

Como Eu Faço a Avaliação da Função Atrial Esquerda: Da Jornada Básica à Rigidez Atrial

My Approach to Left Atrial Function: From Basic Assessment to Atrial Stiffness

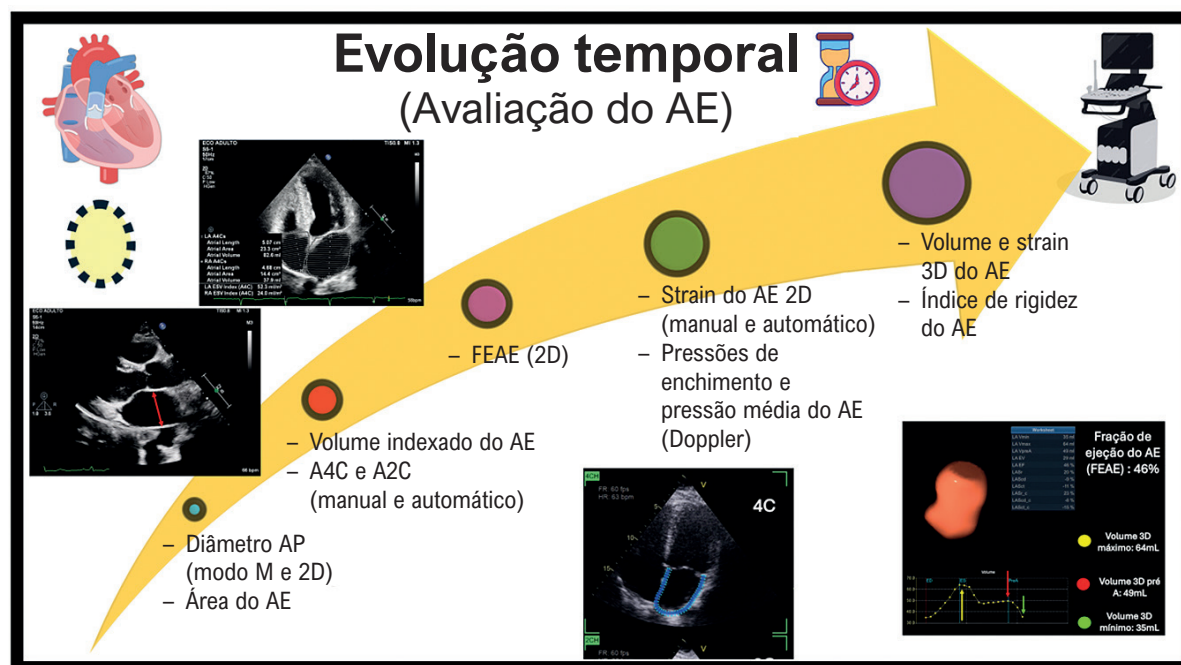
Halsted Alarcão Gomes Pereira da Silva,¹ Helder Moura Gomes,² Alexandre Costa Souza³

Hospital São Geraldo,¹ Juína, MT – Brasil

Hospital Metropolitano Dom José Maria Pires,² João Pessoa, PB – Brasil

Hospital São Rafael,³ Salvador, BA – Brasil

Figura Central: Como Eu Faço a Avaliação da Função Atrial Esquerda: Da Jornada Básica à Rigidez Atrial



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2026;39(2):e20260070

Evolução temporal da análise integrada do átrio esquerdo: ilustração prática da evolução tecnológica da ecocardiografia na avaliação da função atrial esquerda. 2D: bidimensional; 3D: tridimensional A2C: janela apical de duas câmaras; A4C: janela apical de quatro câmaras; AE: átrio esquerdo; AP: anteroposterior; FEAE: fração de ejeção do AE.

Palavras-chave

Strain, Átrio esquerdo; Fração de Ejeção

Correspondência: Halsted Alarcão Gomes Pereira da SilvaX • Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia. Rua Dr Dante Pazzanese, 500. CEP: 04012-909. São Paulo, SP – Brasil
E-mail: halstedufg@hotmail.com
Artigo recebido em 04/05/2026; revisado em 04/05/2026; aceito em 04/05/2026
Editor responsável pela revisão: Marcelo Tavares

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20260070>

Resumo

O átrio esquerdo (AE) foi historicamente considerado uma câmara passiva de condução do fluxo sanguíneo entre as veias pulmonares e o ventrículo esquerdo (VE). Avanços no entendimento da fisiologia cardiovascular e nas técnicas de imagem evidenciaram seu papel ativo na modulação do débito cardíaco, na função diastólica ventricular e na estratificação das diversas cardiopatias. A avaliação do AE evoluiu ao longo dos anos para uma abordagem funcional multiparamétrica, consolidando-se como componente essencial do exame ecocardiográfico

moderno. A incorporação sistemática de parâmetros volumétricos, strain atrial e rigidez atrial permite caracterização mais precisa da fisiopatologia cardiovascular e aprimora a estratificação prognóstica, sustentando decisões clínicas mais embasadas.

Introdução

O átrio esquerdo (AE) foi por muitos anos analisado apenas como um segmento de transição do fluxo entre as veias pulmonares e o ventrículo esquerdo (VE), a bomba considerada primordial do coração. Com o passar dos anos e o melhor entendimento da fisiologia dos fluxos sistodiastólicos, este conceito deu lugar ao de uma cavidade que apresenta papel fundamental na manutenção de um adequado débito cardíaco, assim como foi sedimentado a compreensão de que alterações relacionadas ao mesmo influenciam diretamente as pressões pulmonares e a hemodinâmica das cavidades direitas.

Neste artigo de revisão, iremos discutir desde os conceitos mais básicos relacionados ao AE, até as novas fronteiras que surgiram com a compreensão da complexa mecânica que esta cavidade apresenta em relação ao funcionamento cardíaco (Figura Central).

Conceitos anatômicos e funcionais do AE

O AE está localizado na posição mais posterior do coração, ligeiramente acima e atrás do átrio direito (AD). Ele é separado do AD por uma parede fibromuscular denominada septo interatrial. A parte posterior do AE é lisa e recebe, geralmente, quatro veias pulmonares (duas superiores e duas inferiores), que trazem sangue oxigenado dos pulmões. A porção anterior do AE é trabeculada e contém músculos pectíneos, que são menos numerosos do que os do AD.

Esta câmara atrial cumpre três funções fisiológicas principais que influenciam o enchimento e o desempenho do VE (Figura 1).¹

- 1. Função de reservatório:** Nesta fase, o AE funciona como um reservatório, recebendo o sangue oriundo das veias pulmonares. Inicia-se com o fechamento da valva mitral (contração isovolumétrica), englobando a sístole ventricular, e se estende até o relaxamento isovolumétrico.
 - **Principais moduladores:** A função de reservatório do AE é modulada tanto pela contração biventricular quanto pela complacência do AE (relaxamento e rigidez da câmara).
- 2. Função de conduto:** Nesta fase, o AE atua como um conduto, com o fluxo ocorrendo de maneira passiva, originando-se nas veias pulmonares e dirigindo-se ao VE. Inicia-se imediatamente após a abertura da valva mitral, abrangendo o período de relaxamento ventricular inicial e a diástase. Seu término ocorre pouco antes da contração atrial (onda P no eletrocardiograma).
 - **Principais moduladores:** A função do conduto do AE é predominantemente modulada pelo relaxamento e pela complacência do VE, assim como pelas pressões diastólicas iniciais.
- 3. Função contrátil:** Nesta fase, há o esvaziamento ativo do átrio, contribuindo com 20% a 30% do débito cardíaco na ausência de cardiopatias. Inicia-se ao final da diástole ventricular, durante o período de contração atrial.
 - **Principais moduladores:** A função de contração do AE é modulada predominantemente pela pressão diastólica final do VE e pela contratilidade intrínseca do AE.

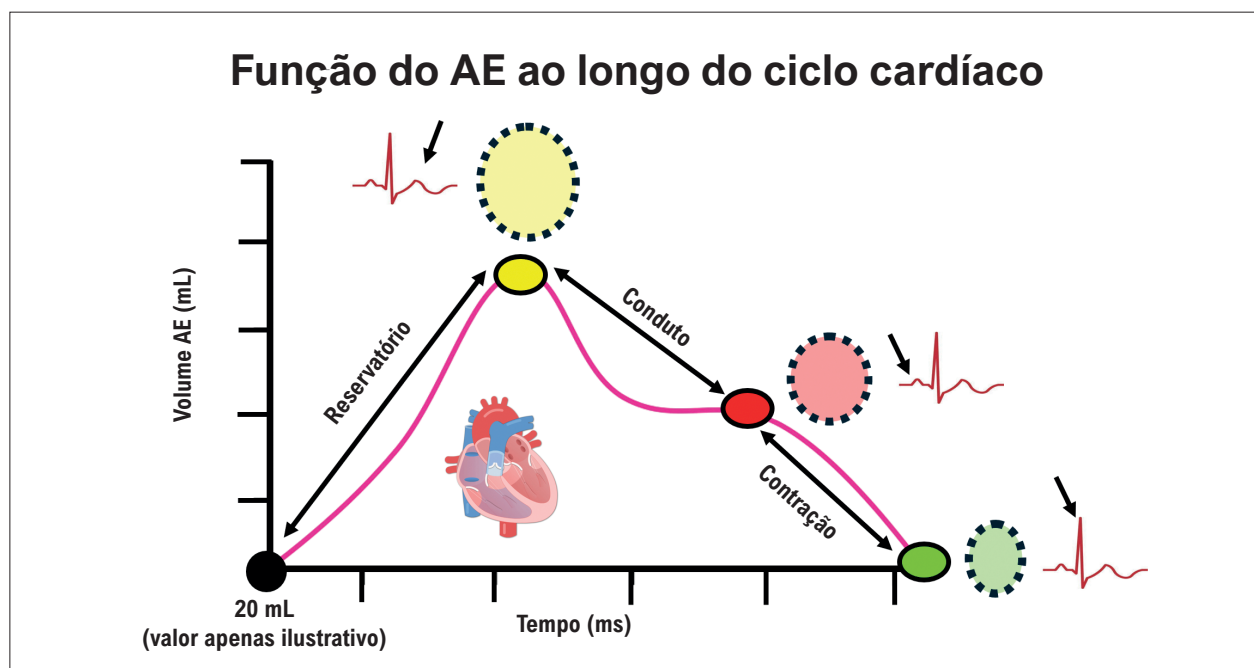


Figura 1 – Fases da função atrial esquerda ao longo do ciclo cardíaco. As fases de reservatório, conduto e contração são demonstradas considerando uma curva de volume $\times$ tempo. AE: átrio esquerdo. Fonte: Autores.

Atualmente é extensa a literatura que embasa o conhecimento da correlação prognóstica da função e do volume máximo do AE (VAEmax) em diversas condições como a fibrilação atrial (FA), insuficiência cardíaca (IC), doença coronária, insuficiência mitral, estenose mitral, disfunção diastólica, acidente vascular cerebral (AVC), cardiomiopatia hipertrófica e doença renal crônica.² Estes dados são de fundamental importância para a correta caracterização anatômica e funcional desta cavidade durante o exame ecocardiográfico, evitando diagnósticos equivocados e orientações terapêuticas inadequadas.

Dimensões lineares e medidas de área

O primeiro método de quantificação das dimensões do AE foi derivado de medidas lineares realizadas pelo modo M. Esse parâmetro foi fundamental para estabelecer valores de normalidade e acompanhamento, permitindo que estudos fossem realizados com medidas mais regulares e com baixa variabilidade no acompanhamento longitudinal. A medida de dimensão linear mais amplamente utilizada é a do diâmetro anteroposterior do AE no eixo paraesternal longitudinal utilizando a ecocardiografia pelo modo M inicialmente, posteriormente realizada pelo modo M anatômico e mais atualmente guiado pelo ecocardiograma bidimensional (2D).

Vale a pena ressaltar que a avaliação do tamanho do AE utilizando apenas o diâmetro anteroposterior assume que, quando o AE aumenta de tamanho, todas as suas dimensões mudam de forma proporcional, o que na maioria das vezes não é o que realmente ocorre durante o remodelamento atrial.

A área do AE apareceu como um parâmetro de análise mais acurado que o diâmetro anteroposterior para quantificar o tamanho tanto do AE quanto do AD. Para esta medida a planimetria da área atrial deve ser realizada nas janelas apicais de quatro e duas câmaras, e valores de normalidade para essas cavidades foram padronizados e estabelecidos ao longo dos anos ($AE \leq 20 \text{ cm}^2$ e $AD \leq 18 \text{ cm}^2$). Apesar desta melhor acurácia em relação à medida de diâmetro, a avaliação da área não se mostrou um substituto perfeito já que, em última análise, a medida a ser

obtida é o volume atrial. Com a progressiva melhora da imagem 2D, associada à automatização da aquisição dos volumes e à literatura mais robusta existente sobre valores de normalidade e dados prognósticos dos volumes atriais, torna-se desnecessário, atualmente, o relato da área do AE no laudo final.¹

Avaliação de volumes do AE ao ecocardiograma 2D

A avaliação de volumes e sua correlação prognóstica apresenta sólida evidência científica. Considerações em relação à sua aquisição e medida são fundamentais para evitar erros de aferição e consequentemente interpretação clínica.

Primeiramente, deve-se entender que os eixos longitudinais do VE e do AE frequentemente se situam em planos diferentes; consequentemente, aquisições dedicadas do AE a partir da janela apical devem ser obtidas para medidas mais fidedignas do volume atrial. A base do AE deve estar em seu maior diâmetro de apresentação, indicando que o plano de imagem passa pela área máxima do eixo central. O comprimento também deve ser maximizado para garantir o correto alinhamento ao longo do verdadeiro eixo do AE (Figura 2).¹

Este comprimento é medido a partir do anel mitral até a parede superior do AE. Os comprimentos do eixo longo não devem apresentar variação maior que 5 mm entre as duas janelas ecocardiográficas. Se esta variação for maior que 5 mm, as imagens apicais devem ser reavaliadas. Ao traçar as bordas endocárdicas, o apêndice atrial esquerdo e as veias pulmonares devem ser excluídos da análise final.³

A maioria dos sistemas de ultrassom calcula de forma automática, após o correto delineamento do endocárdio atrial, o volume biplanar do AE usando tanto o método da área-comprimento quanto o método de soma de discos (Simpson modificado). Com o método da área-comprimento, o comprimento mais curto obtido (na janela de duas ou quatro câmaras) é utilizado para o cálculo do volume do AE. Com o método dos discos, a avaliação é contrária, de maneira que o maior dos dois comprimentos acaba sendo o utilizado.

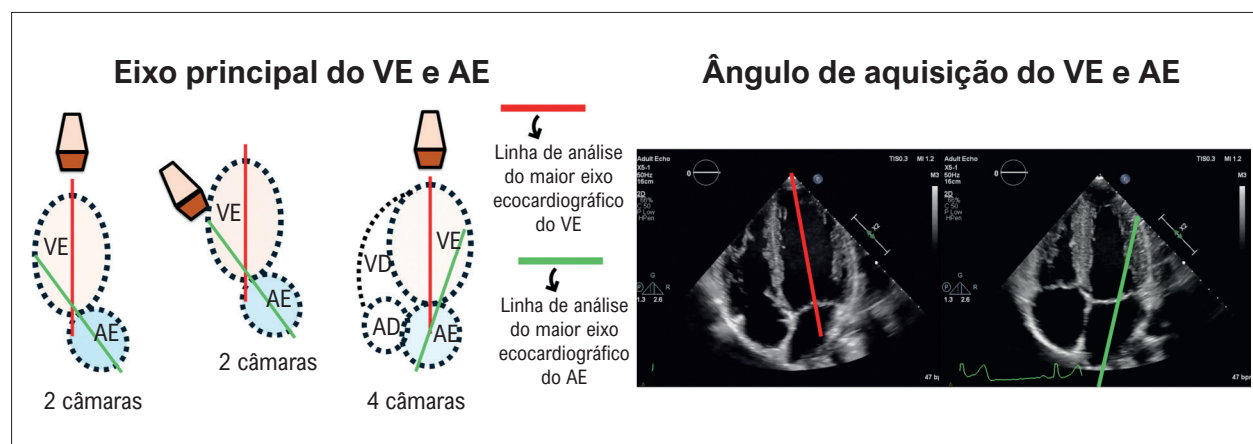


Figura 2 – Aquisição ecocardiográfica dedicada do AE. Na imagem à esquerda, evidenciam-se os planos de aquisição dos maiores eixos do AE e VE em um desenho esquemático. Na imagem à direita, observa-se a mesma representação esquemática ao ecocardiograma 2D nas janelas apicais de 4 e 2 câmaras. Os eixos longitudinais traçados para o AE (linha verde) e o VE (linha vermelha) estão em planos diferentes. AD: átrio direito; AE: átrio esquerdo; VD: ventrículo direito; VE: ventrículo esquerdo. Fonte: Autores.

Vale ressaltar que o método de área-comprimento produz sistematicamente volumes de AE maiores do que o método da soma de discos.¹

O método de discos é atualmente o recomendado para calcular o volume do AE segundo a Sociedade Americana de Ecocardiografia, pois envolve menor suposição sobre a forma geométrica do AE. Mais recentemente, o uso semiautomático do rastreamento de bordas endocárdicas tem fornecido volumes que se correlacionam bem com os volumes adquiridos pelo ecocardiograma tridimensional (3D), tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética cardíaca (RMC), ao mesmo tempo em que demonstram menor variabilidade entre observadores do que o traçado manual. Vale a pena destacar que, apesar da correlação, os volumes ecocardiográficos 2D sempre apresentarão valores menores que os adquiridos por métodos 3D. Como o cálculo do volume varia conforme a técnica, é importante que o laboratório utilize consistentemente a mesma técnica.^{1,4,5}

O tamanho do paciente é um dos principais determinantes do tamanho do AE, e os volumes absolutos do AE são maiores em homens do que em mulheres, deste modo a indexação pela área de superfície corporal (VAEi) corrige em parte o efeito desta variabilidade. Desde 2015, a diretriz de quantificação de câmaras cardíacas da Sociedade Americana de Ecocardiografia considera que valores de volumes indexados do AE $> 34 \text{ mL/m}^2$ são considerados patológicos. Este valor foi embasado em estudos observacionais com mais de 6 mil pacientes sem antecedentes de FA ou valvopatias, demonstrando que o volume indexado acima de 34 mL/m^2 foi preditor independente de morte, IC, FA e AVC (Figura 3).⁶

O maior problema com os valores de graduação atualmente recomendados (aumento discreto = 35 a 41 mL/m^2 , aumento

moderado = 42 a 48 mL/m^2 e aumento importante do AE $> 48 \text{ mL/m}^2$) é a estreita faixa entre as diferentes categorias. Assim, até mesmo pequenos erros de medição podem resultar na classificação incorreta do grau de aumento do AE.¹

Trabalho publicado por Esther et al. na revista *Journal of the American College of Cardiology* em 2022 demonstrou uma maior acurácia na classificação e estratificação da dilatação do AE ao se utilizar valores indexados pela altura e altura ao quadrado, em pacientes com sobrepeso e obesidade. Considerando dados individuais de mais de 17 mil pacientes, o uso de valores indexados pela altura reclassificou as alterações do AE em até 28% dos pacientes em comparação com a indexação pela superfície corporal, parâmetro classicamente utilizado na prática clínica. Para estes parâmetros, os valores de normalidade são apresentados na Tabela 1.⁷

Esses cálculos, mesmo com as várias correções de indexação adicionais, ainda consideram premissas geométricas que subestimam o volume final, o que também deve ser considerado na interpretação.^{1,4,5}

Avaliação da fração de ejeção do AE ao ecocardiograma 2D

Após a correta aquisição volumétrica do AE durante o ciclo cardíaco, um importante parâmetro de função atrial pode ser obtido, a fração de ejeção do AE (FEAE). Conforme apresentado na Figura 4,¹ a FEAE, semelhante à fração de ejeção do VE, é calculada considerando a variação volumétrica em diferentes fases, em três momentos do ciclo cardíaco:

- **Volume atrial ao final da sístole ventricular:** VAE_{max}
- **Volume atrial imediatamente antes da contração atrial:** volume do AE antes da onda P (VAE_{pre-A})

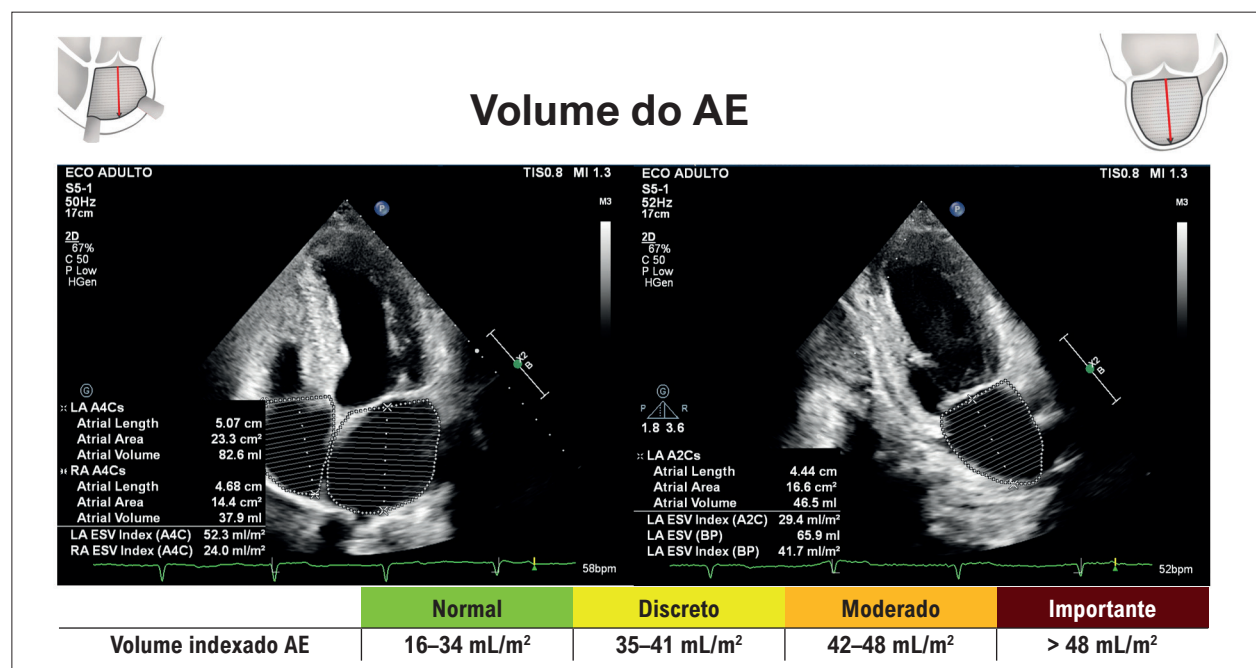
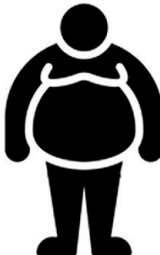


Figura 3 – Cálculo do volume do AE pelo método biplano (Simpson) e graduação de aumento segundo a diretriz da Sociedade Americana de Ecocardiografia 2015. AE: átrio esquerdo.

Tabela 1 – Valores de normalidade e dilatação do AE considerando a superfície corporal, altura e altura ao quadrado

 		Valor de normalidade	Dilatação do AE
	Volume indexado AE	Homem: $\leq 34 \text{ mL/m}^2$	Homem: $\geq 35 \text{ mL/m}^2$
	Superfície corporal	Mulher: $\leq 34 \text{ mL/m}^2$	Mulher: $\geq 35 \text{ mL/m}^2$
	Volume indexado AE	Homem: $\leq 35,7 \text{ mL/m}$	Homem: $\geq 35,8 \text{ mL/m}$
	Altura	Mulher: $\leq 33,7 \text{ mL/m}$	Mulher: $\geq 33,8 \text{ mL/m}$
	Volume indexado AE	Homem: $\leq 18,5 \text{ mL/m}^2$	Homem: $\geq 18,6 \text{ mL/m}^2$
	Altura ²	Mulher: $\leq 16,5 \text{ mL/m}^2$	Mulher: $\geq 16,6 \text{ mL/m}^2$

AE: átrio esquerdo. Adaptado de Davis et al.⁷

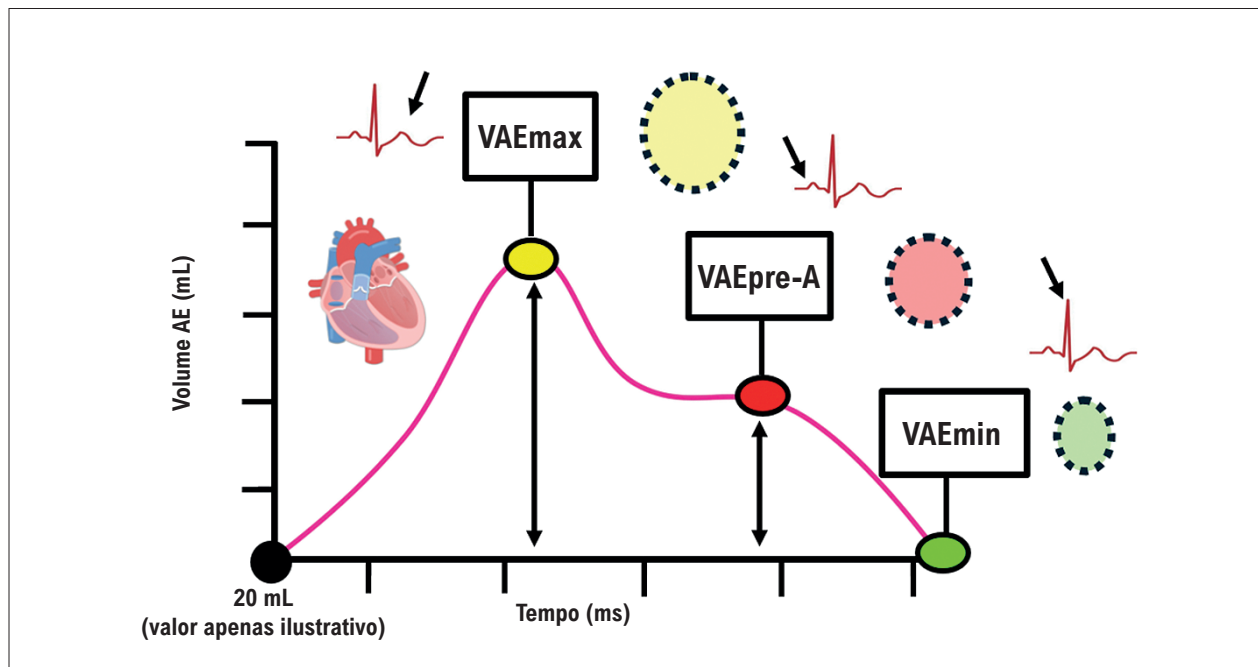


Figura 4 – Volumes do AE ao longo do ciclo cardíaco: VAEmax (fim da onda T), VAEpre-A (antes da onda P) e VAEmin (onda R). AE: átrio esquerdo; VAEmax: volume máximo do átrio esquerdo; VAEmin: volume mínimo do átrio esquerdo; VAEpre-A: volume do átrio esquerdo imediatamente antes da contração atrial.

- **Volume atrial ao final da diástole ventricular:** volume mínimo do AE (VAEmin).

Desses volumes obtêm-se três valores principais: a fração de ejeção total (reservatório) que considera o VAEmax e VAEmin, a fração de ejeção passiva (conduto) considerando o VAEmax e o VAEpre-A, e a fração de ejeção ativa (contração) que avalia o VAEpre-A e o VAEmin, conforme as fórmulas abaixo:¹

1. FEAE total (função global de reservatório) = $(VAE_{\text{max}} - VAE_{\text{min}}) / VAE_{\text{max}} \times 100$
2. FEAE passiva = $(VAE_{\text{max}} - VAE_{\text{pre-A}}) / VAE_{\text{max}} \times 100$
3. FEAE ativa = $(VAE_{\text{pre-A}} - VAE_{\text{min}}) / VAE_{\text{pre-A}} \times 100$

Observação: Na literatura, os termos fração de ejeção e fração de esvaziamento podem ser encontrados como equivalentes.

A Figura 5 apresenta um caso exemplificando o cálculo dos volumes do AE e suas respectivas fases, assim como a derivação da FEAE que, na maioria dos estudos, foi a análise que apresentou maior correlação prognóstica.^{1,8}

É importante notar que a fração de ejeção ativa, por ser dependente da contração atrial, não pode ser avaliada na ausência de ritmo sinusal.

Esses parâmetros podem ser avaliados por diferentes técnicas de imagem: 2D e 3D, TC ou RMC. Usando softwares dedicados para quantificação do volume do AE, a avaliação

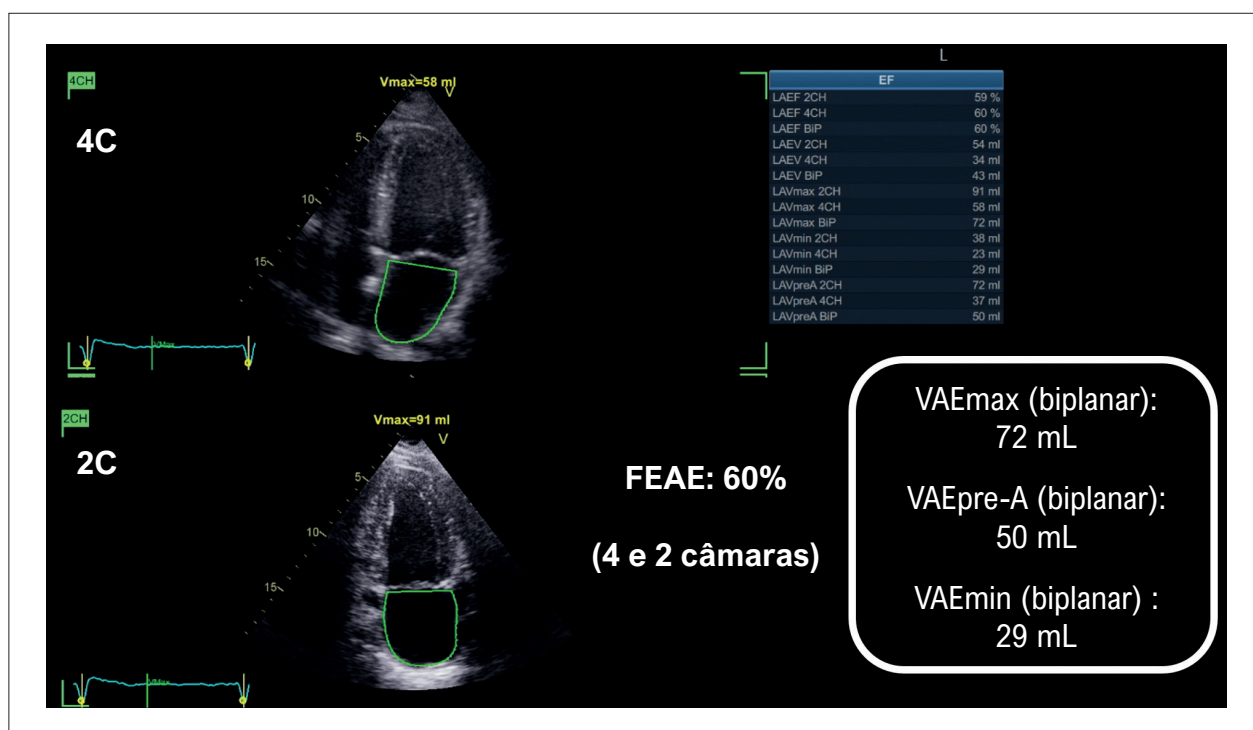


Figura 5 – Traçado biplano do AE e cálculo da fração de ejeção total, que neste caso está preservada. 2C: duas câmaras; 4C: quatro câmaras; AE: átrio esquerdo; FEAE: fração de ejeção do átrio esquerdo; VAEmax: volume máximo do átrio esquerdo; VAEmin: volume mínimo do átrio esquerdo; VAEpre-A: volume do átrio esquerdo imediatamente antes da contração atrial.

volumétrica e funcional em diferentes fases tornou-se mais precisa, reprodutível e menos demorada em comparação à análise 2D clássica.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores de normalidade para volumes e função do AE segundo dados publicados do estudo realizado pelo World Alliance Societies of Echocardiography Study. Apesar destes dados internacionais, é importante ressaltar que valores de referência para análise de função atrial pelos métodos 2D e 3D ainda não foram padronizados e incorporados às diretrizes de ecocardiografia.⁹

Em pacientes com estenose aórtica grave a FEAE se mostrou útil para avaliação de prognóstico, com um ponto de corte menor que 37% sendo superior inclusive à velocidade máxima e ao gradiente médio para prever mortalidade.¹⁰

Em relação a arritmias, quando avaliados apenas pacientes com FA, a redução da FEAE se relacionou a piores desfechos cardiovasculares, independentemente da fração de ejeção do VE.¹¹

Considerando a importância clínica da FEAE e a crescente disponibilidade da ferramenta nos aparelhos de ecocardiografia, o registro desse dado deve ser estimulado.

Avaliação de volumes do AE ao ecocardiograma 3D

Nas últimas duas décadas, a ecocardiografia 3D tornou-se a modalidade de escolha para quantificação volumétrica das câmaras cardíacas, com maior correlação com a RMC e menor variabilidade inter e intra-observador. Em um estudo multicêntrico com 92 pacientes com volumes de AE variados,

a concordância para a classificação de AE aumentado usando um ponto de corte > 34 mL/m² apresentou um coeficiente kappa de concordância de 0,88 entre a ecocardiografia 3D e a RMC, em comparação com um kappa de 0,71 para a mesma análise com o ecocardiograma 2D e a RMC.¹²

Algumas das principais vantagens deste método são:

- 1. Alta acurácia:** Não assume suposições geométricas em relação ao formato do AE, apresentando menor subestimação em relação à RMC.
- 2. Maior reprodutibilidade:** Identificação semiautomática das bordas cardíacas, evitando o encurtamento de medidas.
- 3. Aceitável resolução temporal:** Resolução > 20 volumes por segundo em comparação à TC e à RMC.
- 4. Caracterização dinâmica do tamanho e forma:** Análise contínua ao longo do ciclo cardíaco avalia as fases da função atrial.
- 5. Aquisição em batimento único:** Análise factível nos pacientes que apresentam arritmias atriais ou ventriculares frequentes.

A Figura 6 mostra os valores e cálculos volumétricos realizados usando software específico para a medida semiautomática.

Semelhante ao volume do AE ao ecocardiograma 2D, a indexação para a área de superfície corporal dos volumes de AE 3D reduziu as diferenças entre os sexos. Foi observado um

Tabela 2 – Comparação de parâmetros volumétricos e funcionais do AE entre métodos bidimensionais e tridimensionais (WASE Study, 2022)

Valores normais do tamanho e da função do AE foram derivados de 1.765 adultos saudáveis (Resultados do World Alliance Societies of Echocardiography Study)		
Parâmetros de volume	2D	3D
Volume máximo (mL)	45,9 ± 15,7	49,9 ± 14,1
Volume máximo indexado (mL/m ²)	25,7 ± 7,9	28,1 ± 6,9
Volume mínimo (mL)	*	19,0 ± 7,2
Volume mínimo indexado (mL/m ²)	*	10,7 ± 3,7
Volume pré-A (mL/m ²)	*	31,6 ± 10,8
Volume pré-A indexado (mL/m ²)	*	17,8 ± 5,5
Volume de reservatório (mL)	*	30,9 ± 9,0
Volume de reservatório indexado (mL/m ²)	*	17,4 ± 4,5
Volume de conduto (mL)	*	18,4 ± 6,4
Volume de conduto indexado (mL/m ²)	*	10,4 ± 3,4

Valores são apresentados como médias ± desvio padrão. 2D: ecocardiograma bidimensional; 3D: ecocardiograma tridimensional; AE: átrio esquerdo; pré-A: imediatamente antes da contração atrial. *Dados não apresentados no artigo WASE 2022.

pequeno, mas significativo, aumento no volume de AE por ecocardiograma 3D com o envelhecimento.

As principais limitações desta análise atualmente são a resolução temporal, assim como a escassez de dados tanto para valores de normalidade quanto valores prognósticos entre as diversas patologias.

Strain do AE

A avaliação da função do AE pelo método de strain permite uma análise mais detalhada de cada uma das fases da fisiologia atrial. A capacidade de discriminação entre movimento passivo e ativo, a independência do ângulo, redução dos efeitos de tethering, menor dependência da carga e o rastreamento da movimentação de cada um dos segmentos da parede atrial permitem um melhor conhecimento da função atrial.

A deformação do AE é preferencialmente medida pelo método de speckle tracking (rastreamento de pontos). Para isso, as bordas endocárdicas do AE são traçadas manualmente ou automaticamente em imagens 2D de alta qualidade obtidas com uma taxa de quadros entre 50 e 90 quadros/segundo. A necessidade de aquisição de imagens em janelas dedicadas e não encurtadas (em contraste com janela convencional otimizada para o VE) para obter medições de deformação do AE é um conceito relativamente recente e um parâmetro essencial.

O grupo de trabalho da Sociedade Europeia de Imagem Cardiovascular e da Sociedade Americana de Ecocardiografia recomenda usar o valor da deformação do AE obtido a partir de imagens apicais de quatro e duas câmaras, evitando o encurtamento, embora a análise da deformação apenas da janela apical de quatro câmaras também seja comumente realizada e tenha se mostrado acurada e reprodutível. Deve-

se utilizar software dedicado para análise de deformação do AE, quando disponível, para reduzir a variabilidade e erros das medições.

Como recomendação adicional, orienta-se obter imagem com a aquisição focada no AE e uma região de interesse (ROI) com espessura de aproximadamente 3 mm, devido à fina espessura parietal da cavidade.^{1,13}

Duas abordagens diferentes de gatilho (trigger) temporal estão disponíveis para quantificar a deformação do AE pelo

Tabela 3 – Valores de referência para volumes e frações de ejeção do AE (WASE Study, 2022)

Valores normais do tamanho e da função do AE foram derivados de 1.765 adultos saudáveis (Resultados do World Alliance Societies of Echocardiography Study)		
Parâmetros de função	2D	3D
Fração de ejeção (%)	65,7 ± 8,4	62,2 ± 7,7
Fração de ejeção passiva (%)	*	37,7 ± 11,0
Fração de ejeção ativa (%)	*	39,5 ± 9,5
SAEr (%)	42,1 ± 10,0	*
Strain de conduto (%)	27,7 ± 9,7	*
SAEct (%)	14,4 ± 6,3	*

Valores são apresentados como médias ± desvio padrão. 2D: ecocardiograma bidimensional; 3D: ecocardiograma tridimensional; AE: átrio esquerdo; SAEr: strain de reservatório. *Dados não apresentados no artigo WASE 2022.

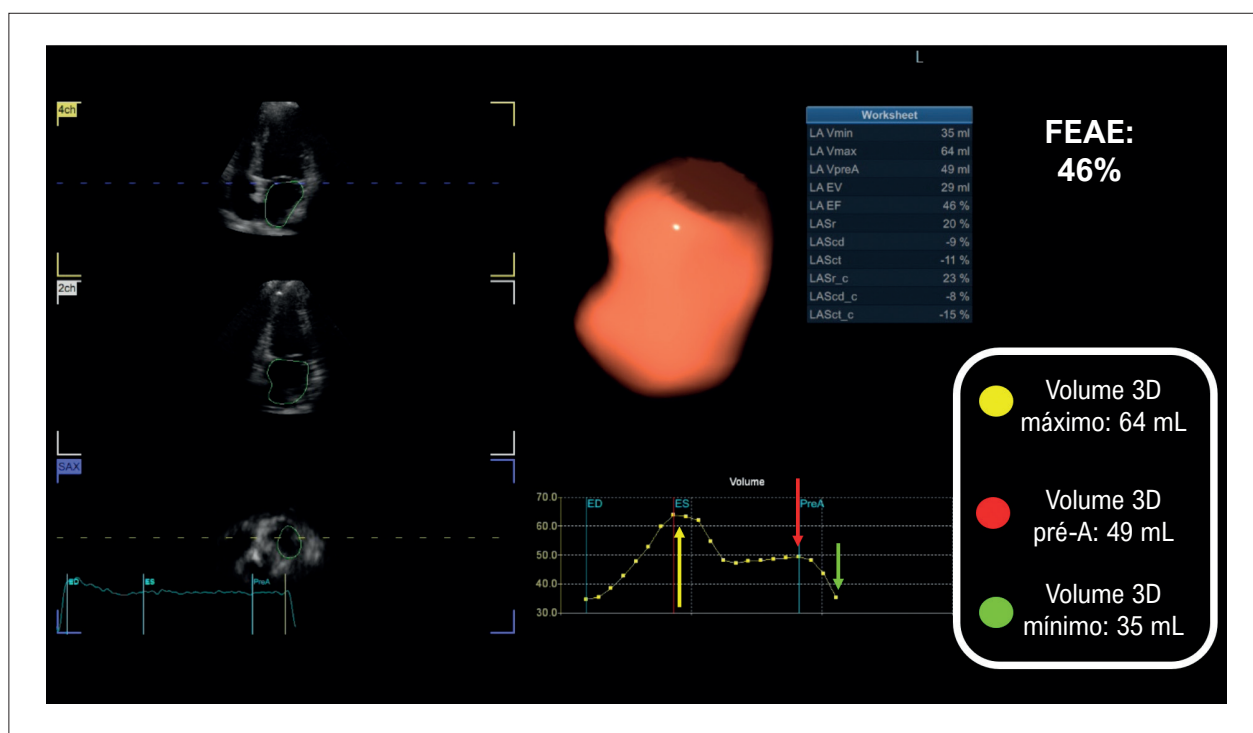


Figura 6 – Análise volumétrica 3D semiautomática do AE (exemplo de software dedicado). 3D: tridimensional; FEAE: fração de ejeção do átrio esquerdo; pré-A: imediatamente antes da contração atrial.

método de speckle tracking. A primeira abordagem utiliza o início do QRS derivado do eletrocardiograma como ponto de partida (gatilho R-R) e mede duas deformações chave do AE:

1. **Strain de reservatório (SAEr):** Analisado ao final da sístole do VE (correspondente ao fechamento da valva aórtica)
2. **Strain de contração (SAEct):** Analisado mais tardiamente e corresponde à contração do AE.

A diferença entre SAEr e SAEct representa o strain de conduto (SAEcd).

A segunda abordagem utiliza a onda P do eletrocardiograma como ponto de partida (gatilho P-P), permitindo a medição de duas deformações, a primeira descendente, que corresponde ao SAEct, e a segunda ascendente, que corresponde ao relaxamento atrial e à função de reservatório.

Nota-se que os parâmetros atriais são menores para a análise gateada pelo intervalo P-P em comparação ao gating R-R. É importante ressaltar a impossibilidade de aplicação desta análise aos pacientes com FA quando o gating P-P é utilizado. Outro dado a ser ressaltado é que a maioria dos estudos publicados mundialmente utilizou o gating R-R, tornando este o método recomendado de fato para medir a deformação do AE.¹³

A Figura 7 mostra as principais fases da deformação do AE utilizando como parâmetro a análise gateada pelo intervalo R-R.

A Figura 8 mostra os dois padrões de curvas de deformação do AE a depender do gating escolhido, se o intervalo R-R ou P-P.

A Figura 9 mostra a análise dos 3 componentes do strain do AE em um paciente hipertenso, porém sem alterações estruturais.

A importância clínica do SAEr é reforçada por diversos estudos que demonstraram seu valor prognóstico independente. Os principais trabalhos realizados até o presente momento validaram este parâmetro como marcador de prognóstico nos seguintes cenários:¹³

- Infarto agudo do miocárdio
- Síndrome coronária crônica
- Cardio-oncologia
- Doença valvar ≥ moderada (uni ou multivalvar)
- Cardiomiopatia dilatada
- IC aguda e crônica
- Terapia de ressincronização cardíaca
- Coração de atleta
- Takotsubo

Os valores de normalidade para o SAEr, SAEcd e SAEct estão citados nas Tabelas 4 e 5, porém o único parâmetro de deformação recomendado da função do AE é a deformação longitudinal global ou SAEr.

Normalmente, os segmentos adjacentes ao anel mitral, particularmente na parede inferior, exibem valores de deformação maiores do que aqueles nos segmentos médio e apical (teto) do AE. Os valores mais baixos de deformação do AE são encontrados no teto do AE, na região de inserção

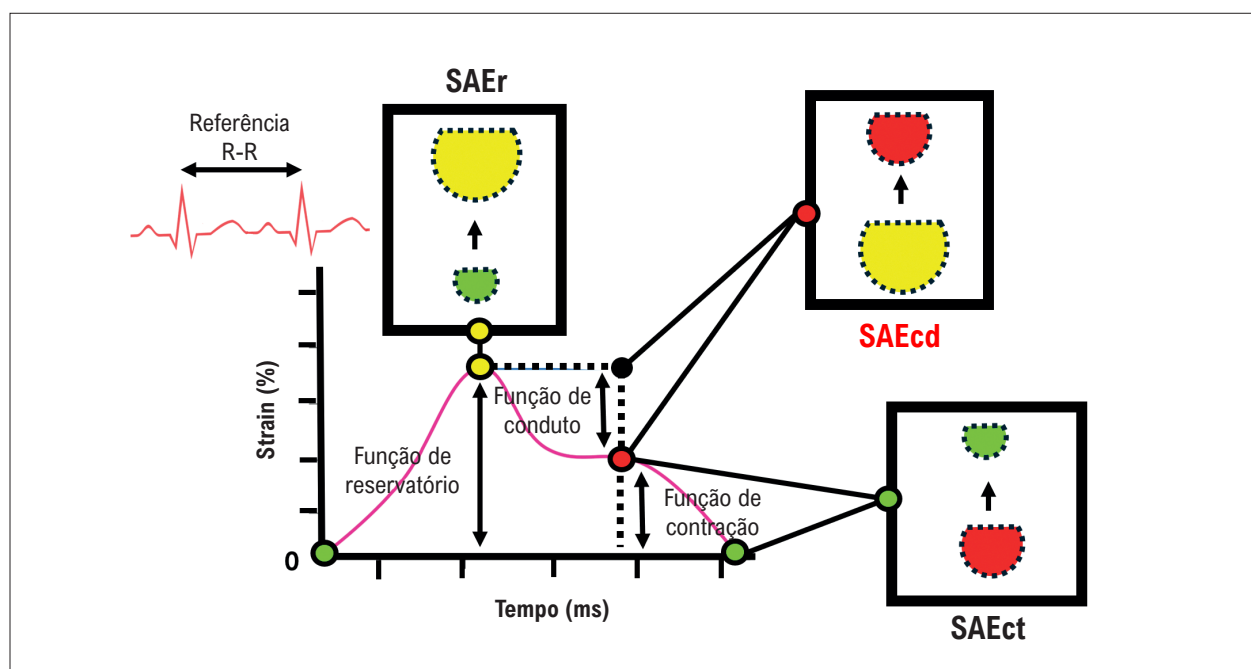


Figura 7 – Curva de strain atrial esquerdo (speckle tracking) com gatilho R-R: strain de reservatório, conduto e contração; SAEcd: Strain de conduto do átrio esquerdo; SAEct: Strain de contração do átrio esquerdo; SAEr: Strain de reservatório.

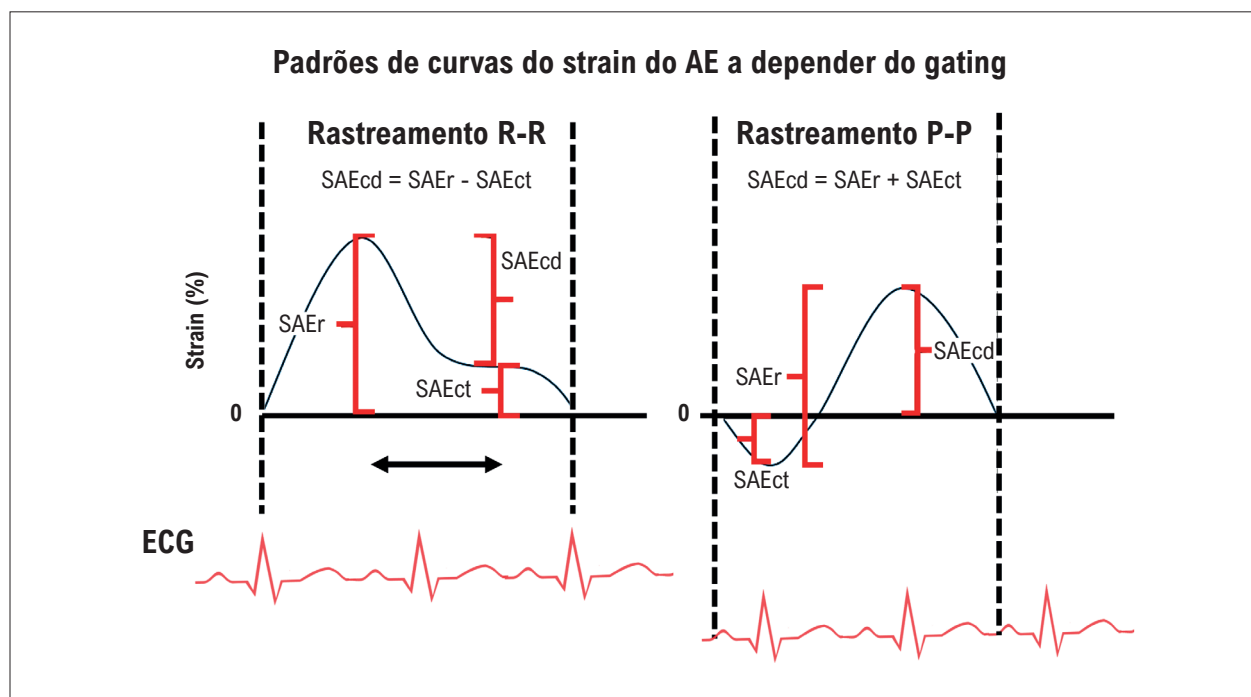


Figura 8 – Dois tipos de pontos de referência do valor zero, selecionados para a avaliação do strain do AE, e suas respectivas curvas. Os valores de deformação obtidos com qualquer uma das duas técnicas podem ser matematicamente convertidos entre si. ECG: eletrocardiograma; SAEcd: strain de conduto; SAEct: strain de contração; SAEr: strain de reservatório.



Figura 9 – Análise do strain atrial esquerdo em três fases (setas: amarela = SAEr; vermelha = SAEcd; verde = SAEct) em paciente com hipertensão arterial. Esta análise foi realizada com software dedicado para medir a deformação longitudinal do AE usando rastreamento automatizado do endocárdio do AE na janela apical de quatro e duas câmaras, e seguindo as recomendações da Força-Tarefa da Sociedade Europeia de Imagem Cardiovascular /Sociedade Americana de Ecocardiografia/Indústria para padronização da deformação.¹³ 2C: duas câmaras; 4C: quatro câmaras; AE: átrio esquerdo; SAEcd: strain de conduto; SAEct: strain de contração; SAEr: strain de reservatório.

das veias pulmonares, onde o coração está ancorado ao mediastino.

Diferenças regionais na deformação do AE podem ser potencialmente úteis para a avaliação da dissincronia do AE, parâmetro este utilizado como uma medida indireta da fibrose heterogênea do AE e da disfunção que pode prever a recorrência de FA após ablação por radiofrequência.

A dispersão mecânica do AE ou dissincronia do AE, calculada como o desvio padrão do tempo até a deformação máxima para os segmentos do AE, também foi avaliada tanto para a deformação de reservatório quanto para a deformação contrátil, com ambas as medidas demonstrando valor na predição da recorrência de FA.^{1,13}

As principais limitações estão relacionadas ao AE apresentar paredes muito finas, ao septo interatrial que muitas vezes está associado a hiper mobilidade ou aneurisma, à dependência de presunções geométricas nas regiões de conexão das veias pulmonares e do apêndice atrial com o AE, além do campo de imagem se apresentar no segmento mais distal na análise ecocardiográfica.

O AE na avaliação da função diastólica

Inicialmente baseada em estudos hemodinâmicos invasivos, a avaliação da rigidez e da complacência do VE constituíram os pilares iniciais para a identificação do aumento das pressões de enchimento e o desenvolvimento

da diastologia do VE. No caso de pacientes com redução da fração de ejeção, a elevação das pressões de enchimento era mais facilmente compreendida à luz da disfunção sistólica. Já nos pacientes com fração de ejeção preservada, essa interpretação tornou-se menos direta, o que impulsionou o aprofundamento do estudo da função diastólica.

Com a incorporação do Doppler à ecocardiografia, houve um salto de qualidade na avaliação não invasiva das pressões de enchimento e surgiram trabalhos classificando mais um tipo de IC, a diastólica, termo que depois seria preterido, preferindo-se a denominação IC com fração de ejeção do ventrículo esquerdo preservada (ICFep). A primeira diretriz que norteou a avaliação sistemática da diástole do VE foi publicada em 2009 e já considerava variáveis atriais para essa avaliação.

O AE e o VE são estruturas dispostas em série no sistema circulatório, com o átrio sendo a antecâmara para o VE. Devido a essa íntima ligação, a função diastólica do VE tem grande influência na pressão e função do AE. O estudo do AE, portanto, nos dá valiosas informações que corroboram para a identificação e graduação da disfunção diastólica do VE. Essa avaliação inicialmente se restringia à análise do fluxo transmitral e fluxo venoso pulmonar. Com o advento de novas tecnologias, a identificação do aumento da pressão AE foi possível por variáveis mais acuradas: o Doppler tecidual do anel mitral durante o enchimento inicial ventricular (onda e'),

Artigo de Revisão

e a sua relação com a onda E mitral, sendo a relação E/e' médio maior que 14 um indicativo de aumento da pressão do AE. Essas variáveis, embora importantes, podem não ser conclusivas em alguns cenários como a razão E/e' entre 8 e 14, na calcificação do anel mitral, arritmias atriais e na fusão das ondas E e A.

Na última atualização das diretrizes para avaliação da função diastólica do VE em 2025, o leque de ferramentas para essa avaliação foi ampliado e, dentre outras variáveis, foi incluído o SAEr menor ou igual a 18% como mais um dado a ser considerado nessa análise. Essa adição foi especialmente útil na análise de pacientes com fração de ejeção preservada, grupo no qual a alteração do strain tem alta especificidade para identificar aumento da pressão do AE. Com esses acréscimos e novo fluxograma de avaliação, todos os pacientes antes classificados como função diastólica indeterminada (18,8% aplicando-se os critérios de 2016) foram classificados em função diastólica normal ou classificados em algum grau de disfunção diastólica, tornando remota a possibilidade da disfunção diastólica não ser adequadamente quantificada.¹⁵

Na prática, essa nova diretriz adicionou parâmetros que aumentaram a importância do AE na diastologia. Para um melhor entendimento da avaliação diastólica, consultar as Recomendações para avaliação da função diastólica do VE e ICFEp da Sociedade Americana de Ecocardiografia.¹⁶

Índice de rigidez do AE

A deformação AE prejudicada possui íntima relação com a clínica e com o diagnóstico da ICFEp. Quando a deformação AE é utilizada em conjunto com a pressão de oclusão da artéria pulmonar medida de forma invasiva (cateterismo) ou com a

relação de velocidade da onda E/velocidade e' mitral (E/e'), pode-se derivar o índice de rigidez da AE.^{17,18}

O índice de rigidez do AE pode ser estimado através destas duas variáveis ecocardiográficas:

- **SAEr:** Pico de deformação longitudinal do AE
- Relação E/e'

A relação E/e' /SAEr é um parâmetro relativamente simples e não invasivo de adquirir e demonstrou boa correlação com o NT-proBNP e parâmetros diastólicos ecocardiográficos convencionais, incluindo E/e' , volume do AE indexado e pressão sistólica do ventrículo direito. Kim et al. publicaram um interessante estudo retrospectivo na revista *Journal of the American College of Cardiology* em 2022 com 307 pacientes demonstrando que o índice de rigidez atrial apresentou desempenho prognóstico mais robusto para prever mortalidade por todas as causas e hospitalização relacionada à IC do que os parâmetros diastólicos clássicos, incluindo E/e' , volume indexado do AE, velocidade máxima da insuficiência tricúspide e SAEr durante o acompanhamento. O valor de E/e' /SAEr $> 0,26$ apresentou uma área sob a curva de 0,743 (intervalo de confiança de 95%: 0,681 a 0,806; $p < 0,001$).

Nesse estudo, pacientes com pressão diastólica final do VE avaliado de forma invasiva com valores ≥ 16 mmHg e fração de ejeção do VE $\geq 50\%$, quando apresentavam índice de rigidez atrial aumentado ($> 0,26$), apresentam pior prognóstico a médio e longo prazo em comparação com pacientes com as mesmas características e índice de rigidez atrial $\leq 0,26$, sugerindo a possível utilização deste parâmetro como um biomarcador prognóstico baseado em imagem ecocardiográfica.¹⁸

Tabela 4 – Valores de referência para o SAEr, conduto e contração do AE^{13,14}

Valores de normalidade Metanálise incluindo 2.542 indivíduos saudáveis		
Fases	Valores de referência	
SAEr		39% (IC 95%: 38%–41%)
		• Valores $< 23\%$ associados a pior prognóstico • Diretrizes de diástole (valores $< 18\%$ associados com aumento das pressões de enchimento do VE)
SAEcD		23% (IC 95%: 21%–25%)
SAEcT		18% (IC 95%: 16%–19%)

IC: intervalo de confiança; SAEcD: strain de conduto; SAEcT: strain de contração; SAEr: strain de reservatório; VE: ventrículo esquerdo.

Tabela 5 – Principais trabalhos de referência do SAEr do AE em relação ao prognóstico em diversos cenários¹³

SAEr		
Fibrilação atrial Her et al. JACC, 2021		SAEr $< 23\%$ prediz recorrência de FA após ablação.
ICFEp Singh et al. JACC, 2022		SAEr foi um marcador precoce e sensível de aumento de pressão de enchimento do VE.
Valvopatias Addetia et al. JASE, 2023		SAEr $< 25\%$ em IM grave identificou pacientes com pior prognóstico independentemente da fração de ejeção.
Oncologia Zhang et al. EHJ CV Imaging, 2024		SAEr $< 25\%$ reduzido prediz cardiotoxicidade de forma mais precoce que o strain do VE.

ICFEp: insuficiência cardíaca com fração de ejeção do ventrículo esquerdo preservada; IM: insuficiência mitral; SAEr: strain de reservatório; VE: ventrículo esquerdo.

Novas tecnologias (HeartModel)

Novas tecnologias têm sido incorporadas à análise ecocardiográfica, permitindo uma maior reprodutibilidade e agilidade na aquisição de imagens e dados volumétricos. As avaliações volumétricas apresentadas na ecocardiografia 3D classicamente disponível nos aparelhos de ultrassom, são apresentadas como medidas semiautomáticas com necessidade muitas das vezes de ajustes adicionais de cada um dos segmentos cardíacos analisados, o que em última análise determina um consumo adicional de tempo, muitas vezes não disponível na prática clínica.

Empresas como a Philips e General Electric desenvolveram softwares específicos para medidas acuradas e totalmente automáticas adquiridas através de um único botão de aquisição, permitindo que mesmo ecocardiografistas sem grande experiência possam facilmente realizar esta análise ecocardiográfica.

Tsang et al. demonstraram, em estudo de factibilidade e acurácia com 159 pacientes, que o software totalmente automático (HeartModel, Philips Healthcare) apresentou forte correlação com a medida semiautomática com correção manual ($r = 0,87$ a $0,96$). Adicionalmente, a concordância entre a análise volumétrica automatizada e a RMC também foi significativa ($r = 0,84$ a $0,95$). O tempo médio de aquisição e análise dos volumes do VE e AE foi de 37 segundos para o software HeartModel automático, em comparação com 79 segundos para a mesma aquisição, porém com pequenas alterações manuais realizadas pelo operador, e 212 segundos

para a avaliação 2D pelo método de Simpson, com uma redução final de 82% do tempo de aquisição.¹⁹ Um dado interessante dessa análise foi que as alterações humanas de pós-processamento não levaram a melhorias significativas em comparação à análise volumétrica automática, tendo como referência a RMC.

A Figura 10 mostra a aquisição do software da empresa Philips HeartModel A.I. com a avaliação volumétrica automática.

Na Figura 11 apresentamos um passo a passo da análise estruturada do AE englobando os dados essenciais que devem ser extraídos ao estudo ecocardiográfico, assim como um quadro resumo dos pontos fortes e fracos, considerando os principais parâmetros descritos ao longo do texto.

Conclusão

A avaliação do AE evoluiu de uma análise morfológica restrita ao diâmetro anteroposterior para uma abordagem funcional integrada, capaz de caracterizar as três fases do ciclo atrial (reservatório, conduzido e contração). Essa progressão, que abrange desde a volumetria 2D até o strain e o índice de rigidez atrial, reflete uma mudança conceitual na literatura recente: o AE não é uma câmara passiva, mas um determinante ativo do desempenho cardíaco e um marcador prognóstico independente em cenários distintos, como a FA, a IC e as valvopatias.

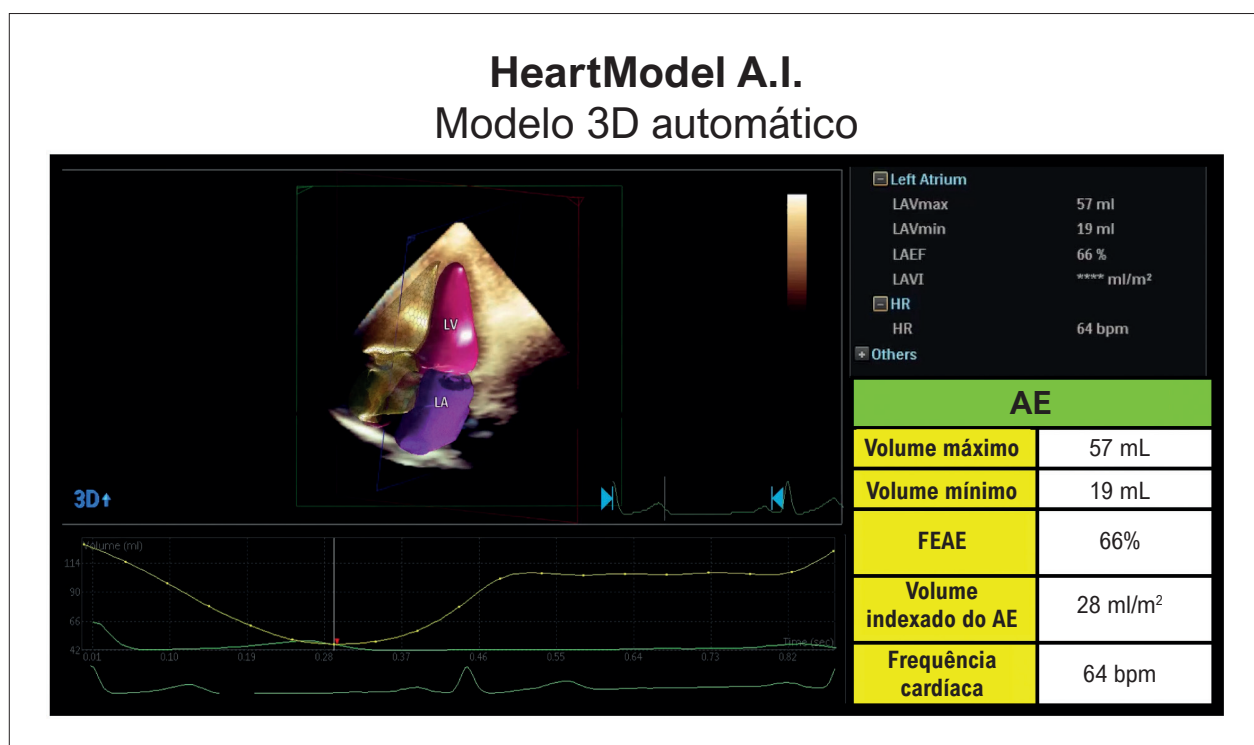


Figura 10 – Quantificação automatizada 3D transtorácica das câmaras cardíacas esquerdas utilizando software específico HeartModel A.I. AE: átrio esquerdo; FEAE: fração de ejeção do AE.

Mensagens Principais:

1. Dimensões lineares: Não devem mais ser utilizadas, pois não estão relacionadas ao tamanho real do AE, especialmente se o AE estiver aumentado.

2. Volumes do AE em 2D:

– **Pontos fortes:**

- Fácil de realizar
- Amplamente disponível
- Não requer software dedicado
- Grande corpo de dados normativos e dados que demonstram valor prognóstico em várias condições cardíacas

– **Pontos fracos:**

- Subestimam o volume real do AE
- Dependem de suposições geométricas para cálculos de volume
- Variabilidade entre observadores e a reprodutibilidade razoáveis, porém não ideais



3. Volumes do AE em 3D:

– **Pontos fortes:**

- Sem suposições geométricas (volumes mais precisos)
- Menor variabilidade entre observadores (ideal para medições seriadas)

– **Pontos fracos:**

- Baixa resolução espacial
- Requer transdutor específico para aquisição de imagem assim como software
- Aumento de custo e escassez de dados normativos e prognósticos de suporte

4. Deformação do reservatório de AE:

– **Pontos fortes:**

- Utiliza a análise convencional em escala de cinza
- Fácil de realizar e altamente reprodutível
- Valor diagnóstico demonstrado em ICfEp (já presente em diretriz)
- Pacotes de software dedicados cada vez mais disponíveis

– **Pontos fracos:**

- Variabilidade entre fornecedores ainda não avaliada em grandes estudos
- Valor prognóstico independente da deformação longitudinal do VE ainda precisa ser estabelecido

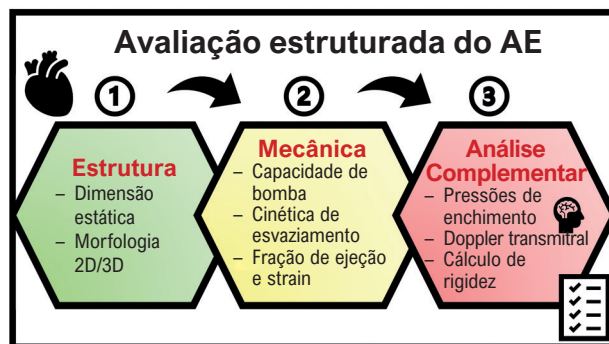


Figura 11 – Superior: Comparação das vantagens e limitações das diferentes técnicas: dimensões lineares, volumes do átrio esquerdo (AE) pelo método biplanar bidimensional (2D), volumes do AE pelo método tridimensional (3D) e strain de reservatório do AE. Inferior: Fluxograma para uma análise estruturada do átrio esquerdo utilizando dados anatômicos, funcionais e hemodinâmicos. Esses parâmetros devem ser apresentados ao final do laudo ecocardiográfico. 2D: bidimensional; 3D: tridimensional; AE: átrio esquerdo; ICfEp: insuficiência cardíaca com fração de ejeção do ventrículo esquerdo preservada; VE: ventrículo esquerdo.

A incorporação sistemática desses parâmetros na rotina ecocardiográfica é, portanto, clinicamente justificada. A inclusão do SAEr atrial na diretriz mais recente de função diastólica exemplifica como essa integração já está em curso. À medida que novas tecnologias ampliam a reprodutibilidade e reduzem o tempo de aquisição, a análise funcional do AE tende a se consolidar como componente essencial do laudo ecocardiográfico, apoiando uma caracterização mais precisa e orientando condutas de forma mais fundamentada.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, análise e interpretação dos dados e redação do manuscrito: Silva HAGP, Gomes HM; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Silva HAGP, Gomes HM, Souza AC.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Thomas L, Muraru D, Popescu BA, Sitges M, Rosca M, Pedrizzetti G, et al. Evaluation of Left Atrial Size and Function: Relevance for Clinical Practice. *J Am Soc Echocardiogr.* 2020;33(8):934-952. doi: 10.1016/j.echo.2020.03.021.
2. Mangia M, D'Andrea E, Cecchetto A, Beccari R, Mele D, Nistri S. Current and Clinically Relevant Echocardiographic Parameters to Analyze Left Atrial Function. *J Cardiovasc Dev Dis.* 2024;11(8):241. doi: 10.3390/jcdd11080241.
3. Mitchell C, Rahko PS, Blauwet LA, Canaday B, Finstuen JA, Foster MC, et al. Guidelines for Performing a Comprehensive Transthoracic Echocardiographic Examination in Adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2019;32(1):1-64. doi: 10.1016/j.echo.2018.06.004.
4. Badano LP, Miglioranza MH, Mihăilă S, Peluso D, Xhaxho J, Marra MP, et al. Left Atrial Volumes and Function by Three-Dimensional Echocardiography: Reference Values, Accuracy, Reproducibility, and Comparison with Two-Dimensional Echocardiographic Measurements. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2016;9(7):e004229. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.115.004229.
5. Agner BF, Kühl JT, Linde JJ, Kofoed KF, Åkeson P, Rasmussen BV, et al. Assessment of Left Atrial Volume and Function in Patients with Permanent Atrial Fibrillation: Comparison of Cardiac Magnetic Resonance Imaging, 320-Slice Multi-Detector Computed Tomography, and Transthoracic Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2014;15(5):532-40. doi: 10.1093/ehjci/et239.
6. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afzalilo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(1):1-39.e14. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
7. Davis EF, Crousillat DR, He W, Andrews CT, Hung JW, Danik JS. Indexing Left Atrial Volumes: Alternative Indexing Methods Better Predict Outcomes in Overweight and Obese Populations. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2022;15(6):989-97. doi: 10.1016/j.jcmg.2022.02.006.
8. Thomas L, Marwick TH, Popescu BA, Donal E, Badano LP. Left Atrial Structure and Function, and Left Ventricular Diastolic Dysfunction: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2019;73(15):1961-77. doi: 10.1016/j.jacc.2019.01.059.
9. Singh A, Singulane CC, Miyoshi T, Prado AD, Addetia K, Bellino M, et al. Normal Values of Left Atrial Size and Function and the Impact of Age: Results of the World Alliance Societies of Echocardiography Study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2022;35(2):154-164.e3. doi: 10.1016/j.echo.2021.08.008.
10. Ferreira J, Gonçalves V, Marques-Alves P, Martins R, Monteiro S, Teixeira R, et al. Left Atrial Functional Assessment and Mortality in Patients with Severe Aortic Stenosis with Sinus Rhythm. *Cardiovasc Ultrasound.* 2021;19(1):1. doi: 10.1186/s12947-020-00231-0.
11. Inciardi RM, Giugliano RP, Claggett B, Gupta DK, Chandra A, Ruff CT, et al. Left Atrial Structure and Function and the Risk of Death or Heart Failure in Atrial Fibrillation. *Eur J Heart Fail.* 2019;21(12):1571-9. doi: 10.1002/ehf.1606.
12. Mor-Avi V, Yodwut C, Jenkins C, Kühl H, Nesser HJ, Marwick TH, et al. Real-Time 3D Echocardiographic Quantification of Left Atrial Volume: Multicenter Study for Validation with CMR. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2012;5(8):769-77. doi: 10.1016/j.jcmg.2012.05.011.
13. Thomas JD, Edvardsen T, Abraham T, Appadurai V, Badano L, Banchs J, et al. Clinical Applications of Strain Echocardiography: A Clinical Consensus Statement from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2026;27(3):335-68. doi: 10.1093/ehjci/jeag006.
14. Pathan F, D'Elia N, Nolan MT, Marwick TH, Negishi K. Normal Ranges of Left Atrial Strain by Speckle-Tracking Echocardiography: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2017;30(1):59-70. e8. doi: 10.1016/j.echo.2016.09.007.
15. Hafez A, Farina JM, Ahmed S, Awad K, Pietri MP, Scalia IG, et al. Reclassifying Left Ventricular Diastolic Function with the 2025 American Society of Echocardiography Guideline versus the 2016 Algorithm. *J Am Soc Echocardiogr.* 2026;S0894-7317(26)00087-8. doi: 10.1016/j.echo.2026.02.013.
16. Nagueh SF, Sanborn DY, Oh JK, Anderson B, Billick K, Derumeaux G, et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography and for Heart Failure with Preserved Ejection Fraction Diagnosis: An Update from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2025;38(7):537-69. doi: 10.1016/j.echo.2025.03.011.

17. Mathias IS, Rahi W, Ramos A, Na J, Angulo C, Rothstein P, et al. Validation of Noninvasive Left Atrial Stiffness Against Left Atrial Operating Chamber Stiffness by Cardiac Catheterization. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2024;17(8):1000-2. doi: 10.1016/j.jcmg.2024.03.004.
18. Kim D, Seo JH, Choi KH, Lee SH, Choi JO, Jeon ES, et al. Prognostic Implications of Left Atrial Stiffness Index in Heart Failure Patients with Preserved Ejection Fraction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2023;16(4):435-45. doi: 10.1016/j.jcmg.2022.11.002.
19. Tsang W, Salgo IS, Medvedofsky D, Takeuchi M, Prater D, Weinert L, et al. Transthoracic 3D Echocardiographic Left Heart Chamber Quantification Using an Automated Adaptive Analytics Algorithm. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016;9(7):769-82. doi: 10.1016/j.jcmg.2015.12.020.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons