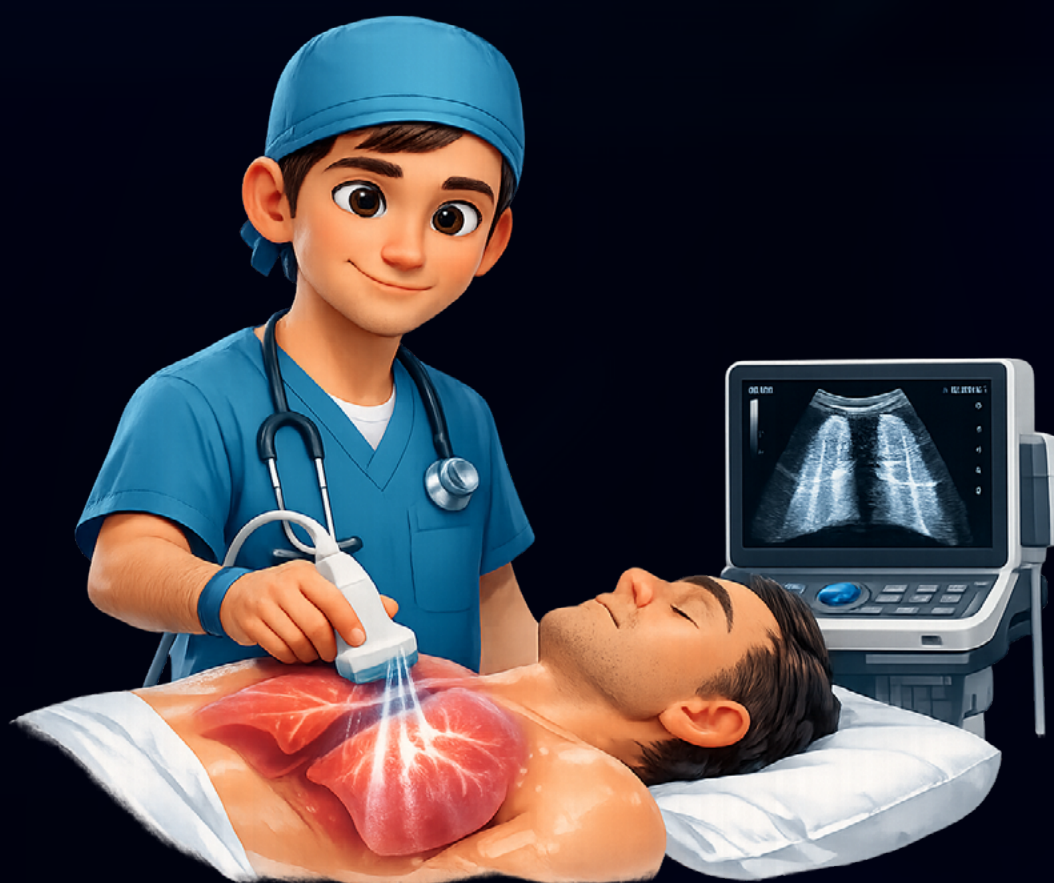




ULTRASSONOGRAFIA

PULMÃO E DIAFRAGMA



ANEST-REVIEW

MED-REVIEW GROUP



ULTRASSONOGRAFIA PULMONAR

PREPARAÇÃO

SONDA/TRANSDUTOR

O transdutor ideal deve ser pequeno e possuir extremidade convexa, de modo que possa ser posicionado facilmente nos espaços intercostais, além de ter uma frequência de emissão entre 5 e 8 MHz. Por isso, idealmente, deveríamos usar um **transdutor microconvexo**.¹

O termo “micro” refere-se ao diâmetro reduzido da cabeça do transdutor, que costuma variar entre 10 e 15 mm, permitindo fácil manipulação em áreas anatômicas restritas. Infelizmente, esse não é um transdutor tão comum na maioria dos hospitais.

O **transdutor linear** é caracterizado por operar em altas frequências (tipicamente entre 7,5 a 15 MHz), proporcionando elevada resolução espacial, às custas de baixa penetração tecidual. Esse perfil possibilita excelente definição da linha pleural e artefatos mais proximais. Também é ideal para investigar pneumotórax, mas é menos adequado para o estudo parênquima pulmonar profundo.²

A capacidade de penetração limitada do transdutor linear dificulta a visualização de alterações profundas, como consolidações pulmonares ou atelectasias localizadas a mais de alguns centímetros da parede torácica.

O **transdutor convexo** (com frequência entre 2 e 5 megahertz), como os usados para ultrassonografia abdominal, possibilita boa visualização do tecido pulmonar.¹

Assim, quando o assunto é ultrassonografia pulmonar, existe um consenso quanto ao uso preferencial de transdutores lineares para avaliação de estruturas superficiais e de transdutores convexos para avaliação de áreas mais profundas, consolidações extensas e derrames pleurais volumosos.

O **transdutor setorial** tradicionalmente utilizado em exames do coração, trabalha em frequências mais baixas (2-5 MHz), reduzindo a acurácia para avaliação detalhada da linha pleural e de artefatos pulmonares periféricos, quando comparado ao transdutor linear. Pode fornecer imagens adequadas do parênquima pulmonar.

Na Prática

Na ausência do transdutor microconvexo, uma estratégia racional é utilizar o transdutor linear para avaliação da região anterior do pulmão – onde priorizamos os artefatos da pleura, e o transdutor convexo para a região posterior – mais utilizada para avaliação de parênquima.

TRANSDUTOR MICROCONVEXO



TRANSDUTOR LINEAR



TRANSDUTOR CONVEXO



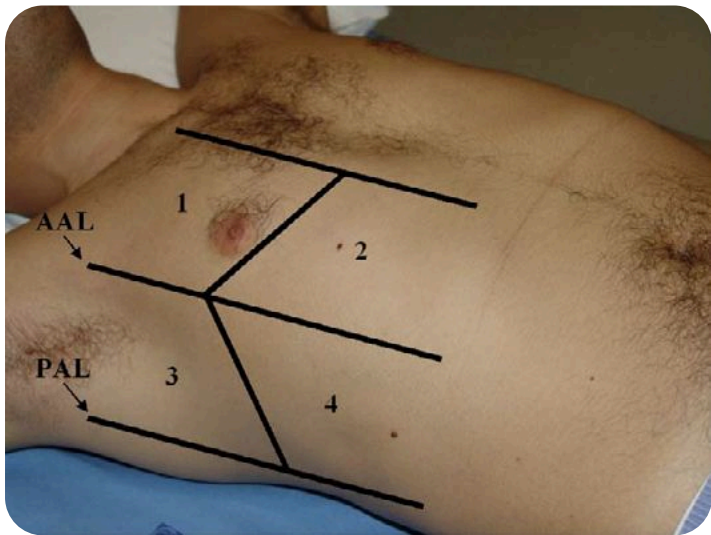
DIVISÃO DA CAIXA TORÁCICA

A avaliação sonográfica deve ser feita sempre bilateralmente e a região examinada costuma ficar entre o 2º e o 4º espaço intercostal à esquerda e entre o 2º e o 5º espaço intercostal à direita.

Diversos autores propõem diferentes métodos de segmentação torácica, que variam desde abordagens simples até protocolos mais complexos.

Não se preocupe em memorizar nada aqui. Colocamos alguns exemplos apenas para conhecimento da existência dessas estratégias!

Um dos padrões mais citados para a avaliação do tórax anterior é o de Volpicelli, que divide a superfície torácica em quatro áreas: áreas 1 e 2 correspondem aos segmentos anterior superior e anterior inferior; áreas 3 e 4 referem-se às regiões lateral superior e lateral basal. Os marcos anatômicos utilizados incluem a linha axilar anterior (AAL) e a linha axilar posterior (PAL):³



Áreas 1 e 2: anterior superior e anterior inferior; áreas 3 e 4: lateral superior e lateral basal.AAL, linha axilar anterior; PAL, linha axilar posterior.

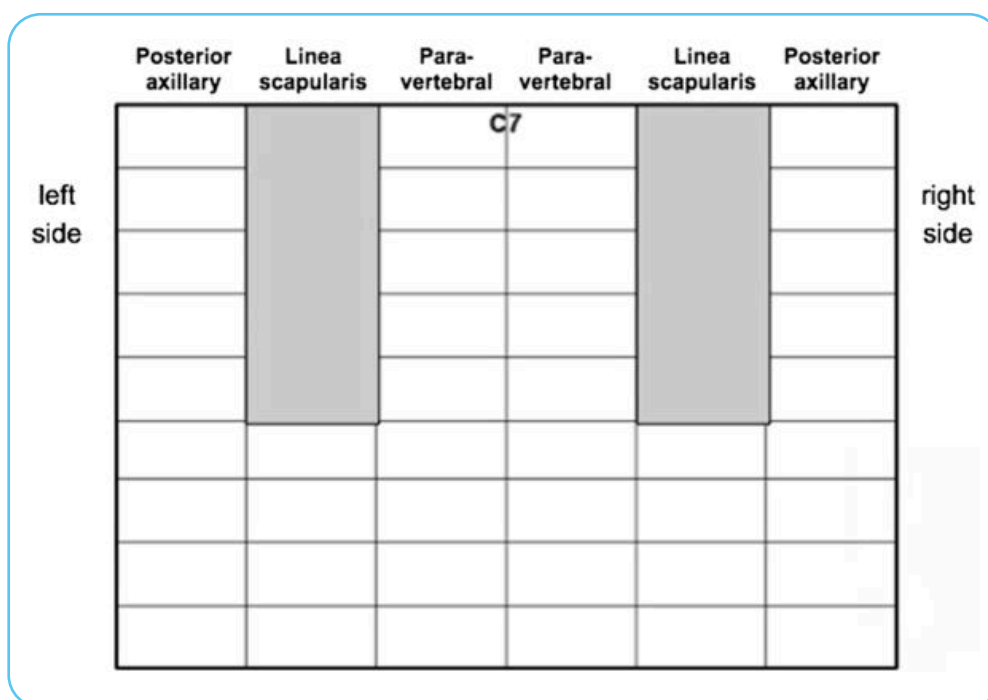
Alternativamente, um registro mais pormenorizado pode ser feito da seguinte maneira:³

right side

Mid-axillary	Anterior axillary	Mid-clavicular	Para-sternal	Inter-costal space	Para-sternal	Mid-clavicular	Anterior axillary	Mid-axillary
				II				
				III				
				IV				
				V				

left side

Para uma avaliação abrangente do tórax posterior, um esquema similar é descrito por Gargani et al:³



Finalmente, é recomendável realizar a varredura dos **ângulos costofrênicos** em ambos os lados durante o exame ultrassonográfico pulmonar, avaliando também o chamado “**sinal da cortina**”. Esse sinal corresponde ao movimento do pulmão, que cobre e oculta o órgão subdiafragmático durante a inspiração — o fígado à direita ou o baço à esquerda.³



Observe a interposição do pulmão durante a inspiração, obstruindo parcialmente a visão do baço (spleen).³

Essa região é o local onde pode ser detectada a presença de líquido livre na cavidade pleural. Inclusive, a identificação de derrame pleural constitui a aplicação mais consolidada da ultrassonografia pulmonar.

Felizmente, a maioria dos diagnósticos pode ser alcançada com um esquema de avaliação muito mais simples, limitados a apenas três pontos em cada hemitórax.

Por isso, sugerimos enfaticamente que você não sofra tentando memorizar excessivamente complexos para a segmentação torácica. Ao longo deste texto, será apresentada uma abordagem prática e direta, que alcança o sucesso diagnóstico em 90% das situações de insuficiência respiratória aguda.

POSICIONAMENTO DO PACIENTE

- **Hemitórax anterior:** A posição supina é ideal.³
- **Hemitórax lateral:** A avaliação pode ser realizada na posição semi-supina, colocando o paciente em decúbito lateral esquerdo para examinar as linhas axilares direitas e em decúbito lateral direito para examinar as linhas axilares esquerdas.³
- **Hemitórax posterior:** A posição ideal é com o paciente sentado na cama, de costas para o operador.³

Apesar destas recomendações, é possível fazer o exame completo apenas na posição supina, quando a mobilização do paciente não for viável.¹ Nessas situações, o uso de transdutores pequenos, que possam ser melhor posicionados entre o leito e o paciente, pode proporcionar melhor desempenho no exame.³

O QUE ESPERAR DE UM PULMÃO NORMAL

EXAMINANDO O INVISÍVEL

A visualização adequada do parênquima pulmonar por ultrassom apresenta limitações devido às propriedades físicas do tecido pulmonar normal.

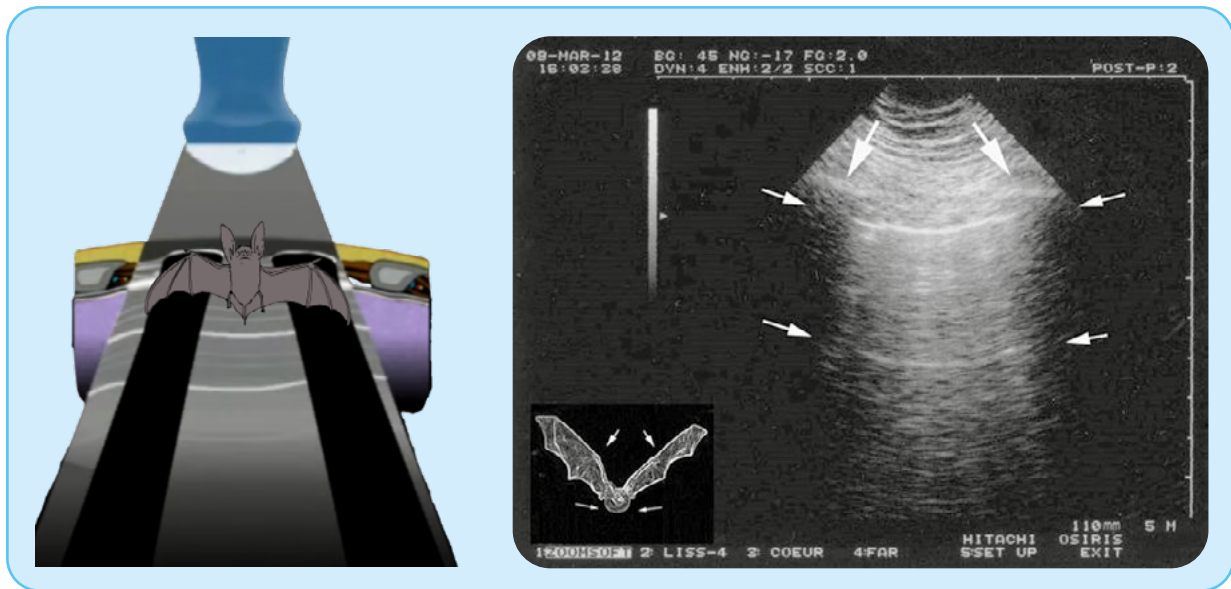
Enquanto a ultrassonografia é excelente para avaliar tecidos densos e homogêneos (como fígado e rim), o pulmão repleto de ar impede a transmissão e a geração de imagens nítidas do tecido pulmonar propriamente dito.

Graças a isso, o estudo ultrassonográfico do pulmão é baseado quase integralmente na presença ou ausência de artefatos – distorções da imagem – classicamente descritos na literatura. São esses artefatos que nos permitem inferir diagnóstico de patologias respiratórias na avaliação point-of-care do pulmão.

JANELA ACÚSTICA NORMAL

O transdutor deve ser posicionado no espaço intercostal, de modo a evitar a obstrução acústica imposta pelas costelas. A orientação do transdutor pode ser longitudinal, transversa ou levemente oblíqua; contudo, a abordagem mais consagrada consiste no posicionamento **longitudinal**, com o transdutor alinhado paralelamente à linha média corporal.

Nessa orientação, o examinador deve procurar o **sinal do morcego**, que define o ponto de partida da avaliação pulmonar e é formado por dois elementos anatômicos:

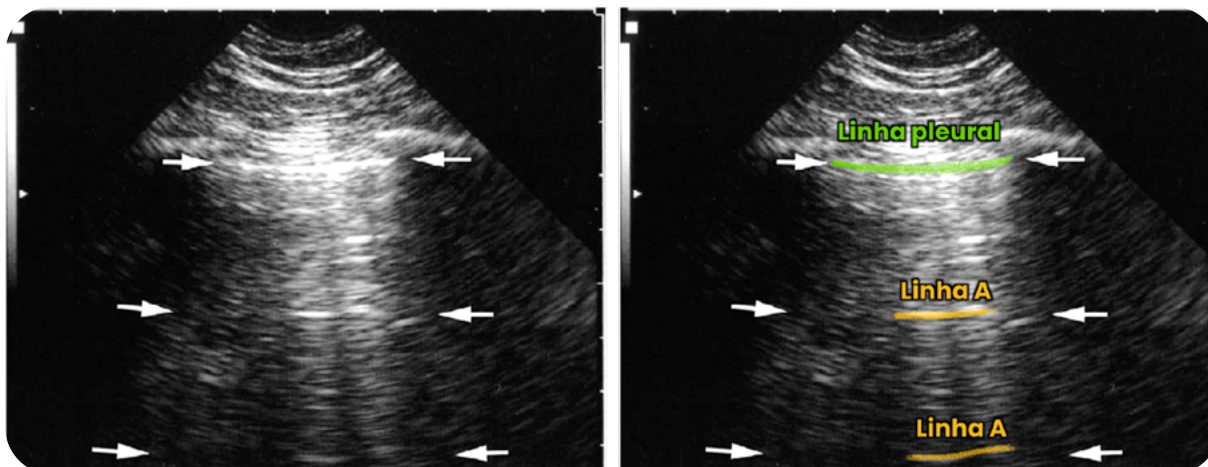


→ **As sombras acústicas das costelas adjacentes (setas verticais)**, que aparecem como duas áreas escuras e arredondadas, formando as “asas” do morcego.

→ **Linha pleural (setas horizontais superiores)**: localizada entre as costelas, cerca de meio centímetro abaixo destas e aparece como uma linha brilhante contínua e horizontal, correspondendo ao “corpo” do morcego. Nos adultos, localiza-se cerca de 0,5 cm abaixo da linha das costela.

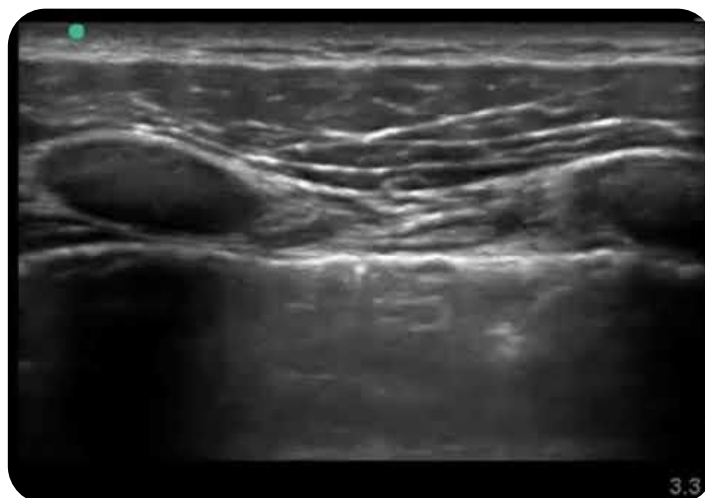
As setas inferiores da imagem estão apontando para as Linhas A - linhas horizontais, hiperecogênicas, repetitivas e equidistantes entre si, que surgem abaixo da linha pleural. Elas se formam por reflexão reverberante da interface entre o transdutor e a pleura, retornando ao transdutor de forma repetida, produzindo ecos paralelos à superfície cutânea.

- A distância entre a linha pleural e a primeira linha A é igual à distância entre a pele e a linha pleural. As linhas A são igualmente espaçadas entre si.
- O número dessas linhas não tem relevância clínica significativa.



Apesar de serem típicas do pulmão normal, as linhas A também pode aparecer no **pneumotórax**, já que ambos os cenários envolvem a presença de ar abaixo da pleura, seja fisiológico (alvéolos normais) ou patológico (ar livre pleural). Assim, a linha A indica ar, mas não distingue entre as duas situações. Também pode estar presente em paciente com **DPOC, asma ou embolia pulmonar**.

Outro achado importante e que deve ser sempre pesquisado é o movimento de vai e vem que pode ser observado na linha pleural. Esse o movimento representa o deslizamento entre a pleura visceral e a pleura parietal e é chamado de **Lung Sliding ou Deslizamento Pleural**:



No modo Modo-M pode ser visto o “**sinal da praia**”. O tecido imóvel acima da linha pleural aparece com um desenho estratificado e o tecido abaixo da pleura, móvel, assume um padrão arenoso (granular). O sinal da praia pode ser considerado como um “equivalente” do lung sliding:⁴



CURIOSIDA DEX

Modo M

O modo M (de “**movimento**”) é um tipo especial de imagem no exame de ultrassom. Imagine que o ultrassom está focado em uma única linha dentro do corpo. O aparelho então acompanha o que acontece ao longo dessa linha **ao longo do tempo**.

Ele desenha uma espécie de gráfico que mostra se as coisas dentro do corpo estão se mexendo para perto ou para longe do aparelho.

Além da linha pleural, observam-se linhas horizontais imóveis e regularmente espaçadas, chamadas linhas A. Elas não têm significado e correspondem a “artefatos de repetição”.

Assim, no pulmão normal esperamos:

- Lung sliding presente.
- Linhas A.
- Sinal da praia no Modo-M.



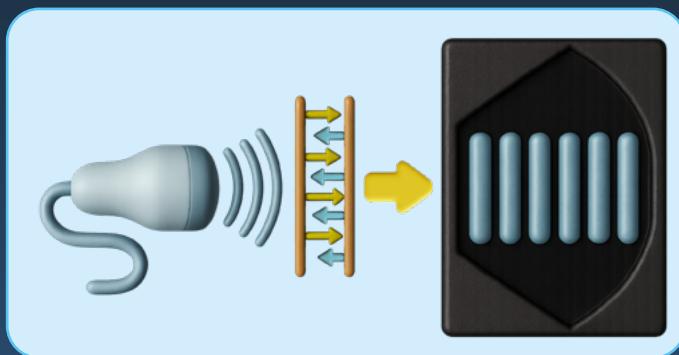
CURIOSIDA DEX

A VERDADE POR TRÁS DAS LINHAS A

As linhas A são artefatos de reverberação produzidos pela interação do feixe ultrassonográfico com a superfície da pleura visceral normalmente aerada.

Parte do eco é refletida de volta para o transdutor. Outra parte é reverberada entre a superfície pleural e o transdutor, gerando múltiplos ecos tardios, igualmente espaçados da pele, que se manifestam como linhas horizontais sucessivas.

As linhas A indicam a presença de ar imediatamente sob a pleura, ou seja, estão associadas ao padrão de pulmão normalmente aerado.



Ref.⁵

Espaço de Merlin: É apenas uma questão de nomenclatura. Corresponde à região localizada entre a linha pleural, a sombra das costelas e a borda inferior da tela do aparelho de ultrassom.

ACHADOS PATOLÓGICOS

SÍNDROME INTERSTICIAL OU INTERSTICIAL-ALVEOLAR

Estudos demonstraram sensibilidade e especificidade elevadas para identificação da síndrome ao ultrassom. Quando comparado à tomografia computadorizada, a concordância é considerada completa (próxima de 100%).⁵

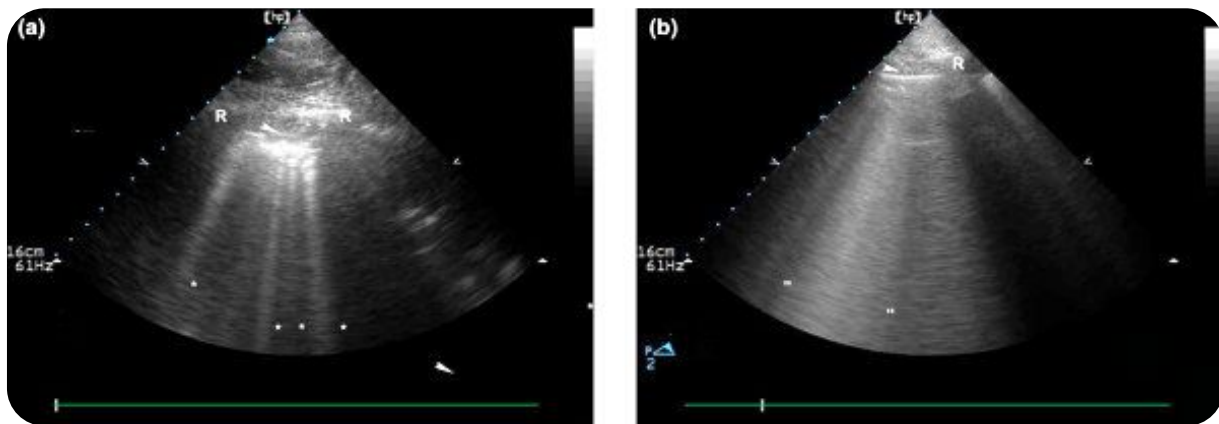
A síndrome alveolar-intersticial define um padrão sonográfico compatível com **infiltrado pulmonar bilateral** e engloba diversas condições que afetam o interstício pulmonar (o tecido entre os alvéolos) e prejudicam a troca gasosa:

- **Agudas:** síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA), edema pulmonar agudo, pneumonia intersticial.
- **Crônicas:** fibrose pulmonar, tuberculose miliar.

Linhas B

Representam o artefato clássico da síndrome intersticial e surgem devido -se ao acúmulo anormal de fluido ou **espessamento dos septos interlobulares pulmonares**, frequentemente causado por edema pulmonar (de origem hemodinâmica ou por aumento de permeabilidade), mas também observado em síndromes inflamatórias e, menos frequentemente, em doenças intersticiais crônicas vistas em contextos agudos.

Aparecem como linhas verticais brilhantes que emergem da linha pleural e alcançam a borda inferior da tela e também são chamadas de **caudas de cometa**.



Mas cuidado, nem todo artefato vertical é realmente uma linha B. Os critérios para identificar uma linha B são:²

1. Sempre se originam a partir da linha pleural.
2. Sempre se movem em sincronia com o deslizamento pulmonar.
3. Estendem-se até a borda inferior da tela.
4. Apagam as linhas A ao seu redor.

São hiperecogênicas, com brilho similar ao da linha pleural.

Para definir a presença de uma síndrome intersticial, é necessária a presença de pelo menos **3 linhas B** em um mesmo espaço intercostal.⁵

O número dessas linhas B verticais depende do grau de perda de aeração pulmonar e aumenta com o aumento do líquido extravascular.⁶ Sua intensidade aumenta durante a inspiração.



CURIOSIDA DEX

A VERDADE POR TRÁS DAS LINHAS B

Quando ocorre espessamento da intersticial subpleural ou acúmulo de fluido entre septos interlobulares (por exemplo, edema intersticial, fibrose ou inflamação), os septos funcionam como “armadilhas acústicas”.

Essas “armadilhas” criam artefatos de reverberação similares aos que dão origem às linhas B, só que de uma maneira bem mais exagerada. A reverberação múltipla, com perda gradual de energia, cria no monitor linhas hiperecogênicas verticais, que se originam da pleura e se estendem até a extremidade inferior da tela sem atenuação.

A identificação de qualquer linha B (mesmo isolada) praticamente exclui pneumotórax total na área examinada.



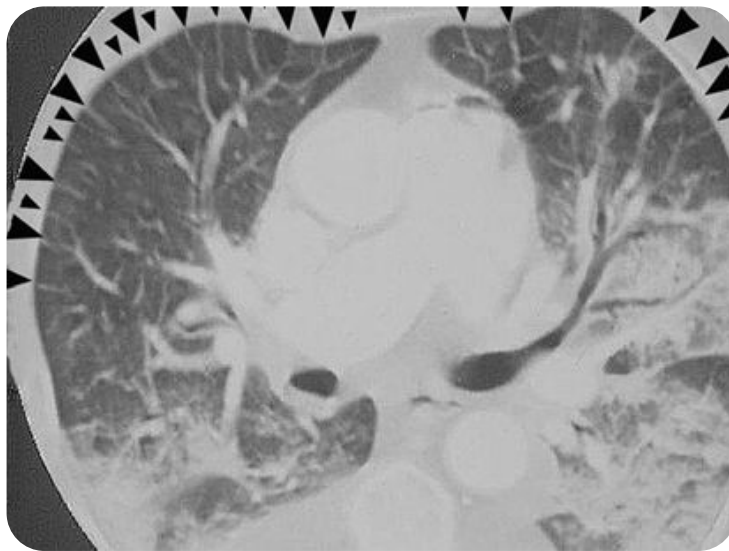
Ref.^{2,7}

A relação com **edema pulmonar** é tão relevante que há quem use as linhas B como parâmetro de fluidotolerância:⁵

- A ausência de lung rockets sugere POAP baixa, permitindo início da fluidoterapia.
- Lung rockets (≥ 3 linhas B) aparecem quando a POAP ultrapassa cerca de 18 mmHg, na ausência de doença pulmonar.

O que nos diz a quantidade de linhas B por espaço intercostal: 2,5,8

- **3-4 linhas B “septal rocket”**: Corresponde a linhas B com um intervalo de 6-7 mm entre elas. Esse achado é equivalente às linhas B de Kerley na radiografia e na tomografia. Ambos os achados indicando espessamento dos septos interlobulares subpleurais e compatível com um estágio leve/moderado de edema pulmonar. Alguns autores chamam as linhas B com esse intervalo de linhas B7.
- **6-8 linhas B “ground-glass rockets”**: Corresponde a linhas B com um intervalo inferior a 3 mm entre elas. Esse achado é compatível com a presença de **vidro fosco** na tomografia, sinalizando um grau avançado de síndrome intersticial, envolvendo o tecido intra-lobular (edema alveolar). Alguns autores chamam as linhas B com esse intervalo de linhas B3. Observe:



Aqui as cabeças de seta na cor preta indicam as linhas B (espessamento septal interlobular), enquanto a região brancacenta do parênquima pulmonar é o achado de vidro fosco – um termo radiológico utilizado para descrever uma área dos pulmões que apresenta aumento da atenuação (densidade) na tomografia computadorizada, sem obscurecer completamente os vasos sanguíneos e as vias aéreas subjacentes. Está presente quando há espessamento das paredes e preenchimento parcial dos alvéolos

- **Variante de Birolleau**: B-lines tão próximas que não existe espaço anecoico entre elas, tornando a área abaixo da pleura homogênea e hiperecogênica (“espaço de Merlin branco”). Associa-se a **edema pulmonar extremamente grave**. Observe:



Observação: Muitos autores⁵ não aceitam linhas B na região posterior do pulmão como indicadores patológicos de síndrome intersticial, uma vez que nas regiões dependentes do pulmão elas podem se formar simplesmente por gravidade. Nesse caso, só é levada em consideração a região anterior.

Tem linhas B em pulmão normal!

Em um terço dos pacientes, linhas B isoladas (até duas ou três linhas B, dependendo da referência) podem ser observadas em regiões dependentes (posteriores) do pulmão e não tem significado patológico.¹ Isso é particularmente possível em pacientes que ficam na posição supina por tempo prolongado.⁵

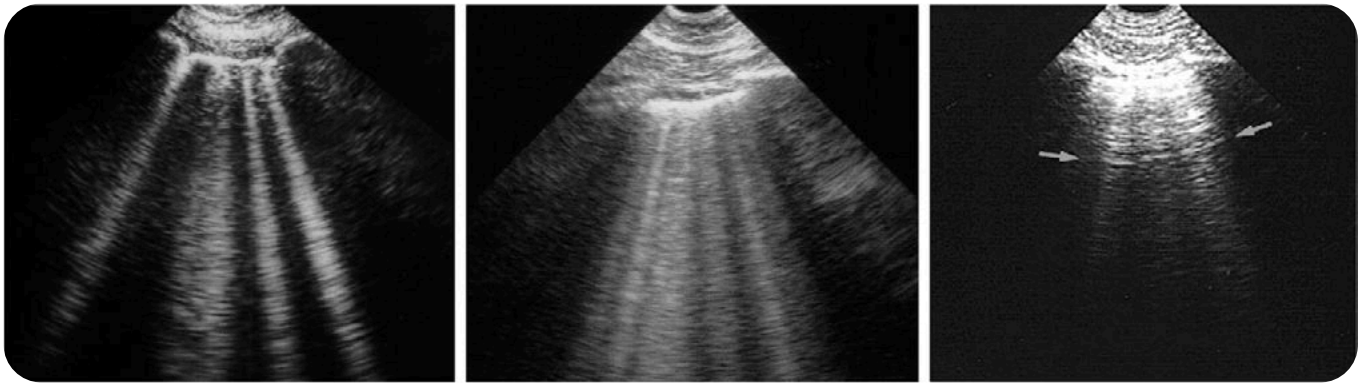
Falsas linhas B

Linhas Z^{5,9}

Também são artefatos em cauda de cometa, mas diferem das linhas B em vários aspectos.

- São mal definidas.
- São curtas: normalmente 3-4 cm, não excedendo 6 cm.
- Não apagam as A-lines.
- Não se movimentam com o deslizamento pulmonar.

Não têm significado clínico conhecido!

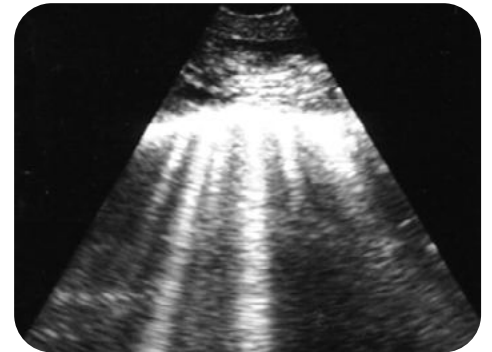


Esquerda: Linhas B. Meio: MUITAS linhas B. Direita: Linhas Z.

Linhas E e Linhas W ⁵

São linhas em cauda de cometa, bem definidas, mas que começam **ACIMA** da pleura. Indicam a ocorrência de **enfisema subcutâneo**. Outro aspecto é que elas ofuscam a sombra das costelas, eliminando o sinal do morcego.

Por fim, ao contrário das linhas B, não se movem durante a respiração (já que estão fora do pulmão).



Às vezes o enfisema distorce tanto a imagem, que nem mesmo as Linhas E são aparentes:



DERRAME PLEURAL

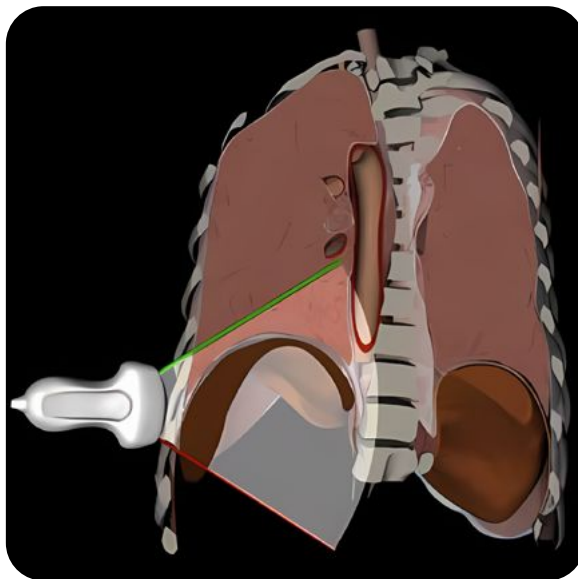
O ultrassom tem capacidade de detectar volumes de derrame tão pequenos quanto apenas 20 ml, enquanto o raio X de tórax detecta a partir de 100 ml.⁶ A sensibilidade estimada é de 93%, com especificidade de 97%.⁸

A gravidade é um determinante importante da ultrassonografia pulmonar.

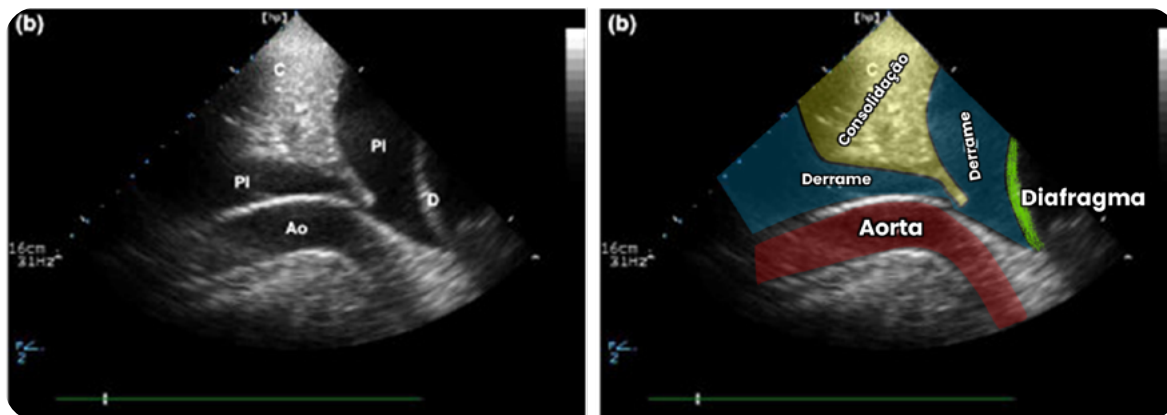
- Gases tendem a se acumular nas porções mais altas do tórax (em direção ao céu);
- Líquidos tendem a migrar para as regiões dependentes (em direção ao solo).

Por se tratar de líquido, o derrame se acumula nas regiões posteriores e inferiores, assim, deve ser pesquisado nas regiões dependentes (inferiores) do pulmão. Dessa forma, para avaliar o derrame pleural, é interessante manter o paciente com uma inclinação do tórax de **30 a 45°**.⁶

Como o componente gravitacional importa, idealmente a investigação de derrame pleural deve incluir a **análise do seio costofrênico bilateralmente**:



O aspecto sonográfico do derrame é de uma zona anecóica (preta). Se o derrame for grande o suficiente, pode “compactar” o pulmão, fazendo que ele tenha um aspecto sonográfico de consolidação:¹

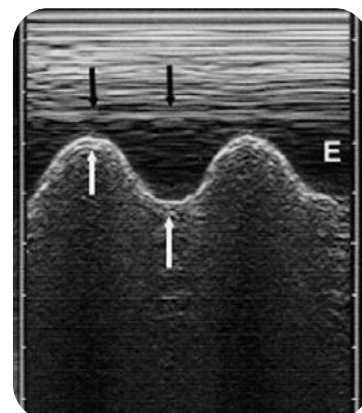
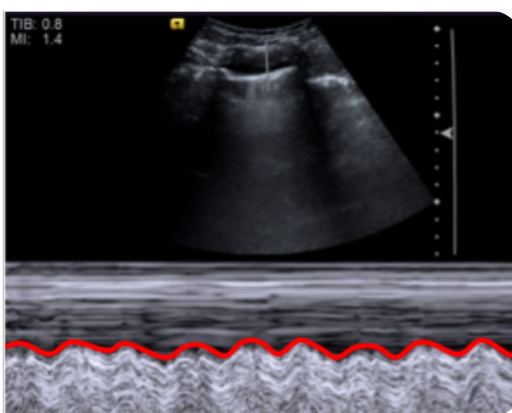
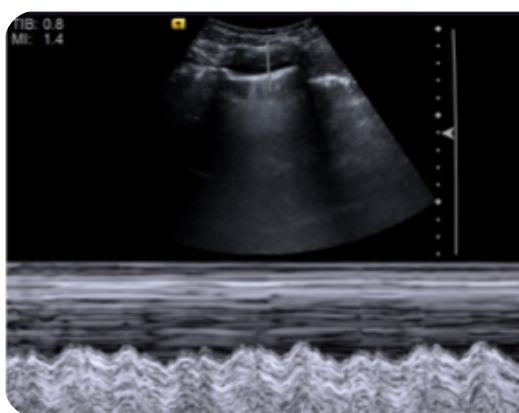


Lobo inferior, vista céfalo-caudal: Observe que além do derrame pleural é possível visualizar o diafragma e a aorta (que só se tornou visível graças à ausência de ar, provocada pela consolidação, permitindo que os feixes de ultrassom alcançassem maior profundidade).

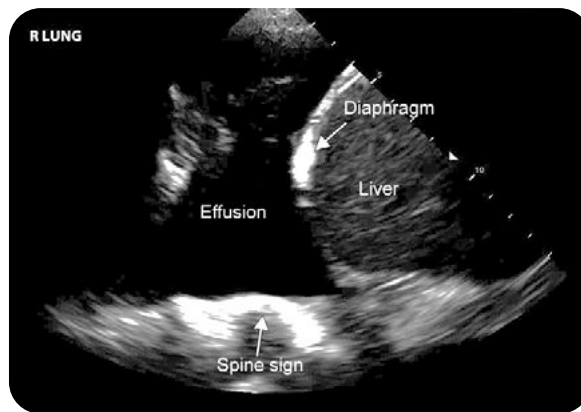
SINAIS TÍPICOS DE DERRAME PLEURAL

Dois sinais ultrassonográficos foram descritos como marcadores robustos da presença de derrame pleural:

- **Lung Line:** é uma linha regular que delimita o derrame, indicando a linha da pleura visceral, aproximadamente paralela à linha pleural (pleura parietal).
- **Sinal do quadrilátero (quad sign):** imagem anecoica delimitada por 4 linhas:
 - Superior: a linha pleural, hiperecogênica, horizontal.
 - Laterais: as sombras acústicas das costelas, projetadas verticalmente.
 - Inferior: a linha pulmonar (lung line), também hiperecogênica, aproximadamente paralela à linha pleural, que representa a pleura visceral.
- **Sinal do senoide:** Durante o ciclo respiratório, na presença de um derrame, o pulmão se aproxima e afasta da parede torácica. Ao utilizar o modo-M o aspecto desenhado é o de uma onda sinusoide: ²



- **Spinal Sign (Sinal da Coluna Vertebral):** Um derrame pleural volumoso cria uma janela acústica, permitindo a visualização dos corpos vertebrais.



Paciente com derrame pleural moderado. A janela acústica criada pelo derrame possibilita a visualização da coluna vertebral (Spine sign). Normalmente, os corpos vertebrais não são visualizados à ultrassonografia.¹¹

QUANTIFICAÇÃO DO DERRAME

BLUE Pleural Index

Uma estratégia simples para estimar de forma aproximada o volume do derrame pleural é o chamado **BLUE-PLEURAL INDEX**.⁵

• Passo 1

Com o transdutor na região posterior-lateral do tórax, mede-se a distância entre os dois folhetos da pleura. Ou seja, mede-se a espessura do derrame.

1. Recomenda-se fazer a medida ao final da expiração.
2. O transdutor deve estar perfeitamente perpendicular à parede torácica, para não superestimar a distância interpleural.
3. Atenção, uma medida excessivamente basal pode passar “por baixo” do pulmão e acabar medido a distância até o mediastino, essa medida não é válida.
 - Tenha em mente que a distância da pleura parietal ao mediastino é de cerca de 10 cm. Se sua medida der perto disso, você provavelmente errou o caminho do pulmão.
 - Medidas adequadas ficam entre 0 e 6 centímetros.

• Passo 2

Determinar se o pulmão é aerado ou consolidado.

- O pulmão aerado apresentará linhas B após o segmento do derrame (linhas sub-B).
- Um está completamente consolidado é pesado e seu peso “empurra” o derrame, fazendo com que o líquido se espalhe para os lados, diminuindo a distância entre a pleura visceral e a pleura parietal.

• Passo 3

Aplicar o fator de correção de acordo com o estado do pulmão

- **Pulmão Aerado:**

- Três milímetros = 15-30 ml.
- 1 cm = 70-150 ml.
- 2 cm = 300-600 ml.
- 3,5 cm = 1250-1500 ml.

- **Pulmão Consolidado:**

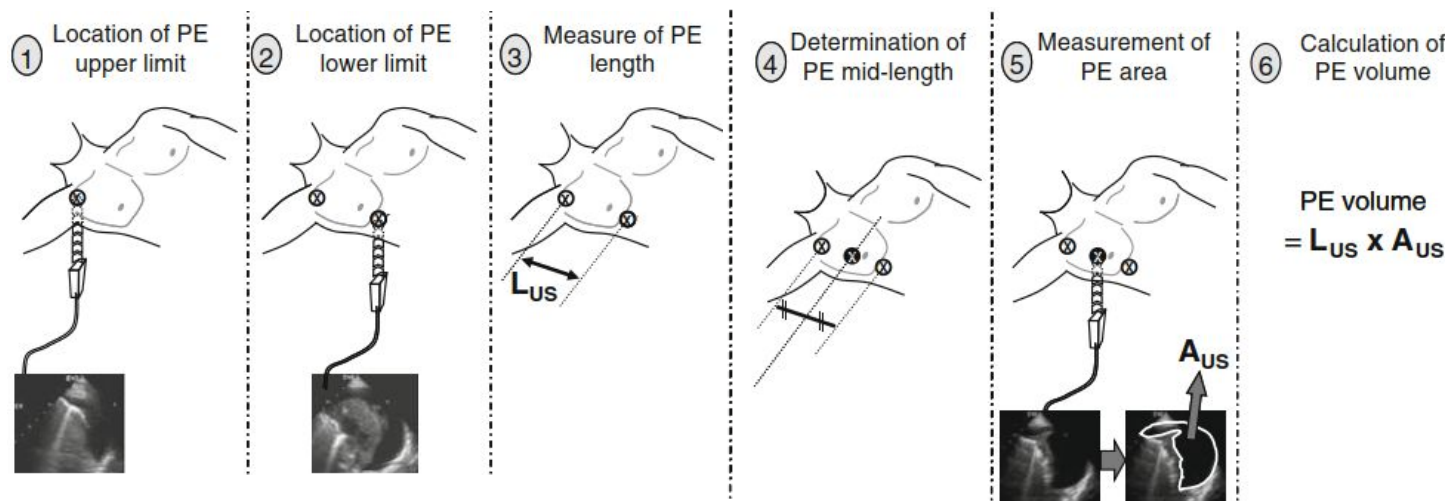
Multiplicar a estimativa acima por um fator de correção, dependente do tamanho da consolidação:

- 3 cm: 1,1.
- 4 cm: 1,2.
- 5 cm: 1,4.
- 6 cm: 1,7.
- 7 cm: 2.

MÉTODO MULTIPLANOS

Recentemente, uma outra abordagem foi proposta. Algo mais complexa, no entanto, com ótimos resultados quanto à precisão da estimativa:¹²

1. **Localização dos espaços intercostais com derrame:** O paciente é mantido em decúbito dorsal. O examinador posiciona a sonda de ultrassom nos espaços intercostais paravertebrais (região dorsal) em orientação transversa. Identifica-se o primeiro espaço intercostal superior e o último inferior onde o derrame é visível. Marca-se esses dois espaços na pele do paciente com uma caneta dermatográfica.
2. **Determinação do comprimento do derrame:** Mede-se a distância, em centímetros, entre os dois pontos marcados na pele. Essa medida corresponde ao comprimento do derrame pleural no sentido craniocaudal.
3. **Determinação do ponto médio do derrame:** Localiza-se o ponto médio entre os limites superior e inferior definidos anteriormente. Nesse ponto médio, será medida a área da secção transversal, com imagem congelada no final da expiração. A área do derrame é manualmente delineada na tela do equipamento. O software do ultrassom calcula automaticamente a área (em cm²). Mede-se 3 vezes e utiliza-se a média dos 3 valores.
4. **Cálculo do volume do derrame pleural:** Produto da área x comprimento do derrame. O método mostrou excelente correlação com volumes drenados ($r = 0,84$) e com volumes medidos por tomografia (CT) ($r = 0,90$).



TIPO DE DERRAME ¹

Embora a natureza do derrame pleural (transudato ou exsudato) não possa ser determinada com precisão apenas pelo exame ultrassonográfico, alguns padrões à ultrassonografia são sugestivos.

- **Transudatos** são sempre anecoicos.
- **Exsudatos** frequentemente apresentam-se como ecogênicos e loculados.

Toracocentese

A ultrassonografia pulmonar tem sido cada vez mais utilizada para guiar a toracocentese à beira-leito. Ela permite a detecção de aderências pleurais que podem dificultar a drenagem torácica eficaz e transformar a toracocentese em um procedimento arriscado.

Pequenos derrames podem ser drenados para fins diagnósticos (mesmo que pareçam menores na tomografia), desde que seja respeitada uma **distância inspiratória mínima de 15 mm**. Essa distância de segurança permite a retirada do líquido sem necessidade de estimativas precisas de volume.⁸

CONSOLIDAÇÃO

A consolidação pulmonar caracteriza-se pelo preenchimento dos espaços aéreos alveolares por qualquer material distinto do ar — como sangue, pus, edema, células neoplásicas ou fibrina. Esse processo resulta no aumento da densidade do parênquima pulmonar e perda da aeração fisiológica.

Na maioria dos casos (90%) as consolidações são encontradas na região posterior do pulmão, embora possam aparecer em outras regiões.⁸

Etiologia

Dentre as principais causas, destacam-se o edema pulmonar maciço, a broncopneumonia e a contusão pulmonar.

Uma causa surpreendente é o **infarto pulmonar** secundário à embolia. Devido à presença de circulação colateral abundante, o pulmão, ao sofrer necrose, apresenta extravasamento sanguíneo. Esse fenômeno resulta no preenchimento dos espaços alveolares por sangue, contribuindo para a consolidação pulmonar observada nas imagens radiológicas.

A **atelectasia** também possa exibir aspecto radiológico de consolidação, no entanto o mecanismo subjacente é distinto. Nesse caso, não há preenchimento dos alvéolos por material, mas sim ausência de ar decorrente do colapso alveolar, o que igualmente resulta em aumento da densidade pulmonar na ultrassonografia.

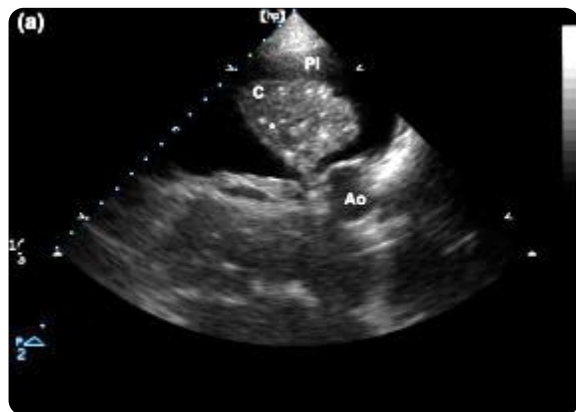
Aspecto Sonográfico

As consolidações pulmonares apresentam-se, à ultrassonografia, como **áreas hipoecoicas — semelhante a órgãos sólidos**, com limites imprecisos. Quando pequenas, tendem a assumir morfologia de cunha, podendo ser arredondadas ou ovaladas.

No interior da consolidação, é possível identificar estruturas puntiformes hiperecogênicas correspondentes aos **broncogramas aéreos** — brônquios preenchidos por ar. A entrada de ar durante a inspiração intensifica a visualização desses broncogramas.

A presença de broncogramas aéreos pode ajudar a diferenciar entre diferentes tipos de consolidações. Por exemplo, um broncograma aéreo **dinâmico**, que mostra movimento com a respiração, sugere uma como a **pneumonia**, enquanto a ausência de movimento (broncograma aéreo **estático**) pode indicar **atelectasia** por obstrução.^{5,13}

Abscessos: Tipicamente, apresentam-se como lesões arredondadas, hipoecoicas (às vezes quase anecoicas), com margens externas bem definidas:



Dentro de um derrame pleural (PI), se observa uma consolidação substancial (C), entremeada por pontinhos brancos (broncogramas aéreos). Posteriormente, um corte transversal da aorta.



Lobo inferior, visão céfalo-caudal: Lobo inferior consolidado (C) + Abscesso (A) + Derrame Pleural (PI). O D indica a posição do diafragma e Ao é a aorta.

Se houver gás dentro do abscesso, podem surgir sinais hiperecoicos, derivados da interface tecido-gás.¹⁴

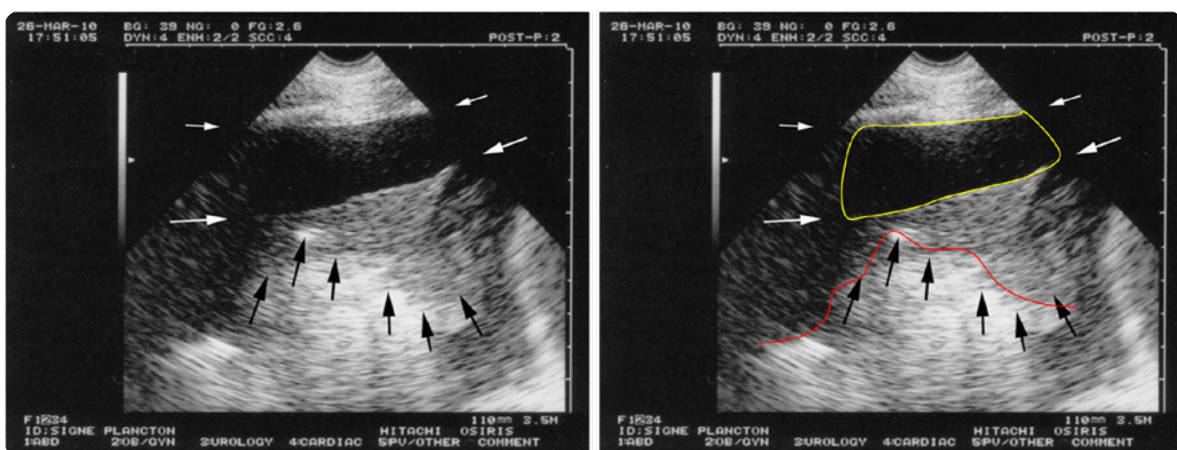
Outro aspecto importantíssimo da consolidação, é que a perda de aeração ameniza ou remove o efeito dispersivo que o ar exercia sobre os feixes de ultrassom. Isso cria uma janela sonográfica e permite que estruturas mediastinais, normalmente não visíveis, sejam adequadamente visualizadas, como no caso da aorta, na imagem acima.¹⁴

PADRÕES DE CONSOLIDAÇÃO

1. Consolidação Não Translobar

O sinal característico da consolidação não translobar é a presença do sinal do fractal (shred sign ou sinal do retalho),^{4,8} uma “linha” irregular, representando a transição entre pulmão consolidado e pulmão aerado.

É importante considerar que o sinal do retalho afasta consolidação translobar apenas na região visualizada. Regiões de consolidação translobar podem estar presentes em outro segmentos do parênquima.



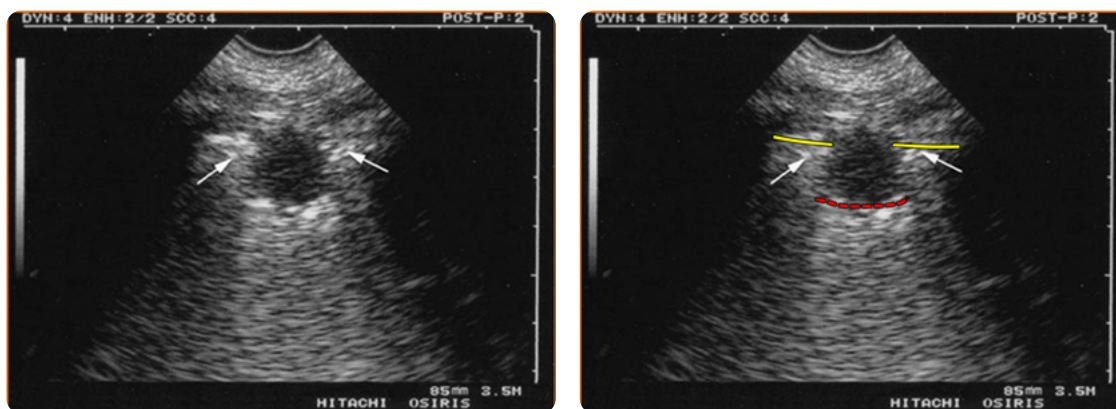
Lobo inferior, visualizado à partir da linha axilar posterior:
Em vermelho: Shred sign, indicativo de consolidação pulmonar.
Em amarelo: Sinal do quadrilátero, indicativo de derrame pelural (ver abaixo).

- **Pequenas Consolidações Subpleurais**

O brilho da linha pleural não depende somente da pleura, mas do fato de existir uma transição entre substância com impedância acústica extremamente diferentes (pleura x ar subpleural). É essa transição que reflete as ondas do ultrassom.

A consolidação preenche de líquido - facilmente atravessado pelo ultrassom - o espaço que deveria ter ar. Isso apaga a linha pleural e dá à consolidação subpleural um aspecto hipoecoico.⁵

O reforço brilhante desloca para uma posição profunda à consolidação, criando a **linha-C (Consolidação Cupuliforme e Centimétrica)**, que cria a ilusão de um espessamento irregular da pleura⁵



Em amarelo: Pleura normal.
Em vermelho, linha C.

2. Consolidação Translobar

Consolidação translobar é um termo utilizado em radiologia torácica, principalmente em tomografia computadorizada e radiografias, para descrever uma área de consolidação pulmonar que se estende por todo o lobo pulmonar, ocupando-o completamente.

O achado da consolidação translobar é o sinal “**tecido-símile**”, também chamado de hepatização, em que a ecotextura do parênquima pulmonar fica parecida com a do fígado:



PNEUMOTÓRAX

O pneumotórax livre tende a se acumular na região menos dependente (mais alta) do tórax, especialmente em pacientes em decúbito dorsal.

- Em pacientes em decúbito dorsal completamente horizontal, a maior probabilidade de encontrar um pneumotórax é na metade inferior da parede torácica anterior.
- Em pacientes semi-sentados, a maior probabilidade de encontrar um pneumotórax é na metade superior da parede torácica anterior.

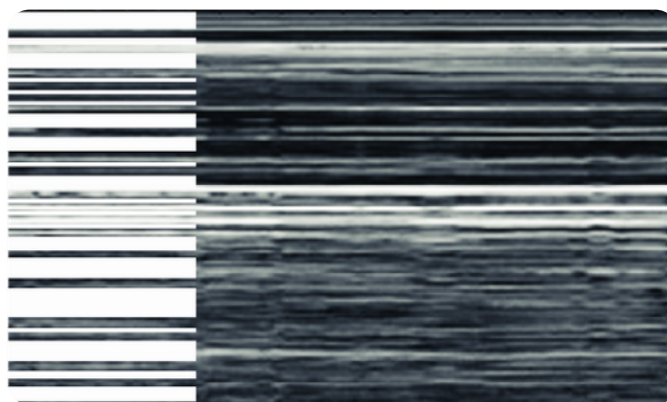
COMECE PROCURANDO O DESLIZAMENTO PULMONAR (LUNG SLIDING)

Devido à interposição de ar entre a pleura visceral e a pleura parietal, o pneumotórax é acompanhado do **desaparecimento do lung sliding no modo B**.

MODO M

A ausência do lung sliding pode ser confirmada utilizando o modo M, onde o sinal de praia terá dado lugar ao **sinal da estratosfera**, também conhecido como **sinal do código de barras**.

Perceba que o padrão granular da areia desapareceu, e agora temos várias linhas retas paralelas ao longo de toda a imagem, indicando que não há tecido móvel visível:



Como ficam as Linhas A e B?

Como não podemos ver parênquima, também não pode haver linhas B - que são resultado do edema intersticial. Assim, a presença de linhas B fala contra a suspeita de pneumotórax.

Por outro lado, as linhas A, que tem origem em qualquer interface pleura-ar, continuam visíveis.

DÁ PRA CONFIAR NA AUSÊNCIA DE LUNG SLIDING?

A ausência de lung sliding tem sensibilidade altíssima, de praticamente 100% para pneumotórax, no entanto, é pouco específico, pois existem várias outras causas para o desaparecimento do deslizamento pleural.⁵

As principais causas, além do pneumotórax, incluem: aderências pleurais, pleurodese, atelectasia completa, pneumonias extensas, fibrose pulmonar, intubação esofágica ou seletiva, parada cardiorrespiratória, apneia, derrame pleural, cirurgia pulmonar prévia (como a pneumonectomia), síndrome compartimental abdominal grave e enfisema subcutâneo.⁵

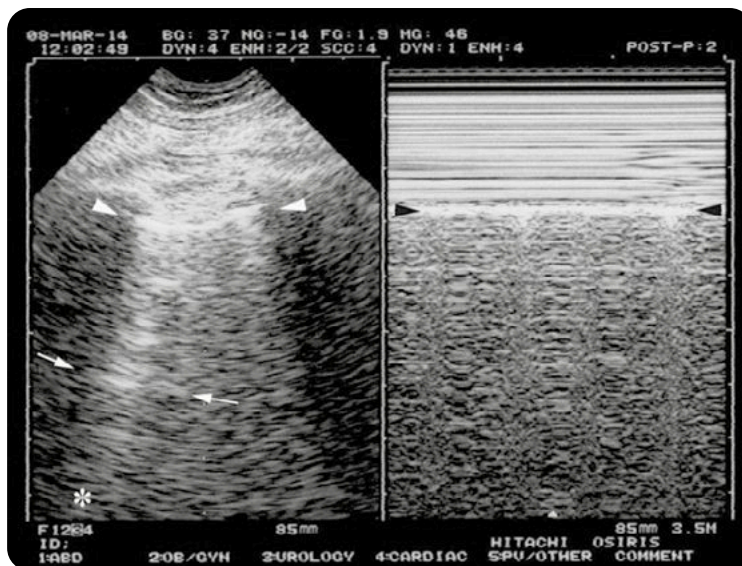
ENTÃO NÃO DÁ PRA CONFIAR. COMO EU FICO?

A combinação de **lung sliding ausente + linhas A presentes (sem linhas B)** aumenta a especificidade do diagnóstico de pneumotórax para 96,5%!¹⁵

Porém, ainda dá pra melhorar! O sinal patognomônico para o diagnóstico de pneumotórax, que definitivamente deve ser buscado caso haja suspeita dessa patologia, é o **LUNG POINT!**

Ele representa a transição entre uma área do tórax com deslizamento pulmonar presente e uma área onde esse deslizamento está abolido, indicando, portanto, a fronteira entre o pulmão normalmente expandido e a região descolada pela presença de ar no espaço pleural.

Apesar de poder ser visível no modo B, o modo M facilita muito a identificação do lung point:



Perceba na imagem modo M que começamos uma região com sinal da praia, à esquerda, representando pulmão aerado. Ao final da expiração o parênquima pulmonar recua e expõe o pneumotórax que estava logo abaixo. A transição entre essas 2 regiões marcada pela letra P é o lung point.

A sensibilidade e a especificidade da ultrassonografia pulmonar para o diagnóstico de pneumotórax é de 86% e 97%, respectivamente, enquanto a radiografia de tórax convencional apresenta sensibilidade e especificidade de 28% e 100%, respectivamente.¹

PNEUMOTÓRAX SEM LUNG POINT?

Em pneumotóraxes grandes (com retração total do pulmão), o lung point pode não ser detectável — nesses casos, recomenda-se complementar com radiografia convencional se não houver instabilidade.

LUNG PULSE (O LUNG SLIDING DE QUEM NÃO RESPIRA)

O Lung Pulse (pulso pulmonar) é um sinal ultrassonográfico dinâmico caracterizado pela visualização de **movimentos rítmicos na linha pleural**, sincronizados com os batimentos cardíacos.

Esse fenômeno ocorre porque, diante da perda da capacidade de insuflação pulmonar, o parênquima pulmonar deixa de se expandir normalmente e passa a funcionar apenas como um meio de transmissão das vibrações mecânicas do coração até a linha pleural.

Na presença de ventilação normal, o “lung sliding” ofusca o “lung pulse”. Por isso dizemos que o lung pulse só é visto em pulmões não ventilados, seja por intubação seletiva, obstrução brônquica ou atelectasia.

Ou seja, só vemos lung pulse na ausência de lung sliding!

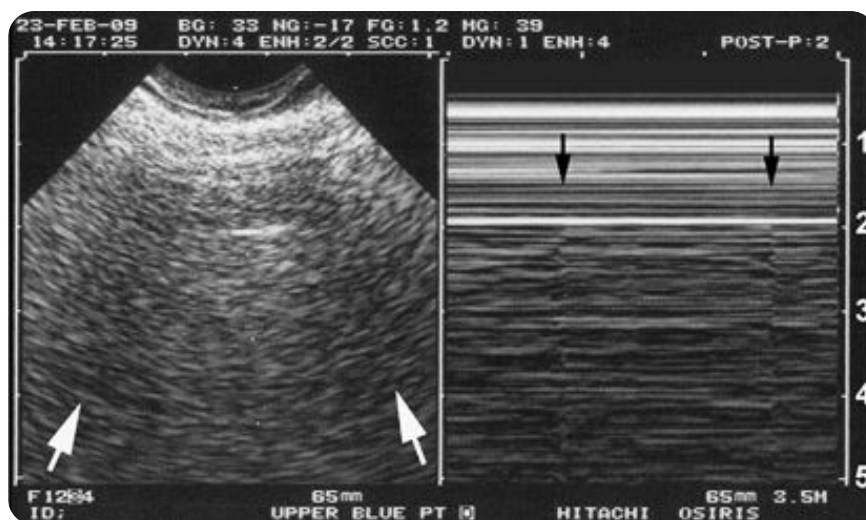
Além disso, esse sinal é mais visível na região inferior esquerda do coração, podendo ser ou não visível no pulmão direito.

Para fins práticos, guardaremos que o lung pulse:

1. Surge imediatamente após **exclusão pulmonar** (ex: intubação seletiva com obstrução completa do brônquio principal, antes mesmo do surgimento de alterações radiológicas (opacidade pulmonar).
2. É um marcador da ausência de expansão periférica do pulmão e não depende da consolidação radiológica, que ocorre tardiamente, após reabsorção do ar alveolar residual.
3. Pode ser visto em apneia voluntária bilateralmente, mas nesse contexto não é patológico; é considerado patológico quando persistente em paciente ventilado.
4. Depende da interação direta das pleuras parietal e visceral, portando nunca coexiste com pneumotórax.

Assim como o Lung Sliding, o Lung Pulse descarta pneumotórax na região examinada.

Quando insonamos uma região com Lung Pulse em modo M, vemos discretas oscilações episódicas que parecem linhas verticais (setas pretas), começando na linha pleural, como se estivéssemos desenhado a letra **T**, por isso, alguns autores chamam isso de **linhas-T**.⁵



LINHAS B X PNEUMOTÓRAX

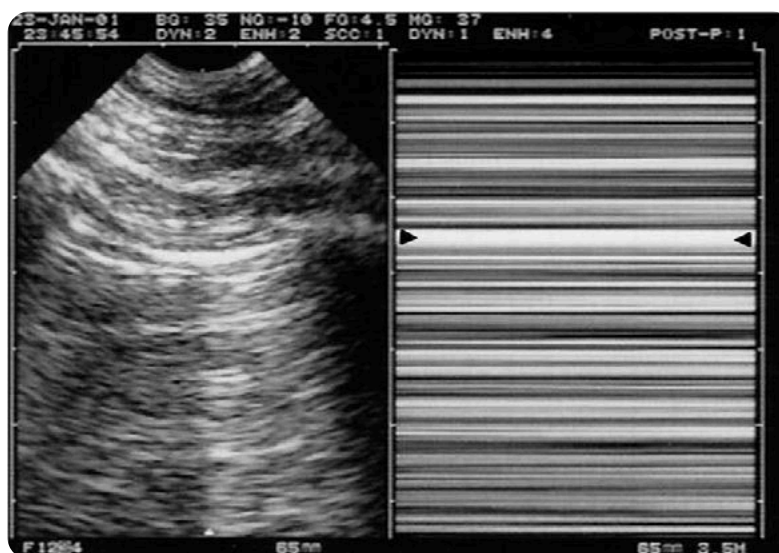
Os septos interlobulares são estruturas finas de tecido conjuntivo que delimitam os lóbulos pulmonares secundários. Eles são revestidos por pleura visceral. As linhas B se formam nestes septos!

No pneumotórax, existe uma camada de ar antes da pleura visceral que distorce a formação da imagem. Isso significa que não pode haver linhas B numa região de pneumotórax. Se as linhas B forem visíveis, não há pneumotórax ali!

Porque as linhas A não somem?

O feixe de ultrassom ainda encontra ar logo abaixo da pleura parietal (que passa a ser a interface reflexiva dominante, já que a pleura visceral se afasta da parede). Esse ar, por sua vez, produz a mesma reverberação observada no pulmão normalmente aerado, já que o ar é o principal responsável pelo artefato.

A imagem abaixo mostra um pneumotórax com linhas A presentes:



O PROTOCOLO BLUE

O Protocolo **BLUE (Bedside Lung Ultrasound in Emergency)**, proposto por Daniel Lichtenstein et al., apresenta uma abordagem ultrassonográfica sistematizada para a avaliação de pacientes com insuficiência respiratória aguda.

Em sua formulação original, demonstrou uma **acurácia diagnóstica de 90,5%** em uma amostra de 301 pacientes consecutivos, dos quais 260 foram incluídos no estudo.¹⁶

O protocolo BLUE utiliza uma sonda microconvexa de 5 MHz (alcance de 0,6 a 17 cm). Como a sonda microconvexa raramente está disponível, outras sondas podem ser consideradas, conforme já discutimos.

DIVISÃO DA CAIXA TORÁCICA

O pulmão é o órgão mais volumoso do corpo (exceto a pele), com cerca de 1.500 cm² de superfície. Diante desse tamanho, surge a dúvida: onde posicionar o transdutor? Muitas abordagens existem, mas o uso de **3 pontos padronizados** simplifica e acelera a investigação, especialmente em pacientes críticos.

Padronização dos Locais de Insonação (Pontos BLUE)

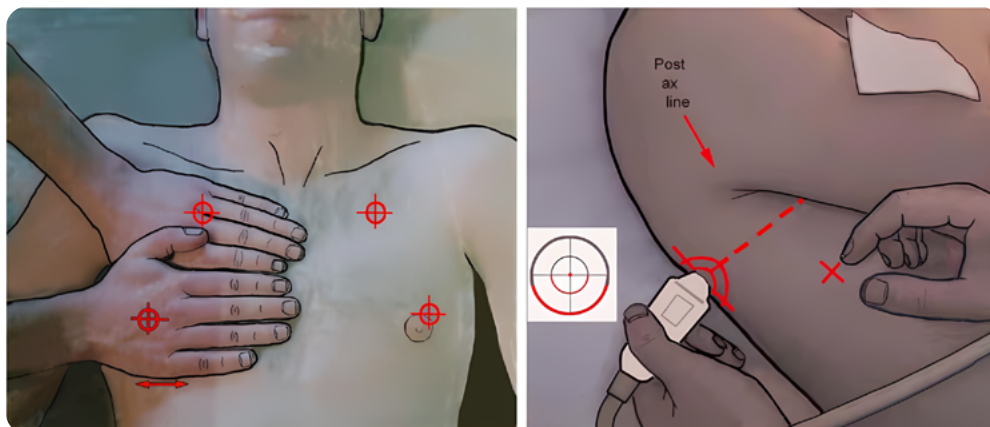
Padronização dos Locais de Insonação (Pontos BLUE)

- **Mãos-BLUE:** As mãos são a referência para localizar os pontos BLUE. No entanto, a mão do examinador precisa ter um tamanho similar à mão do paciente.

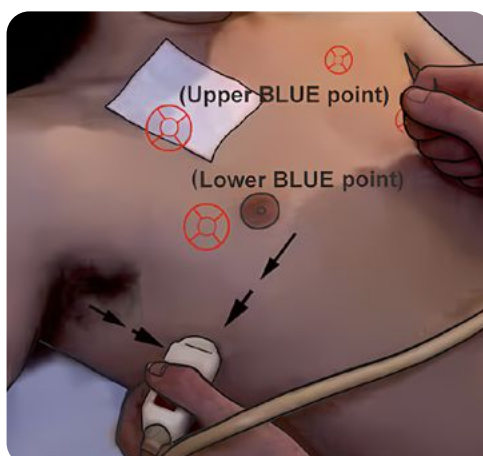
→ Posiciona-se a mão superior logo abaixo da clavícula, com os dedos apontando para o meio do tórax. Essa mão fica oblíqua, acompanhando a clavícula.

→ Abaixo da mão superior, coloque a mão inferior, excluindo os polegares. O dedo mínimo da mão inferior acompanhará a borda inferior do pulmão (linha frênica).

- **Ponto BLUE superior:** Localizado no centro da mão superior, entre a raiz do 3º e 4º dedo.^{2,4,6}
- **Ponto BLUE inferior:** Localizado encontra-se no centro da palma mão inferior.^{2,4,6}



- **Ponto PLAPS (PLAPS-point – Posterolateral Alveolar and/or Pleural Syndrome):** é definido pela interseção entre uma linha horizontal que parte do ponto BLUE inferior e uma linha vertical que segue a linha axilar posterior. O examinador pode ajustar a direção do transdutor de duas formas:
 - O mais posteriormente possível, para obter informações mais detalhadas em pacientes em decúbito dorsal.
 - Em direção inferior, caso não se detecte sinais de síndrome pleural ou alveolar na primeira avaliação. Normalmente, após dois espaços intercostais, o transdutor já alcança o abdome.
- **Extra: Ponto frênico** - é definido como a interseção entre a linha axilar média e a linha horizontal prolongando o dedo mínimo mão inferior. Esse ponto não é formalmente uma parte do protocolo BLUE. Mas pode ser incluído para análise da função diafragmática.



AVALIAÇÃO DA VIA AÉREA

Os perfis do protocolo BLUE são conjuntos de achados ultrassonográficos sistematizados e associados a diferentes etiologias da insuficiência respiratória aguda. Eles permitem um diagnóstico rápido e acurado à beira-leito.

PERFIL-A

O Perfil A representa a configuração ultrassonográfica típica de um parênquima pulmonar normal, sendo definido pela presença simultânea de dois achados essenciais: deslizamento pleural (lung sliding) e linhas A (A-lines).

- Descrição: Deslizamento pleural presente + linhas A predominantes.
- Significado: Pulmão anterior normal.

Conduta:

1. Usar o USG para pesquisar hipótese de trombose venosa profunda

Se presente, o diagnóstico provável é embolia pulmonar. Se ausente, investigar o ponto PLAPS, bilateralmente.

- O combo **Perfil A + TVP** é 99% específico para TEP. Ou seja, apenas 1% de falso positivo.

2. Avaliação do PLAPS

- Perfil A + Ponto PLAPS com consolidação ou derrame (**Perfil A-não-V-PLAPS**): Sugere Pneumonia.
- Perfil A + Ponto PLAPS normal (**Perfil Nude**): Pensar em DPOC ou asma.

PERFIL-A'

Achado: Linhas A + ausência de deslizamento pleural.

Diagnóstico provável: Pneumotórax, entretanto, a ausência de lung sliding é um sinal de baixa especificidade, sendo necessário confirmar com **lung point**.

De acordo com o autor, o lung point é 100% específico para pneumotórax, mas tem sensibilidade de apenas 66%.²

A ausência de lung point não descarta o pneumotórax, no entanto, deve-se considerar diagnósticos diferenciais que também provocam ausência de lung sliding, tais como derrame pleural, SDRA, grandes consolidações, fibrose pulmonar, aderências pleurais, atelectasias, intubação seletiva e paralisia do nervo frênico.²

PERFIL-B

- **Descrição:** Deslizamento pleural presente + linhas B bilaterais (lung rockets/cauda de cometa), com pelo menos 3 linhas B por espaço intercostal.
- **Significado:** Edema intersticial difuso.

Diagnóstico provável: Edema pulmonar hemodinâmico/cardiogênico.

PERFIL-B'

- **Descrição:** Linhas B bilaterais + abolição do deslizamento pleural.
- **Significado:** Interstício inflamado (exsudativo).

Diagnóstico provável: Pneumonia com padrão intersticial bilateral.

PERFIL-C

Esse perfil é marcado pela presença de consolidações no tórax anterior. Apesar do nome, aqui se enquadram as consolidações de todos os tamanhos, não apenas aquelas com linhas C.

Diagnóstico provável: Pneumonia.

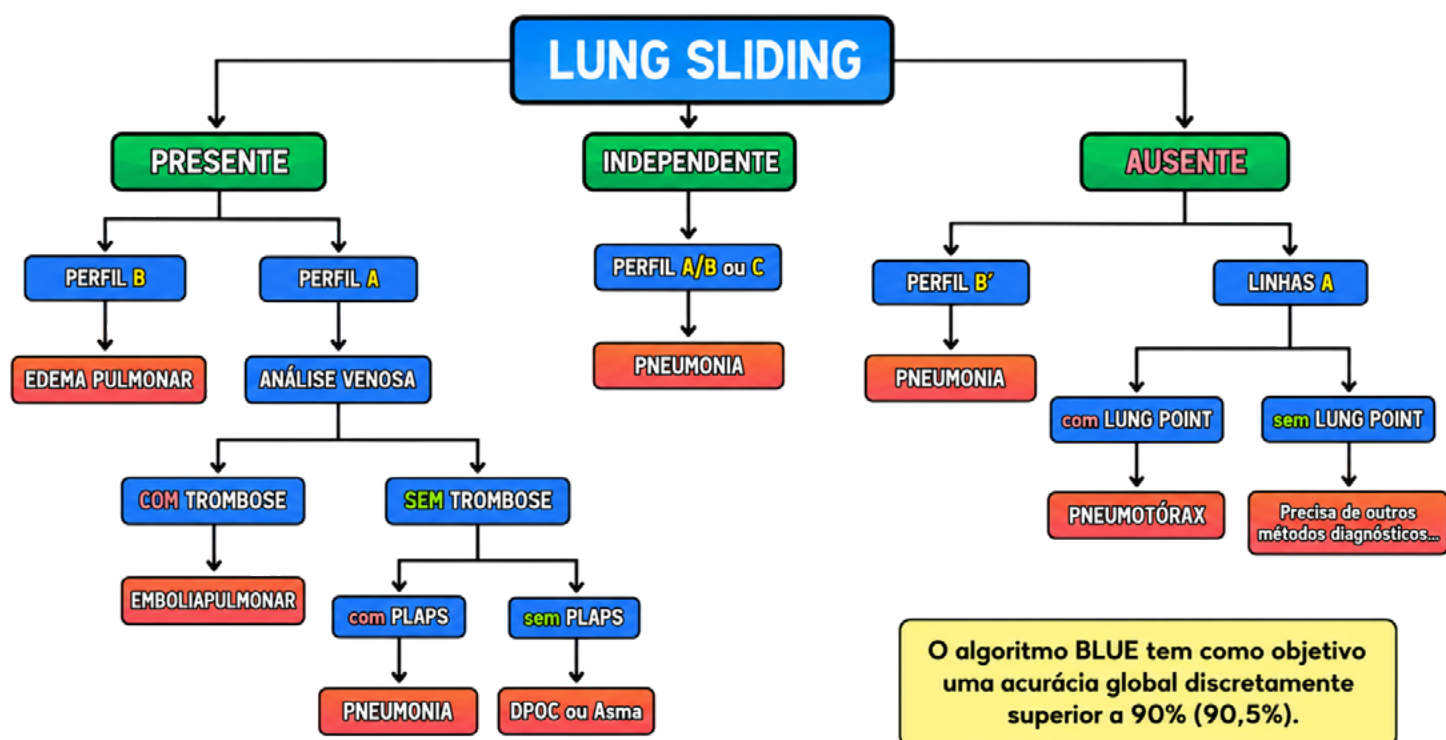
PLAPS

- **Região anterior:** Perfil-A.
- **Região posterior:** consolidação e/ou derrame pleural posterior.

Diagnóstico provável: Pneumonia.

Resumindo por diagnóstico

- **Edema Pulmonar:** Perfil B.
- **Pneumonia:** Perfil A/B (com ou sem lung sliding), Perfil B', Perfil C ou Perfil PLAPS (Perfil A-não-V-PLAPS).
- **Pneumotórax:** Perfil A' + Lungpoint.
- **DPOC/Asma:** Perfil A + Ausência de trombose venosa + Ausência de PLAPS.
- **TEP:** Perfil A + Presença de trombose venosa.



Percebeu que vários caminhos levam para a **PNEUMONIA**? Isso acontece porque realmente essa patologia pode ter múltiplas apresentações:⁵

- **Perfil B'**: 11% sensível, 100% específico. Reflete a abolição do deslizamento pleural devido a aderências inflamatórias causadas pelo exsudato. O exsudato funciona como uma “cola biológica”, fixando o pulmão à parede. Isso é comum em pneumonias extensas e síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA).
- **Perfil C**: 21% sensível, 99% específico. Diferente do edema pulmonar hemodinâmico (em que o padrão é gravitacional), na pneumonia a consolidação pode ocorrer em qualquer região, incluindo áreas anteriores. Apesar de ser quase 100% específico, pode ser visto muito raramente na embolia pulmonar.
- **Perfil A/B**: 14% sensível, 100% específico. A pneumonia pode afetar várias localizações, tornando a assimetria (latero-lateral ou anteroposterior) um achado importante.
- **Perfil A-não-V-PLAPS**: 42% sensível, 96% específico. Reflete infecções posteriores sem acometimento intersticial anterior e sem trombose venosa. Consolidação pulmonar, mesmo pequena, sugere pneumonia. Muitas vezes, essas pneumonias também cursam com derrame pleural exsudativo.

A **sensibilidade total para pneumonia é de 89% e especificidade de 94%**. Apesar de cada perfil isoladamente ser pouco sensível, a soma deles garante boa sensibilidade global.

ANÁLISE VENOSA

O protocolo BLUE oferece uma especificidade de 99% para o diagnóstico de embolia pulmonar em pacientes que apresentam avaliação pulmonar anterior normal, associada a trombose venosa profunda (TVP). Isso destaca a importância do presente capítulo.⁵

Na prática, essa parte do protocolo leva cerca de 2 a 3 minutos. O exame avalia sequencialmente as seguintes veias, bilateralmente:

1. Veia femoral comum.
2. Veia femoral distal (logo acima do joelho).
3. Veias da panturrilha (no meio da perna).
4. Veia jugular interna.
5. Veia subclávia.
6. Terço médio da veia femoral.
7. Veia poplítea.

Nem sempre todas as veias precisam ser examinadas. Assim que uma veia trombosada é identificada, o exame pode ser interrompido.

O transdutor utilizado normalmente é o microconvexo, na indisponibilidade, o transdutor linear pode ser usado, no entanto, pode haver dificuldade em superfícies irregulares. É importante evitar que o peso do transdutor comprima diretamente as veias, afim de não impedir a visualização de veias saudáveis.

COMO DIFERENCIAR VEIA DE ARTÉRIA?

Veias Centrais (Jugular, Subclávia, Cava)

1. Formato transversal: veias são ovais, colapsadas ou côncavas; artérias são sempre redondas (exceto em aneurismas).
2. Formato longitudinal: paredes da veia raramente são paralelas, ao contrário das artérias (a veia anda em zigue-zague).
3. Movimentos: veias apresentam amplas variações respiratórias ou nenhum movimento; artérias exibem pulsações sistólicas abruptas. Veias podem colapsar na inspiração espontânea e se expandem com ventilação mecânica.
4. Tamanho: veias são maiores, pois contêm cerca de dois terços do volume sanguíneo total.

5. Valvas e calcificações: veias podem ter valvas finas; artérias podem ter calcificações grosseiras, nunca o oposto.
6. Ecogenicidade: A veia é menos ecogênico que a artéria.
7. Compressibilidade: se os critérios anteriores falharem, pode-se comprimir — somente uma veia normal colapsa completamente.

Naturalmente, o Doppler pode ajudar e pode ser usado em caso de dúvida, mas o protocolo BLUE insiste que o Doppler é desnecessário nessa avaliação...¹⁷

Veias Distais

Nessas regiões, as características morfológicas descritas anteriormente tornam-se progressivamente mais sutis e difíceis de identificar com segurança. Na prática clínica, **a etapa da compressão torna-se a mais viável** para distinguir as estruturas. Quando um dos vasos começa a colapsar à compressão, isso indica que se trata da veia.

Caso nenhum dos dois vasos colapse, pode-se concluir que um deles é uma veia trombosada e o outro é a artéria. Nesse cenário, a identificação exata de qual vaso é a veia torna-se irrelevante para a aplicação do protocolo de avaliação pulmonar com ultrassonografia, pois ele será considerado positivo de qualquer forma.

Para aqueles que desejam identificar com precisão qual dos vasos é a veia, recomenda-se a comparação com o lado contralateral. Essa abordagem geralmente revela a posição venosa, assumindo que não exista uma trombose venosa bilateral — situação rara, mas possível.

Aqueles que ainda permanecerem inseguros quanto à identificação podem recorrer à função Doppler.

PESQUISA DE TROMBOSE

Detectando a Trombose

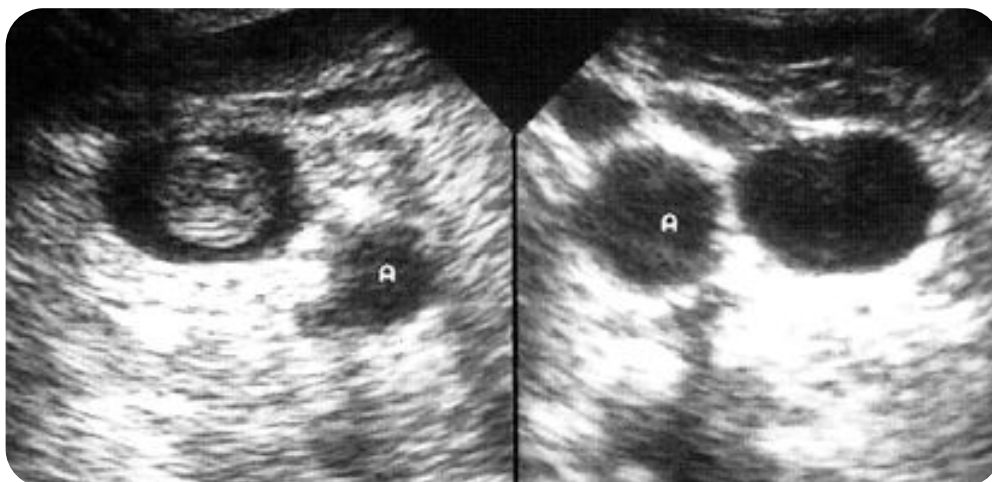
A trombose venosa pode se apresentar de duas formas: não oclusiva ou oclusiva.

Trombose Não Oclusiva

Quando a trombose não é oclusiva, dois sinais são prontamente perceptíveis ao examinador:

1. Contraste ecográfico: há uma diferença entre o tom anecoico (ou hipoecoico) do sangue circulante e o tom mais ecogênico do trombo (imagem abaixo).
2. Morfologia característica: o trombo apresenta forma bem definida, convexa, com contornos nítidos.

Essas características permitem reconhecimento imediato da trombose:

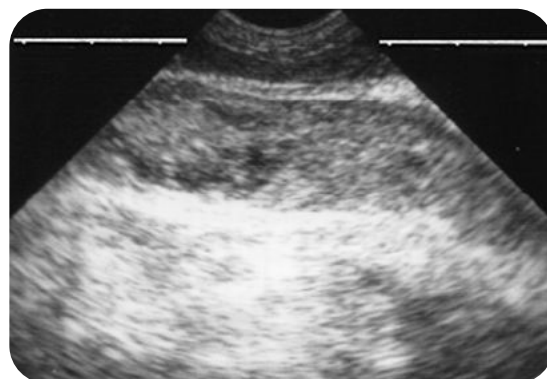


A imagem da esquerda demonstra de forma evidente uma trombose flutuante na veia jugular interna, ao passo que a imagem da direita mostra uma veia normal.

Trombose Oclusiva

Na trombose oclusiva, os dois sinais anteriores geralmente não estão presentes. No entanto, pode-se observar **padrão ecográfico heterogêneo**. Aspecto semelhante a tecido, irregular, parado, visível (imagem à direita):

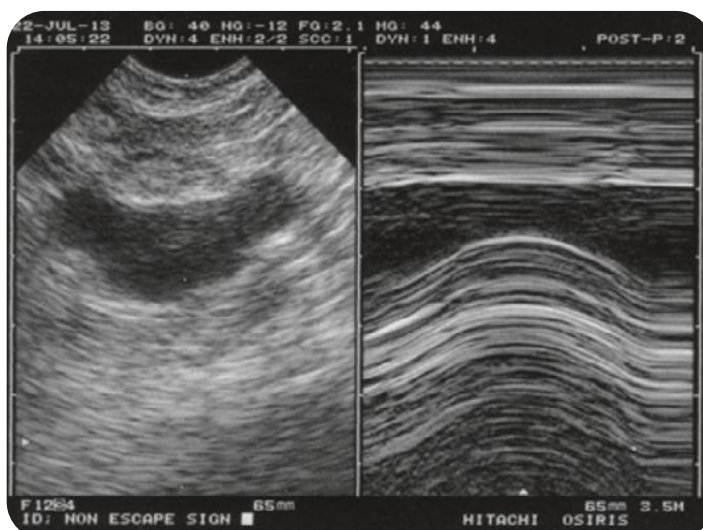
Quando esse padrão não é facilmente detectável, a técnica de **compressão** pode ser utilizada para confirmar o diagnóstico.



Compressão Controlada: No protocolo BLUE, usa-se o termo “compressão controlada”, que significa compressão leve ou nenhuma compressão. Quando a análise estática detectou uma TVP, isso respondeu à pergunta, e a técnica de compressão não acrescenta, além de ser possivelmente perigosa.

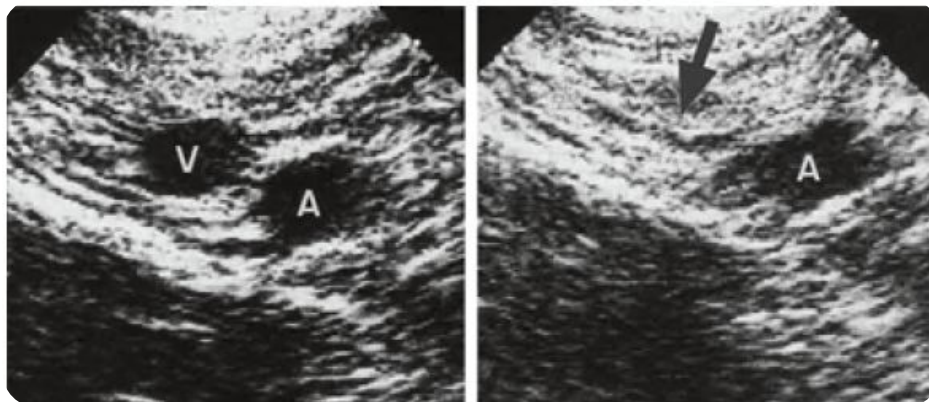
Uma compressão leve é suficiente para colapsar uma veia normal. Por outro lado, compressão forte pode desalojar uma trombose instável.

Em uma veia patente, a compressão permite reduzir o diâmetro da veia:

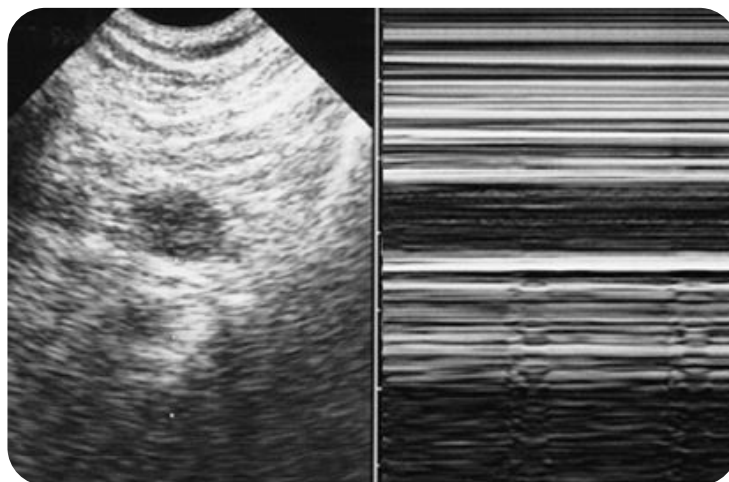


A imagem da direita, em modo M, explicita claramente a redução de diâmetro durante a compressão venosa.

Veja um colapso venoso completo após compressão um pouco mais vigorosa:



Para comparação veja a imagem abaixo, de uma veia subclávia que era não compressível:



Outro achado interessante que pode ser visto no modo M é a total ausência de variabilidade respiratória (caso se trate de uma veia central).

AVALIAÇÃO POR VEIA ¹⁷

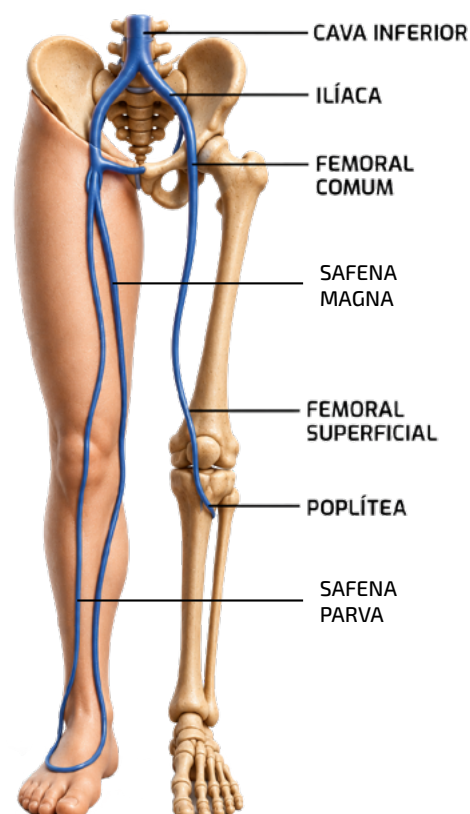
A sensibilidade global é de 78/79%.

Veia Femoral proximal e distal (50% dos casos)

Veia Femoral Proximal

A veia femoral surge medial à artéria femoral, na região inguinal, e progride em direção ao fêmur.

- Pouco abaixo do ligamento inguinal bifurca-se em veia femoral profunda, veia femoral (superficial) veia safena magna.
- Na altura do joelho, a femoral (superficial) se converte em veia poplítea.
- A femoral (superficial) então se divide em safena menor/pequena e veias tibiais.



Veia Femoral Distal

Esta é uma região de fácil acesso, mas pouco compressível diretamente, normalmente sendo avaliada conjuntamente com o Doppler.

O protocolo Blue sugere, como alternativa, o uso da mão livre como contraforça, aplicando-a em oposição à sonda. O ponto de compressão é diametralmente oposto ao transdutor.

O Daniel Lichenstein chama essa região de **ponto V**, de vitória em não precisar do Doppler...

A sonda deve ser posicionada em corte transversal, aproximadamente “uma patela de distância” acima da patela, examinando o eixo curto da veia. A mão livre é posicionada exatamente do lado oposto à sonda:



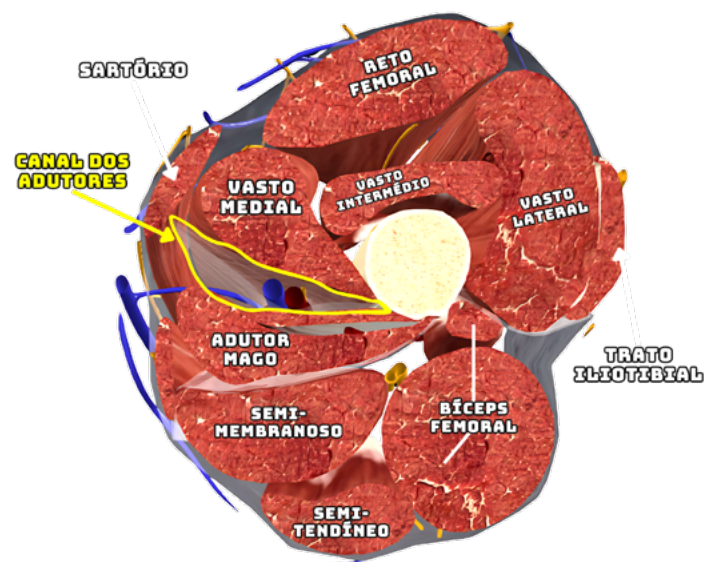
* = Fêmur Setas = Artéria e veia femoral

Os dedos da mão livre devem envolver o bíceps femoral e, então, comprimir. Uma pressão muito suave dos dedos da mão livre é suficiente para colapsar facilmente uma veia normal.

Essa manobra, chamada de maneira jocosa de “**mão Doppler**” por Marcio e Bianca Rodriguez (de Porto Alegre), pode ser realizada em poucos segundos.

A associação de veia femoral comum (proximal) e veia femoral distal (“superficial”) tem sensibilidade de aproximadamente 50%.

Observação: Para nós, enquanto anestesiistas, fica bem mais fácil imaginar que estamos procurando o safeno no canal dos adutores (canal de Hunter), só que olhando mais distalmente na perna:



Jugular Interna e Subclávia

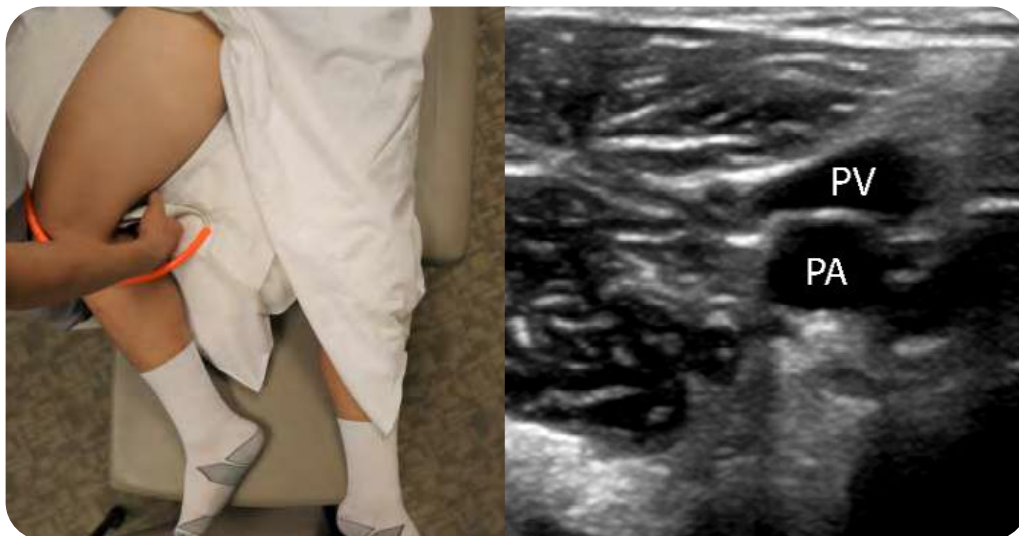
- **A jugular** é facilmente compressível.
- **A subclávia** pode se beneficiar de compressão leve com a mão, mantendo o transdutor abaixo da clavícula.

Meio da Veia Femoral

Raramente precisa ser examinada.

Veia Poplítea

Pode ser estudada mediante rotação externa com leve flexão da perna do paciente:¹⁸

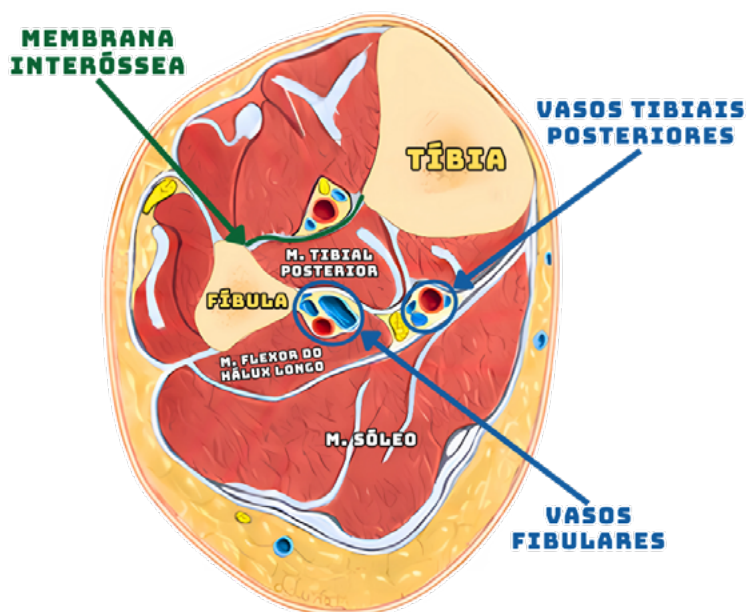


DVT Ultrasound Made Easy: Step-By-Step Guide¹⁸

Veias da Panturrilha

Na região da panturrilha, a veia poplítea se trifurca, originando a veia tibial anterior, a veia tibial posterior e a veia fibular (também denominada peroneal). Para a adequada avaliação ultrassonográfica desse segmento, é fundamental identificar os seguintes marcos anatômicos:

1. Ossos da perna
2. Membrana interóssea
3. Músculo tibial posterior



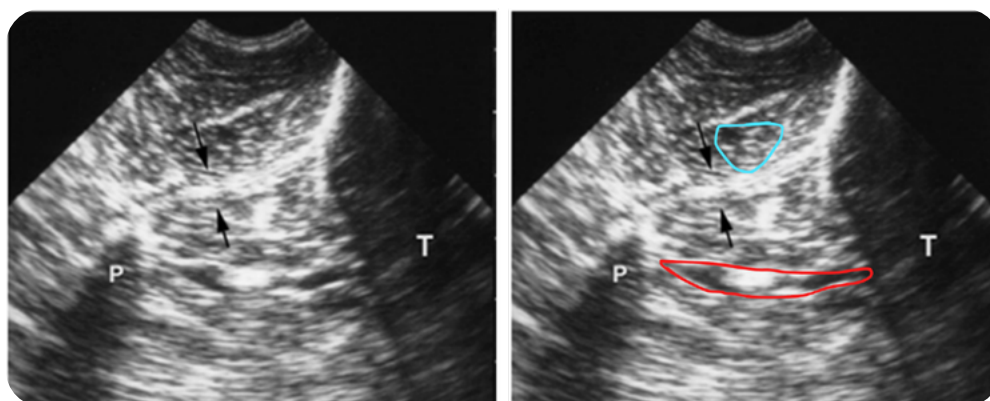
No protocolo BLUE, os vasos tibiais anteriores são propositalmente desconsiderados, com o objetivo de simplificar o exame.

Assim, vamos focar nossa atenção nas veias posteriores ao músculo tibial posterior.

Visualização ultrassonográfica

Utiliza-se uma abordagem anterior, com o paciente em decúbito dorsal, com o transdutor posicionado transversalmente.

1. Detectar a membrana interóssea (seta preta).
2. Imediatamente posterior a ela, repousa o músculo tibial posterior.
3. Logo abaixo dele, estarão os vasos do grupo tibial posterior e do grupo fibular posterior (vermelho).



A letra T indica a tíbia e a letra P indica a fíbula (também conhecida como perônio). O grupo vascular anterior (azul claro) é discretamente visível entre a fíbula e a seta superior.

Comprimir ou não comprimir?

A detecção estática de trombos é difícil nessa região, sendo preferível a execução de leve compressão venosa com a mão livre, posicionada posteriormente à panturrilha, com vetor direcionado ao transdutor.

ANÁLISE VENOSA

O protocolo BLUE **não inclui a análise da função do diafragma** em sua árvore decisória. O princípio é prático: como não há intervenção imediata capaz de reverter uma paralisia diafragmática à beira-leito, a conduta limita-se a fornecer suporte ventilatório (oxigênio por ventilação não invasiva ou intubação, por exemplo).

Entretanto, para o anestesista a paralisia do diafragma é especialmente importante no contexto perioperatório, onde pode surgir frente a trauma (cirurgia cardíaca ou torácica) ou por algumas estratégias de anestesia regional. Por isso, temos uma apostila inteiramente dedicada a esse tema!

OUTRAS LIMITAÇÕES DO PROTOCOLO BLUE

A ultrassonografia pulmonar possui limitações intrínsecas que não dependem do operador, mas sim das características do paciente. Indivíduos **obesos** frequentemente são difíceis de examinar com ultrassonografia pulmonar devido à espessura da caixa torácica.¹

Apresença de **enfisema subcutâneo** ou **curativos torácicos extensos** altera ou impede a propagação dos feixes de ultrassom até a periferia pulmonar.¹

Por fim, deve-se destacar que a ultrassonografia pulmonar não é capaz de detectar a hiperinsuflação pulmonar resultante de aumento das pressões intratorácicas.¹

Uma estatística de um hospital de Paris mostrou que o Protocolo BLUE diagnosticou 97% dos pacientes um hospital de Paris com insuficiência respiratória aguda. Os principais diagnósticos dos 3% remanescentes foram:¹⁷

- Exacerbação de doença pulmonar intersticial crônica (1,4%): Muitas vezes tem um perfil B já no basal do paciente.
- Derrame pleural volumoso como agente causal (1%): Talvez porque o diagnóstico fosse tão clinicamente evidente que o protocolo BLUE nem precisou ser utilizado.
- Atelectasia completa e aspiração de corpo estranho (0,3%)
- Estenose traqueal (0,3%): Se apresenta com perfil A “nude”.
- Embolia gordurosa (0,3%)

REFERÊNCIAS

1. Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, Rouby JJ. Clinical review: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care Lond Engl*. 2007;11(1):205.
2. Murali A, Prakash A, Dixit R, Juneja M, Kumar N. Lung ultrasound for evaluation of dyspnea: a pictorial review. *Acute Crit Care* [Internet]. 30 de novembro de 2022 [citado 22 de maio de 2025];37(4):502–15. Disponível em: <http://accjournal.org/journal/view.php?doi=10.4266/acc.2022.00780>
3. Gargani L, Volpicelli G. How I do it: Lung ultrasound. *Cardiovasc Ultrasound* [Internet]. dezembro de 2014 [citado 6 de junho de 2025];12(1):25. Disponível em: <https://cardiovascularultrasound.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-7120-12-25>
4. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. junho de 2015;147(6):1659–70.
5. Lichtenstein DA. *Lung Ultrasound in the Critically Ill: The BLUE Protocol*. Cham: Springer; 2016. 376 p. (SpringerLink Bücher).
6. Cardiology and Transplant Institute of the Federal District, Bosco Otto ME, Andreoli Esmanhoto V, Dante Pazzanese Cardiology Institute, Samaritano Hospital. Como Eu Faço Ultrassom de Pulmão para Avaliar Congestão. *ABC Imagem Cardiovasc* [Internet]. 10 de setembro de 2022 [citado 22 de maio de 2025];35(5). Disponível em: https://www.abcimaging.org/wp-content/uploads/articles_xml/2675-312X-dic-35-03-ecom22/2675-312X-dic-35-03-ecom22.pdf
7. Volpicelli G, Mussa A, Garofalo G, Cardinale L, Casoli G, Perotto F, et al. Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Emerg Med* [Internet]. outubro de 2006 [citado 22 de maio de 2025];24(6):689–96. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735675706000696>
8. Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care* [Internet]. 2014 [citado 24 de maio de 2025];4(1):1. Disponível em: <http://annalsofintensivecare.springeropen.com/articles/10.1186/2110-5820-4-1>
9. Lichtenstein DA. Lung Ultrasound in the Critically Ill. *J Med Ultrasound* [Internet]. 2009 [citado 6 de junho de 2025];17(3):125–42. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092964410960120X>
10. Focused Cardiac Ultrasound Transthoracic Echocardiography TTE PIE Toronto FOCUS FATE Standard Views Tamponade Hypovolemia Ventricular dysfunction [Internet]. [citado 22 de maio de 2025]. Disponível em: https://pie.med.utoronto.ca/POCUS/POCUS_content/focus.html
11. Marini TJ, Rubens DJ, Zhao YT, Weis J, O'Connor TP, Novak WH, et al. Lung Ultrasound: The Essentials. *Radiol Cardiothorac Imaging* [Internet]. 1o de abril de 2021 [citado 6 de junho de 2025];3(2):e200564. Disponível em: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/ryct.2021200564>
12. Remérand F, Dellamonica J, Mao Z, Ferrari F, Bouhemad B, Jianxin Y, et al. Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside. *Intensive Care Med* [Internet]. abril de 2010 [citado 22 de maio de 2025];36(4):656–64. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00134-010-1769-9>

13. Soni NJ, Arntfield R, Kory P. Point-of-care ultrasound. Second edition. Philadelphia, PA: Elsevier; 2020. 525 p.
14. Karadeniz YM, Kiliç D, Kara Altan S, Altinok D, Güney S. Evaluation of the role of ultrasound machines as a source of nosocomial and cross-infection. *Invest Radiol*. setembro de 2001;36(9):554–8.
15. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med*. abril de 1999;25(4):383–8.
16. Khosla R. Bedside Lung Ultrasound in Emergency (BLUE) Protocol. *Chest* [Internet]. junho de 2010 [citado 22 de maio de 2025];137(6):1487. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0012369210603133>
17. The BLUE-Protocol, Venous Part: Deep Venous Thrombosis in the Critically Ill. Technique and Results for the Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism. Em: *Lung Ultrasound in the Critically Ill* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2016 [citado 22 de maio de 2025]. p. 123–42. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-15371-1_18
18. DVT Ultrasound Made Easy: Step-By-Step Guide [Internet]. POCUS 101. [citado 2 de junho de 2025]. Disponível em: <https://www.pocus101.com/dvt-ultrasound-made-easy-step-by-step-guide/>



ULTRASSONOGRRAFIA DO DIAFRAGMA

DISFUNÇÃO DIAFRAGMÁTICA

A disfunção diafragmática – paresia ou paralisia - pode comprometer a ventilação, reduzir a capacidade pulmonar, aumentar o risco de insuficiência respiratória e influenciar diretamente a escolha da técnica anestésica.

Esta condição pode resultar tanto do enfraquecimento das fibras musculares do diafragma quanto de lesão do seu único suprimento nervoso, o nervo frênico, que se origina principalmente em C4, mas também recebe contribuições de C3 e C5.¹

CIRURGIA X DIAFRAGMA

As lesões iatrogênicas do nervo frênico são complicações conhecidas de cirurgias cardíacas ou torácicas.

- **Cirurgia cardíaca:** Após cirurgias cardíacas, a incidência de disfunção do diafragma pode variar entre 1% e 60%, sendo que 8% desenvolvem disfunção persistente, relacionada a desfechos respiratórios adversos. Paralisia do nervo frênico é ocorrência frequente após cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea, já que o nervo se localiza muito próximo ao coração e a cardioplegia fria pode causar lesão térmica.¹
- **Cirurgia torácica:** Um estudo prospectivo revelou prevalência elevada (68%) de disfunção do diafragma no pós-operatório de ressecção pulmonar, no lado operado. A incidência de lesão iatrogênica do nervo frênico após lobectomia superior (8,9%) é quase o dobro daquela observada após lobectomia inferior (5,5%).¹

Outros fatores cirúrgicos relevantes incluem:

- **Laparoscopia e Trendelenburg:** o aumento prolongado da pressão do pneumoperitônio e a posição de Trendelenburg empurram o diafragma em direção à cabeça, diminuindo a complacência pulmonar e a capacidade residual funcional.¹

ANESTESIA X DIAFRAGMA

O bloqueio do plexo braquial pela via **interescalênica** é o mais utilizado em cirurgias de ombro. Esse bloqueio causa paresia diafragmática ipsilateral em 100% dos pacientes,² pois o nervo frênico está localizado na fáscia sobre o músculo escaleno anterior.¹

Para o bloqueio **supraclavicular**, um estudo³ detectou paralisia hemidiafragmática completa em 34% dos pacientes submetidos a bloqueio supraclavicular – 44% se incluir disfunção parcial.

O bloqueio **infraclavicular** reduz drasticamente esse risco (3% de paralisia completa), mas não o elimina totalmente.

Entre os fatores relacionados à anestesia, além da anestesia regional, são causas de disfunção diafragmática:¹

O bloqueio do plexo braquial pela via **interescalênica** é o mais utilizado em cirurgias de ombro. Esse bloqueio causa paresia diafragmática ipsilateral em 100% dos pacientes,² pois o nervo frênico está localizado na fáscia sobre o músculo escaleno anterior.¹

Para o bloqueio **supraclavicular**, um estudo³ detectou paralisia hemidiafragmática completa em 34% dos pacientes submetidos a bloqueio supraclavicular – 44% se incluir disfunção parcial.

O bloqueio **infraclavicular** reduz drasticamente esse risco (3% de paralisia completa), mas não o elimina totalmente.

Entre os fatores relacionados à anestesia, além da anestesia regional, são causas de disfunção diafragmática:¹

- **Sedação excessiva:** Foi demonstrado que efeito residual do midazolam piora a função diafragmática, quando comparado com propofol ou dexmedetomidina.¹ Por outro lado, a dexmedetomidina não parece prejudicar a função diafragmática.⁴
- **Bloqueio neuromuscular.**
- **Assistência ventilatória prolongada ou excessiva,** levando à atrofia por desuso. A disfunção do diafragma induzida por ventilação mecânica pode ocorrer em até 80% dos pacientes submetidos a este suporte. Estudos humanos mostram que a atrofia diafragmática pode ocorrer entre 12 e 24 horas após o início da ventilação mecânica, agravando-se com o tempo; cerca de 50% dos pacientes não recuperam a função do diafragma nas primeiras 24 horas.¹
- **Lesão por sobrecarga,** induzida por esforço inspiratório excessivo e assistência respiratória insuficiente.

CONSEQUÊNCIAS

Unilateral

Com o diafragma contralateral funcionando normalmente, ocorre uma redução de 25% na função pulmonar.² Na maioria dos casos, a disfunção unilateral é compensada pelo hemidiafragma contralateral e pela musculatura intercostal, a menos que haja comorbidades como obesidade ou doença pulmonar crônica. O diagnóstico costuma ser incidental, por radiografia, através da elevação de um hemidiafragma.¹

Em pacientes portadores de **doença pulmonar grave** a perda da função diafragmática, mesmo unilateral, pode demandar suplementação de oxigênio ou suporte ventilatório no pós-operatório.²

Atenção especial também deve ser dada em pacientes com reserva funcional reduzida, como aqueles com **obesidade ou apneia do sono**, uma vez que o risco de redução clinicamente significativa da função pulmonar é aumentado nessas condições.²

Durante o sono REM, o diafragma é o principal músculo inspiratório, justificando a piora dos sintomas à noite.¹

Bilateral

frequentemente sintomática, com dispneia acentuada, intolerância à posição supina, fadiga, hipoventilação, hipoxemia e, eventualmente, insuficiência respiratória crônica.¹ Justamente por isso, se diz que o bloqueio interescalênico bilateral deve ser sempre evitado.²

A disfunção diafragmática pode predispor à infecções pulmonares, atelectasia, insuficiência respiratória, e está associada a complicações pós-operatórias, especialmente após cirurgias torácicas.

DIAGNÓSTICO

A paralisia do diafragma pode ser prontamente diagnosticada à beira do leito com o uso do ultrassom e o anestesista deve se lembrar desse exame, caso haja suspeita.

Mas atenção:

- Em pacientes sob ventilação mecânica, a movimentação diafragmática se torna passiva, o que inviabiliza o diagnóstico ultrassonográfico.
- Possibilidade de confusão diagnóstica entre paralisia do diafragma e acinesia da cúpula diafragmática em quadros como pneumonia grave.

PAPEL DO POCUS

O diafragma é o principal músculo da inspiração, responsável por cerca de 70% do volume corrente inspirado. A ultrassonografia à beira-leito (POCUS) do diafragma permite avaliação quantitativa de sua função, monitoramento seriado e visualização de estruturas adjacentes⁵, sendo altamente sensível (93%) e específica (100%) para disfunção deste músculo.¹

A ultrassonografia pode ser utilizada para avaliar a estrutura muscular, mobilidade, atividade e função do diafragma. As avaliações sonográficas mais comuns do diafragma incluem:

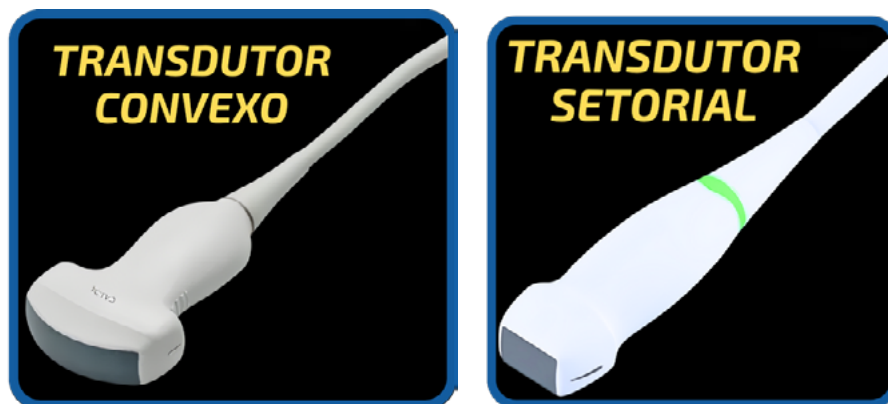
1. Excursão diafragmática
2. Espessura do diafragma
3. Fração de espessamento do diafragma

A ultrassonografia point-of-care (POCUS) do diafragma é majoritariamente dedicada a prognosticar o desmame ventilatório de pacientes internados. Para o anestesista, o mais importante provavelmente é a capacidade de **determinar se há ou não paralisia diafragmática** após bloqueios ou cirurgias de risco.

PREPARAÇÃO

SELEÇÃO DO TRANSDUTOR ⁶

Transdutores de baixa frequência (2 a 5 megahertz), seja do tipo setorial (utilizado em ecocardiografia) ou curvilíneo (usado em exames abdominais), podem ser empregados para mensurar a excursão do diafragma.



PREPARAÇÃO DO PACIENTE ⁶

A avaliação da excursão do diafragma deve ser realizada **sem suporte ventilatório**. Isso se deve ao fato de que a pressão positiva promovida pela insuflação do ventilador também resulta em deslocamento caudal do diafragma, não sendo possível distinguir esse deslocamento daquele decorrente do esforço muscular do paciente.

Além disso, o nível de pressão positiva ao final da expiração (**PEEP**) deve ser o mais baixo possível, desde que seguro, pois essa pressão promove posição mais caudal do diafragma e pode interferir na capacidade do músculo em gerar excursão.⁶

AVALIAÇÃO OBJETIVA CONFORME PROTOCOLO BLUE

POSICIONAMENTO DO TRANSDUTOR

Primeiro relembre os três pontos de referência do protocolo BLUE:

- **Ponto BLUE superior:** Meio da mão superior - entre a raiz do terceiro e do quarto dedo.
- **Ponto inferior BLUE:** Meio da palma da mão inferior.
- **Ponto PLAPS, do inglês Postero Lateral Alveolar and/or Pleural Syndrome point:** Localizado na linha axilar posterior, alinhado com o ponto BLUE inferior.

A janela para acesso do diafragma pode estar em um dos dois lugares abaixo descritos:

1. **Podemos usar o ponto frênico descrito por Lichenstein:**⁷ A interseção entre a linha axilar média e a linha horizontal tocada pelo dedo mínimo mão inferior.
2. **Janela alternativa:** Insonar diretamente 2 espaços abaixo do PLAPS.

INTERPRETAÇÃO

1. Se houver lung sliding, confirma-se que o diafragma daquela região não está paralisado.
2. Também é possível observar o deslocamento inspiratório e expiratório do fígado ou baço, recurso que fornece a mesma informação dinâmica e pode ser mais fácil de medir.

Paralisia:

Manifesta-se por abolição do deslizamento pulmonar, elevação da cúpula, cúpula imóvel ou movimento paradoxal, ausência de espessamento inspiratório (para quem domina essa avaliação).

MEDIDA OBJETIVA: EXCURSÃO DIAFRAGMÁTICA

JANELA

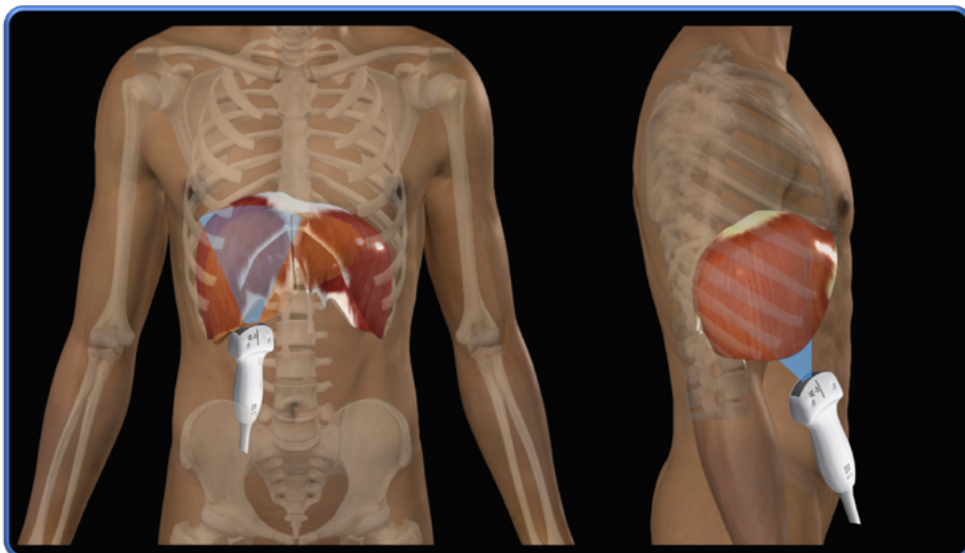
Ambos os hemidiafragmas podem ser visualizados à ultrassonografia, entretanto, o hemidiafragma esquerdo é de avaliação mais difícil devido à janela acústica limitada através do baço.

Posição do paciente

Decúbito supino ou semi-recumbente.

A janela acústica é obtida através do fígado ou do baço:⁵

- **Lado Direito:** geralmente se utiliza a janela subcostal e o fígado serve como janela acústica). O probe posicionado na linha médio-clavicular⁵ ou **entre a linha hemiclavicular e axilar anterior**, imediatamente abaixo do rebordo costal, em orientação oblíqua ou longitudinal.⁸ O transdutor deve ser orientado para cima, para trás e medialmente, para obter a melhor visualização do hemidiafragma movendo-se durante o ciclo respiratório.⁶ O objetivo é realizar a aferição no terço posterior do diafragma, aproximadamente 5 cm lateral à veia cava inferior.⁹



- **Lado Esquerdo:** Transdutor subcostal ou intercostal baixo, entre a linha médio-clavicular e axilar anterior¹⁰ ou entre as linhas axilar anterior e média.⁸ Há quem recomende manter o transdutor posicionado diretamente na linha médio-axilar, para visualizar o diafragma através do baço.¹¹

Muitos trabalhos usam apenas a janela direita. No entanto, se possível, recomenda-se comparar ambos os lados para analisar a simetria e identificar fraqueza ou paralisia unilateral.

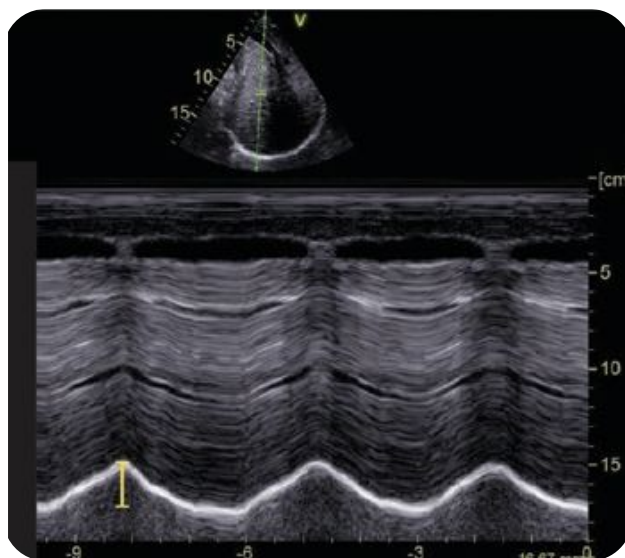
O diafragma aparece como uma linha hiperecogênica sobre os órgãos sólidos abdominais. Essa linha brilhante na verdade é formada pelas camadas pleural e peritoneal que circundam o diafragma; mas essas camadas não são nitidamente separadas pelo ultrassom.⁶

Inicialmente, utiliza-se o **modo B** para identificar a melhor posição da sonda. Em seguida, ativa-se o **modo M** para mensurar a excursão diafragmática, posicionando a linha M perpendicular ao diafragma e alinhada com seu movimento.⁶

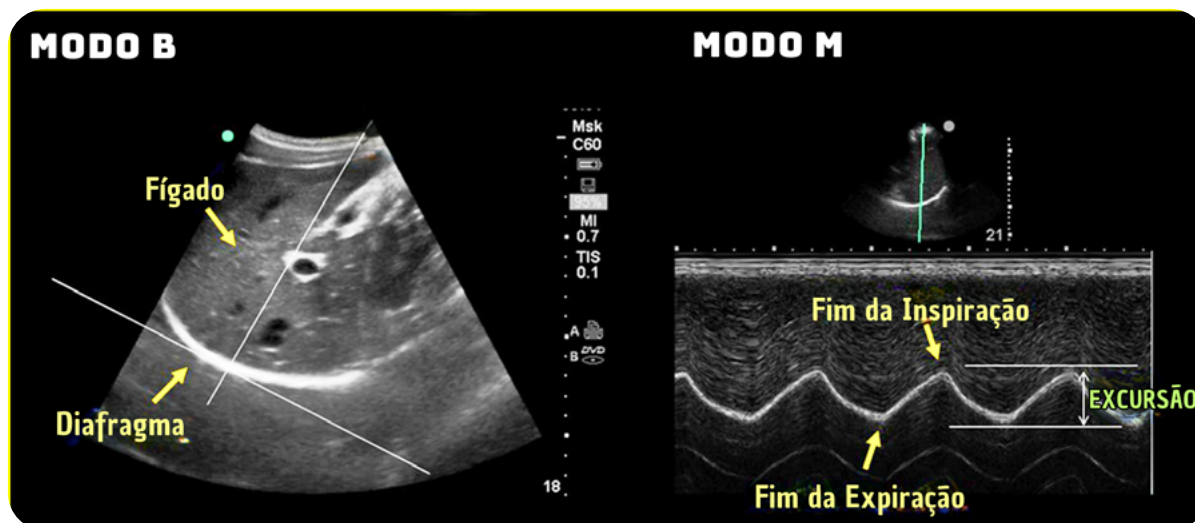


A profundidade do feixe de ultrassom deve ser ajustada para captar a totalidade da excursão diafragmática e a velocidade de varredura deve ser ajustada para o menor valor possível, de modo a registrar **pelo menos três ciclos respiratórios na mesma imagem**.⁵

Durante a inspiração, o diafragma move-se caudalmente, de modo que a linha hiperecogênica aproxima-se do transdutor.⁶



Observação: Nem sempre é possível conseguir aplicar o modo M de maneira perfeitamente perpendicular ao eixo da excursão diafragmática. O estudo de Spadaro⁸ exemplifica isso:



MEDIDA DA EXCURSÃO DIAFRAGMÁTICA

É quantificada como a amplitude do movimento durante a respiração, medida pela distância perpendicular entre o final da expiração e o final da inspiração (intervalo amarelo, na imagem anterior).

Devido à variabilidade entre respirações, recomenda-se calcular a **MÉDIA de 3 a 5 ciclos respiratórios**.⁶

O limite inferior da normalidade para excursão do diafragma em mulheres e homens é de 0,9 centímetros e 1 centímetro durante a respiração tranquila; 3,7 centímetros e 4,7 centímetros durante a respiração profunda; e 1,6 centímetros e 1,8 centímetros durante a manobra de sniff, respectivamente.

LIMITE INFERIOR DA NORMALIDADE PARA EXCURSÃO DO DIAFRAGMA ^{6,12}		
	HOMENS	MULHERES
RESPIRAÇÃO TRANQUILA	1 cm	0,9 cm
RESPIRAÇÃO PROFUNDA	4,7 cm	3,6-3,7 cm
SNIFF	1,7-1,8 cm	1,6 cm

o termo sniffing refere-se ao **sniff maneuver**, que consiste em uma inspiração nasal rápida e vigorosa, semelhante ao ato de "farejar" rapidamente.

Em pacientes criticamente enfermos, excursão diafragmática inferior a **1,1 cm** durante a respiração tranquila e inferior a **2,5 cm** durante esforço inspiratório máximo tem sido utilizada para diagnosticar disfunção do diafragma e prever o desfecho do desmame da ventilação mecânica.⁶

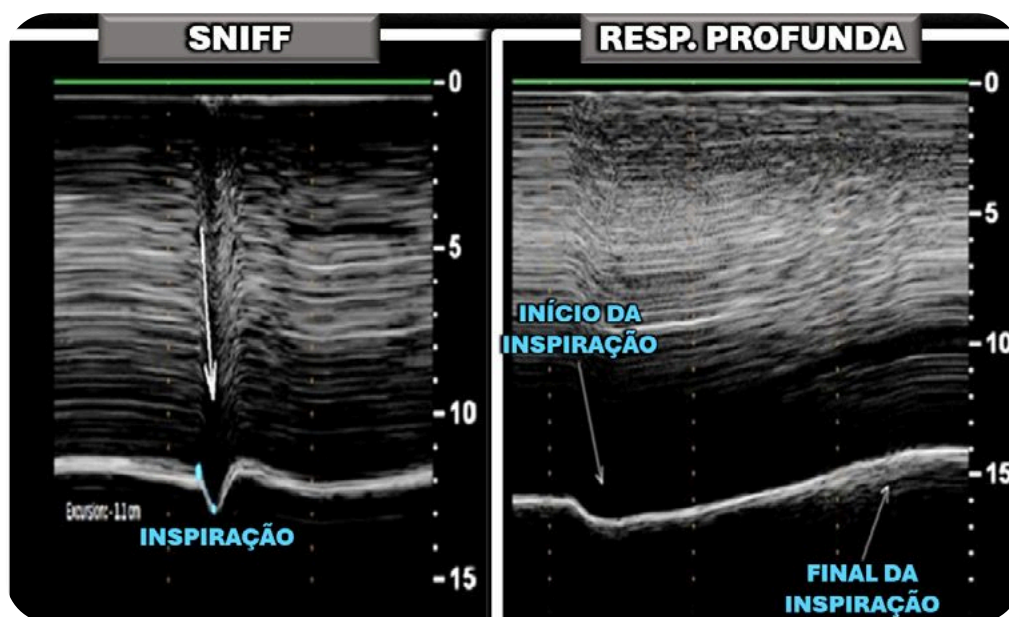
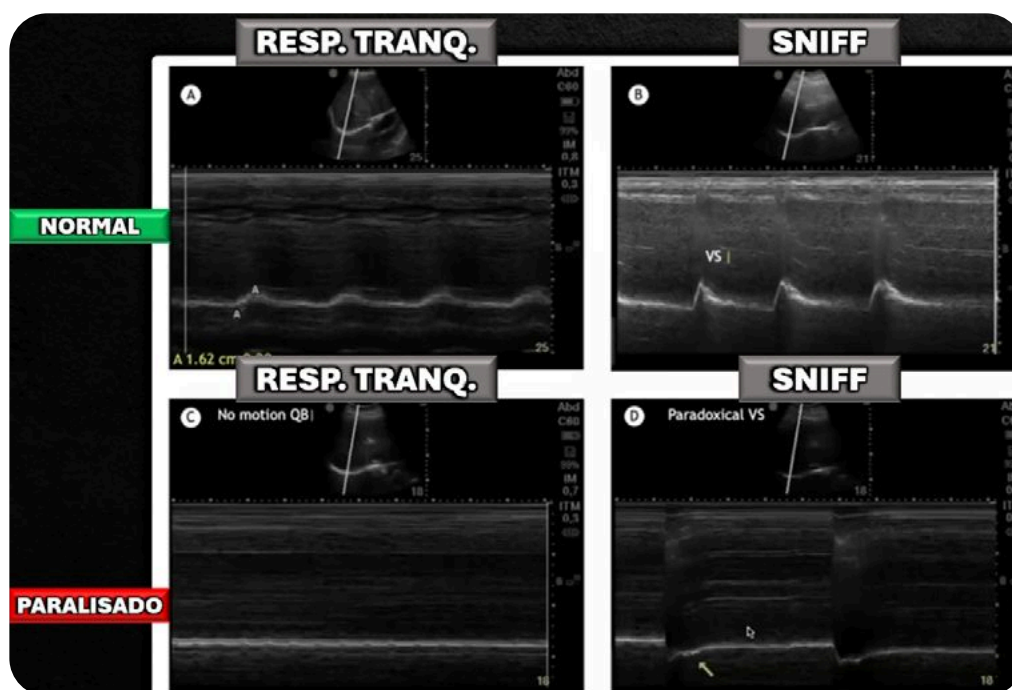
De modo mais fácil de memorizar, muitos autores definem disfunção diafragmática é definida como excursão em respiração tranquila **< 10 mm** no hemidiafragma avaliado.⁸

Uma metanálise¹³ envolvendo um total de 816 pacientes constatou que essa medida é capaz de prever falha de extubação com:

- Sensibilidade: 71%.
- Especificidade: 80%.
- Área sob a curva ROC: 0,82.

Ou seja, a ausência de disfunção diafragmática ao ultrassom não exclui o risco de falha na extubação, mas a presença de disfunção carrega um risco considerável de que a falha realmente aconteça.

Além disso, a presença de **movimento paradoxal**, caracterizado por deslocamento cranial do diafragma durante a fase inicial da inspiração, indica disfunção grave/paralisia, especialmente durante a respiração profunda e a manobra de sniff.



BLOQUEIO NEUROMUSCULAR RESIDUAL?

Um estudo¹⁸ avaliou se a ultrassonografia do diafragma poderia ajudar a identificar curarização residual no pós-operatório, usando o TOF como padrão-ouro. O trabalho incluiu 75 pacientes submetidos a cirurgias não abdominais nem torácicas sob anestesia geral, avaliados imediatamente após a extubação.

O que foi considerado “curarização residual”?

TOF ratio < 0,9 antes da extubação.

Resultados

Uma excursão diafragmática com inspiração máxima inferior a $< 3,88$ cm teve sensibilidade de 85,4% e especificidade de 64,7% para curarização residual.

Atenção

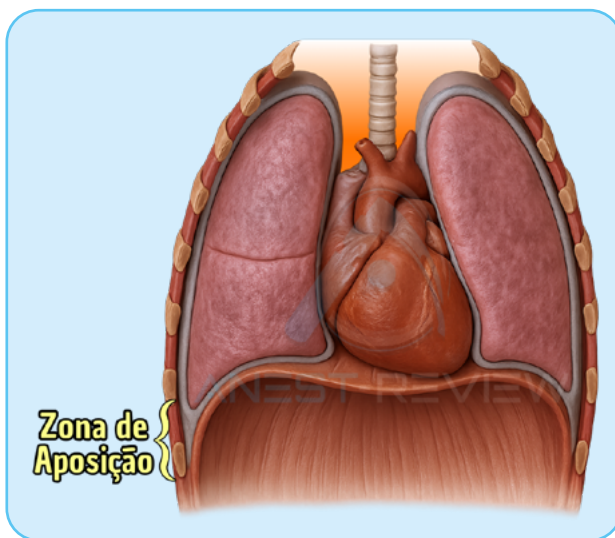
Guarde como mera curiosidade! Não vamos sair por aí trocando o TOF pelo transdutor linear!

ESPESSURA DO DIAFRAGMA E FRAÇÃO DE ESPESSAMENTO

JANELA – ZONA DE APOSIÇÃO

A zona de aposição (ZOA)

É a região onde as fibras musculares do diafragma estão em contato direto com a parede torácica interna, sem interposição do pulmão.



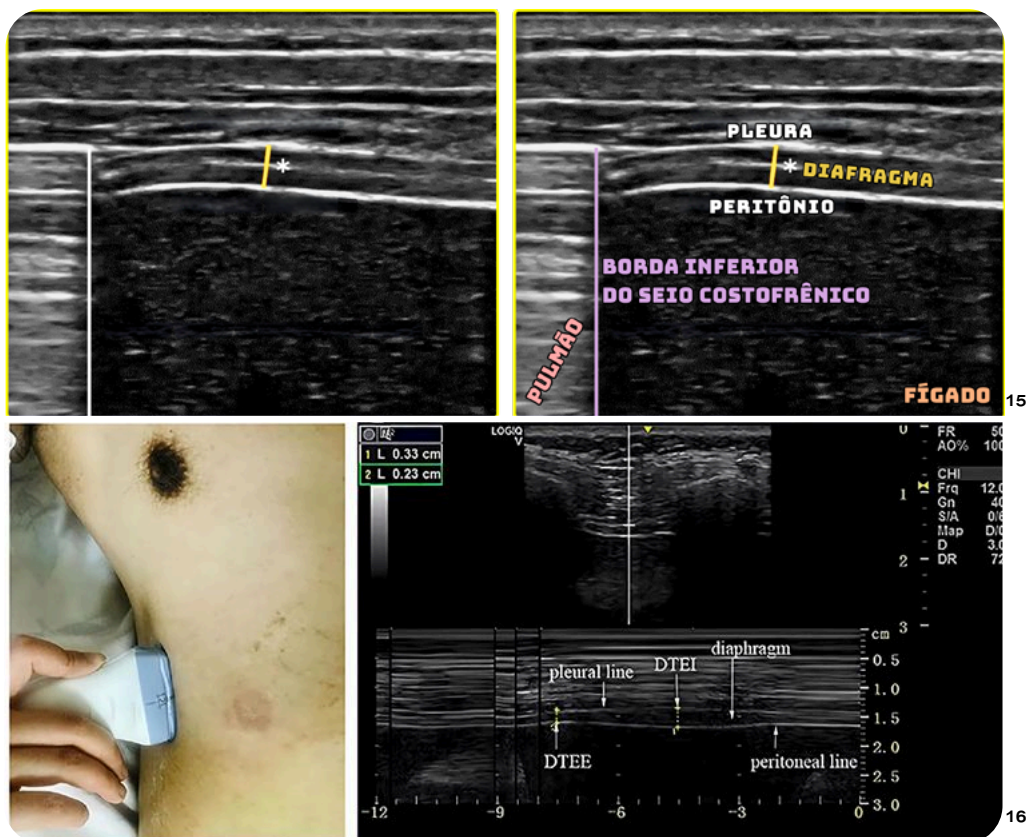
O diafragma na zona de aposição é uma estrutura muito fina e superficial, exigindo, portanto, um **transdutor linear** de alta frequência (10–15 MHz) para sua identificação.⁶ O paciente deve estar em posição supina ou semi-reclinada.

O transdutor deve ser posicionado no eixo longitudinal, com o marcador apontado para a cabeça do paciente, entre o 8º e o 11º espaço intercostal, entre a linha axilar anterior e a linha hemiclavicular.^{6,14}



A espessura do diafragma pode ser mensurada utilizando a abordagem intercostal **na zona de apoio** – local onde o diafragma se fixa à caixa torácica, geralmente entre o oitavo e o décimo primeiro espaço intercostal entre a **linha axilar anterior e a linha axilar média**. Nessa janela deve haver quase ou nenhum movimento do pulmão.

O **diafragma** é identificado como uma estrutura trilaminar, sendo uma estrutura de baixa ecogenicidade localizada entre a **pleura parietal** e o **peritônio**, a uma profundidade de 2-4 cm da pele.⁶ Frequentemente, identifica-se uma terceira linha brilhante hiperecogênica no centro da estrutura hipoecogênica, que corresponde à camada fibrosa do diafragma.⁶



Diferentemente da avaliação da excursão do diafragma, a espessura do diafragma pode ser mensurada tanto sob ventilação mecânica assistida quanto durante a respiração espontânea.

MEDIDA DA ESPESSURA

Para avaliar a espessura do diafragma, pode-se utilizar tanto o modo B quanto o modo M, devendo o transdutor ser posicionado perpendicularmente ao diafragma. A espessura é medida como a distância entre as duas linhas hiperecogênicas ao final da expiração (espessura basal) e ao **final da inspiração**.

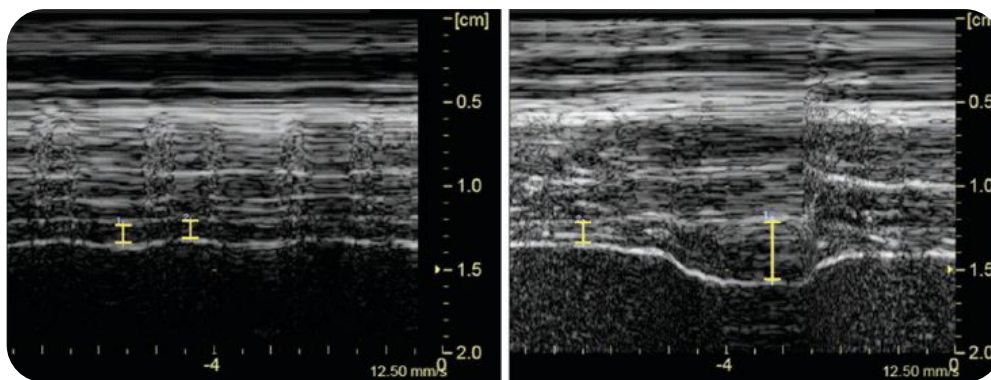
- A pleura e o peritônio não devem ser incluídos na mensuração.¹⁴
- Recomenda-se utilizar o valor médio da espessura do diafragma obtido em três a cinco respirações, devido à variabilidade entre os ciclos respiratórios.⁶

De acordo com o consenso internacional (EXODUS), o critério definido para **atrofia** do diafragma é uma **redução igual ou superior a 10%** da espessura do diafragma em relação ao valor basal – usado para pacientes em ventilação mecânica prolongada. Redução de **>75%** da espessura sugere paralisia completa.¹⁶

O uso de valores absolutos é menos confiável, especialmente em indivíduos de baixo peso. Apenas para referência, a espessura normal ao final da expiração fica entre **2.2 e 3.3 mm**, mas o limite inferior da normalidade é de pelo 1.5 mm – alguns trabalhos sugerem valores ainda menores.^{6,9}

FRAÇÃO DE ESPESSAMENTO

Durante a inspiração, observa-se aumento da espessura do diafragma em virtude da contração e do encurtamento ativo das fibras musculares. Observe:



Esquerda: Ventilação espontânea sem esforço.
Direita: Inspiração máxima.

Durante a inspiração, observa-se aumento da espessura do diafragma em virtude da contração e do encurtamento ativo das fibras musculares. Observe:

$$\text{FRAÇÃO DE ESPESSAMENTO} = \left(\frac{\text{ESPESSURA AO FINAL DA INSPIRAÇÃO} - \text{ESPESSURA AO FINAL DA EXPIRAÇÃO}}{\text{ESPESSURA AO FINAL DA INSPIRAÇÃO}} \right) \times 100\%$$

Aqui também, o recomendado é medir 3-5x e calcular o valor médio.⁶

Valores habituais:

- Respiração tranquila: Aproximadamente 20-30%.
- Esforço máximo: Aproximadamente 70-160%.

Uma fração de espessamento **< 20-36% durante esforço máximo** é utilizada como ponto de corte para detecção de disfunção diafragmática.^{6,13}

Para prever falha de extubação, o ponto de corte de 30% tem:¹³

- Sensibilidade para falha de extubação: 70%.
- Especificidade para falha de extubação: 84%.
- Área sob a curva para falha de extubação: 82%.

Vários estudos individuais definem disfunção diafragmática usando $< 20\%$, mas ainda sem metanálise consolidada com estatísticas agrupadas para esse limiar.

Um estudo prospectivo que incluiu 52 pacientes adultos intubados há mais de 24 horas¹⁷ observou que os pacientes com **fração de espessamento $> 20\%$** e que necessitavam de pressão de suporte de apenas 5 cmH₂O e PEEP de 5 cmH₂O tinham boa probabilidade de sucesso na extubação:

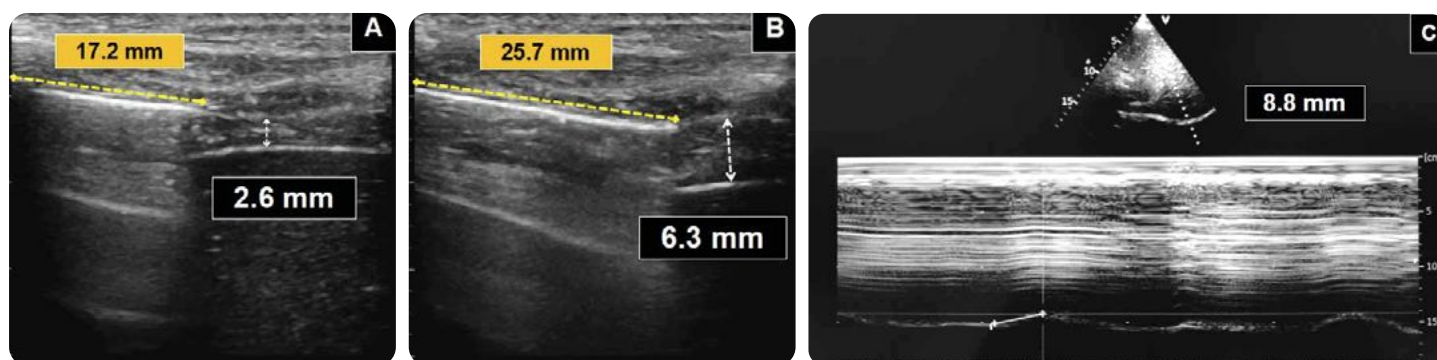
- Sensibilidade para sucesso de extubação: 84,6%.
- Especificidade para sucesso de extubação: 79,0%.

Assim, é provável que a fração de espessamento passe a compor muitos protocolos de desmame ventilatório no futuro.

RELATO DE CASO ¹¹

O exame abaixo foi feito em um paciente masculino de 48 anos com insuficiência respiratória, frequência respiratória de 43 respirações por minuto e saturação de oxigênio de 79%. O ultrassom a beira-leito afastou as suspeitas edema, pneumonia, pneumotórax e embolia pulmonar significativa.

A ultrassonografia diafragmática foi realizada: A espessura do diafragma era normal, bem como sua fração de espessamento (142%). No entanto, a excursão diafragmática foi de apenas **8,8 mm**.



A discrepância levou à suspeita de **uma obstrução da via aérea**. O time de broncoscopia foi acionado e encontrou plugs mucosos tingidos de sangue obstruindo a via aérea do paciente.

REFERÊNCIAS

1. Hu J, Guo R, Li H, Wen H, Wang Y. Perioperative Diaphragm Dysfunction. J Clin Med [Internet]. 17 de janeiro de 2024 [citado 9 de junho de 2025];13(2):519. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/2/519>
2. Ch. 51 - Anesthesia for Orthopedic Surgery. Em: Barash, Cullen, and Stoelting's Clinical Anesthesia. 9th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2023.
3. Petrar SD, Seltenrich ME, Head SJ, Schwarz SKW. Hemidiaphragmatic Paralysis Following Ultrasound-Guided Supraclavicular Versus Infraclavicular Brachial Plexus Blockade: A Randomized Clinical Trial. Reg Anesth Pain Med [Internet]. 2015 [citado 9 de junho de 2025];40(2):133–8. Disponível em: <https://rapm.bmj.com/lookup/doi/10.1097/AAP.0000000000000215>
4. Yun HJ, Hong D, Kim SJ, Chung HW, Chung HS. Effects of Dexmedetomidine on Diaphragm Activity Measured by Ultrasonography in Spontaneously Breathing Patients. Int J Med Sci [Internet]. 2022 [citado 11 de junho de 2025];19(11):1631–7. Disponível em: <https://www.medsci.org/v19p1631.htm>
5. Chu SE, Lu JX, Chang SC, Hsu KH, Goh ZNL, Seak CK, et al. Point-of-care application of diaphragmatic ultrasonography in the emergency department for the prediction of development of respiratory failure in community-acquired pneumonia: A pilot study. Front Med [Internet]. 17 de agosto de 2022 [citado 9 de junho de 2025];9:960847. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2022.960847/full>
6. Jonkman AH, Rittayamai N, Schreiber A, Brochard L, Goffi A. Ultrasound Assessment of the Respiratory Muscles. Em: Robba C, Messina A, Wong A, Vieillard-Baron A, organizadores. Basic Ultrasound Skills “Head to Toe” for General Intensivists [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2023 [citado 9 de junho de 2025]. p. 137–68. (Lessons from the ICU). Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-32462-8_11
7. Lichtenstein DA. Lung Ultrasound in the Critically Ill: The BLUE Protocol. Cham: Springer; 2016. 376 p. (SpringerLink Bücher).
8. Spadaro S, Grasso S, Dres M, Fogagnolo A, Dalla Corte F, Tamburini N, et al. Point of Care Ultrasound to Identify Diaphragmatic Dysfunction after Thoracic Surgery. Anesthesiology [Internet]. agosto de 2019 [citado 9 de junho de 2025];131(2):266–78. Disponível em: <https://journals.lww.com/10.1097/ALN.0000000000002774>
9. Ali ER, Mohamad AM. Diaphragm ultrasound as a new functional and morphological index of outcome, prognosis and discontinuation from mechanical ventilation in critically ill patients and evaluating the possible protective indices against VIDD. Egypt J Chest Dis Tuberc [Internet]. abril de 2017 [citado 11 de junho de 2025];66(2):339–51. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S042276381630228X>
10. Kharasch SJ, Salandy S, Hoover P, Kharasch V. Review of Point-of-Care Diaphragmatic Ultrasound in Emergency Medicine. Pediatr Emerg Care. 2025;41(1).
11. Zhao H, Liu K, Yan Y, Muhetaer Y, Li L. Diaphragm excursion and diaphragm thickening fraction: commonality and conflict. Eur Respir Rev [Internet]. abril de 2025 [citado 11 de junho de 2025];34(176):240285. Disponível em: <https://publications.ersnet.org/lookup/doi/10.1183/16000617.0285-2024>

12. Schepens T, Mtaweh H. Muscle Dysfunction in Critically Ill Children. Em: Vincent JL, organizador. Annual Update in Intensive Care and Emergency Medicine 2020 [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [citado 9 de junho de 2025]. p. 583–94. (Annual Update in Intensive Care and Emergency Medicine). Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-37323-8_44
13. Le Neindre A, Philippart F, Luperto M, Wormser J, Morel-Sapene J, Aho SL, et al. Diagnostic accuracy of diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud* [Internet]. maio de 2021 [citado 11 de junho de 2025];117:103890. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020748921000225>
14. Haaksma M. EXpert Opinion on Diaphragm UltraSound - The EXODUS study [Internet]. OSF Registries; 2021 [citado 9 de junho de 2025]. Disponível em: <https://osf.io/hm8ug/>
15. Yamada T, Minami T, Yoshino S, Emoto K, Mabuchi S, Hanazawa R, et al. Diaphragm Ultrasonography: Reference Values and Influencing Factors for Thickness, Thickening Fraction, and Excursion in the Seated Position. *Lung* [Internet]. fevereiro de 2024 [citado 11 de junho de 2025];202(1):83–90. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00408-023-00662-2>
16. Yao XY, Li HM, Sun BW, Zhang YY, Feng JG, Jia J, et al. Ultrasound assessment of diaphragmatic dysfunction in non-critically ill patients: relevant indicators and update. *Front Med* [Internet]. 18 de junho de 2024 [citado 9 de junho de 2025];11:1389040. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2024.1389040/full>
17. Blumhof S, Wheeler D, Thomas K, McCool FD, Mora J. Change in Diaphragmatic Thickness During the Respiratory Cycle Predicts Extubation Success at Various Levels of Pressure Support Ventilation. *Lung* [Internet]. agosto de 2016 [citado 11 de junho de 2025];194(4):519–25. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00408-016-9911-2>
18. Lang J, Liu Y, Zhang Y, Huang Y, Yi J. Peri-operative diaphragm ultrasound as a new method of recognizing post-operative residual curarization. *BMC Anesthesiol* [Internet]. dezembro de 2021 [citado 9 de junho de 2025];21(1):287. Disponível em: <https://bmcanesthesiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12871-021-01506-3>



ANEST-REVIEW

MED-REVIEW GROUP