https://doi.org/10.1378/chest.08-1541>
4. Dres M, Dubé BP, Mayaux J, Delemazure J, Reuter D, Brochard L, et al. Coexistence and impact of limb muscle and diaphragm weakness at time of liberation from mechanical ventilation in medical intensive care unit patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195(1):57-66. Disponível em: <https://doi.org/10.1164/rccm.201602-0367OC>
5. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med*. 2015;41:642-649. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00134-015-3687-3>

6. Grosu HB, Lee YI, Lee J, Eden E, Eikermann M, Rose KM. Diaphragm muscle thinning in patients who are mechanically ventilated. *Chest*. 2012; 142(6):1455–1460. Disponível em: [10.1378/chest.11-1638](https://doi.org/10.1378/chest.11-1638)
  
7. Montoro DV, Soler PG, Yuste AH, Alonso JM. Ultrasound assessment of ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in mechanically ventilated pediatric patients. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2021; 40: 58–64. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2020.12.002>
  
8. Santana PV, Cardenas LZ, De Albuquerque AL, De Carvalho CP, Caruso P. Ultrassonografia diafragmática: uma revisão de seus aspectos metodológicos e usos clínicos. *J Bras Pneumol*. 2020;46(6):e20200064. Disponível em: <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064>
  
9. Umbrello M, Formenti P, Longhi D, Galimberti A, Piva I, Pezzi A, et al. Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study. *Crit Care*. 2015;19(1):161. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0894-9>
  
10. Vivier E, Mekontso Dessap A, Dimassi S, Vargas F, Lyazidi A, Thille AW, Brochard L. Ultrassonografia de diafragma para estimar o trabalho respiratório durante a ventilação não invasiva. *Intensive Care Med*. 2012;38:796–803. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2547-7>
  
11. Weber MD, Lim JK, Glau C, Conlon T, James R, Lee JH. A narrative review of diaphragmatic ultrasound in pediatric critical care. *Pediatric Pulmonology*. 2021 Aug; 56 (8): 2471-2483. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ppul.25518>

12. Xue Y, Yang, CF, Ao Y, et al. Um estudo observacional prospectivo em crianças gravemente doentes com disfunção diafragmática: resultados clínicos e fatores de risco. *BMC Pediatr* 2020; 20, 422. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12887-020-02310-7>

13. Yao Y, Guo X, Liu Y, et al. Associação da disfunção diafragmática com a duração da ventilação mecânica em pacientes na unidade de terapia intensiva pediátrica: um estudo de coorte prospectivo. *BMC Pediatr*. 2024; 24, 607. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12887-024-05092-4>

14. Zambon M, Beccaria P, Matsuno J, Gemma M, Frati E, Colombo S, et al. Mechanical ventilation and diaphragmatic atrophy in critically ill patients: an ultrasound study. *Crit Care Med*. 2016 Jul;44(7):1347-52. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001657>



**CAPES**

Coordenação de  
Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior

ISBN: 978-65-5067-080-1

CDL



9 786550 670801

**unesp**   
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**Programa de Pós-Graduação em Medicina**  
Mestrado Profissional Associado à Residência Médica  
FMB - UNESP