

## Influência da *mechanical power* e de seus componentes na ventilação mecânica em SARS-CoV-2

### RESUMO

**Objetivo:** Analisar a influência da *mechanical power* e de seus componentes na ventilação mecânica em SARS-CoV-2; identificar os valores dos componentes da ventilação mecânica e verificar suas correlações entre si e com a *mechanical power* e efeitos sobre o resultado das fórmulas de Gattinoni-S e Giosa.

**Métodos:** Estudo observacional, longitudinal, analítico e quantitativo dos parâmetros do respirador e da *mechanical power* no SARS-CoV-2.

**Resultados:** A *mechanical power* média foi de 26,9J/minuto (Gattinoni-S) e 30,3J/minuto (Giosa). A *driving pressure* foi de 14,4cmH<sub>2</sub>O, a pressão de platô de 26,5cmH<sub>2</sub>O, a pressão expiratória positiva final 12,1cmH<sub>2</sub>O, a elastância de 40,6cmH<sub>2</sub>O/L, o volume corrente foi de 0,36L e a frequência respiratória de 32/minuto. A correlação entre as fórmulas de Gattinoni e de Giosa foi de 0,98, com viés de -3,4J/minuto

e diferença na correlação da pressão de resistência de 0,39 (Gattinoni-S) e 0,24 (Giosa). Entre os componentes, destacaram-se as correlações da elastância com a *driving pressure* (0,88), pressão expiratória positiva final (-0,54) e volume corrente (-0,44).

**Conclusão:** Na análise da ventilação mecânica da SARS-CoV-2, constatou-se que as correlações de seus componentes com a *mechanical power* influenciaram em seus valores momentâneos elevados, e que as correlações de seus componentes entre si influenciaram em seu comportamento ao longo do tempo. Por possuírem efeitos específicos sobre as fórmulas de Gattinoni-S e Giosa, os componentes da ventilação mecânica tiveram influência em seus cálculos e causaram divergências nos valores da *mechanical power*.

**Descritores:** Infecções por coronavírus; SARS-CoV-2; Lesão pulmonar; Respiração artificial; Síndrome respiratória aguda grave; Mecânica respiratória

1. Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.
2. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

**Conflitos de interesse:** Nenhum.

Submetido em 28 de Junho de 2021  
Aceito em 6 de Março de 2022

#### Autor correspondente:

Claudio Luciano Franck  
Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná  
Rua Padre Anchieta, 2.770 - Bigorrrilho  
CEP: 80730-000 - Curitiba (PR), Brasil  
E-mail: claudiolfranck@hotmail.com

**Editor responsável:** Irene Aragão

**DOI:** 10.5935/0103-507X.20220018-pt

### INTRODUÇÃO

O coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2) pode gerar inflamação e fibrose pulmonar. Consolidações e broncograma aéreo bilateral com distribuição periférica de opacificação em vidro fosco em exames radiológicos, hipoxemia aguda, insuficiência respiratória e relação entre pressão parcial de oxigênio/fração inspirada de oxigênio (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>) menor que 300mmHg sugerem o diagnóstico.<sup>(1)</sup> O SARS-CoV-2 intensificou a preocupação com a ventilação mecânica (VM) de alta energia pelo prognóstico desfavorável da concomitância entre a síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) e a lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica (LPIVM).

A SDRA e a LPIVM se mesclam em uma forma única e complexa, em que as contribuições individuais de lesão pulmonar são indistinguíveis.<sup>(2)</sup>

Não há como separar clinicamente a LPIVM resultante do processo subjacente que causa a SDRA, porém sua predição se faz com a redução progressiva do volume pulmonar e irresponsividade à pressão expiratória positiva final (PEEP), além da superação das respostas reparativas,<sup>(3)</sup> que podem determinar uma lesão pulmonar aguda irreversível. Nenhum componente da VM isolado pode ser responsabilizado pela LPIVM, a qual resulta das configurações da VM e da condição do parênquima pulmonar relacionada ao seu tamanho, da pressão vascular e da heterogeneidade.<sup>(4-6)</sup> Além disso, a LPIVM depende da vulnerabilidade inata dos tecidos pulmonares.<sup>(7)</sup> Seria interessante determinar características específicas de LPIVM que cada variável pode causar.<sup>(8)</sup> A *mechanical power* é um conceito fisiológico, que simplifica a avaliação da VM, retratando-a com abrangência pelo conjunto dos componentes da VM,<sup>(2-9)</sup> assim como a injúria produzida pela energia determinada pelo gradiente pressórico, que promove a deformação alveolar.<sup>(10)</sup> Composta de pressão de platô ( $P_{\text{platô}}$ ), *driving pressure* ( $\Delta P$ ), PEEP, volume corrente ( $V_t$ ), fluxo ( $F$ ), resistência ( $R$ ), elastância ( $E_{\text{last}}$ ) e frequência respiratória ( $FR$ ),<sup>(11,12)</sup> representa a energia transferida do ventilador para o sistema respiratório<sup>(13)</sup> durante um período de tempo em Joule por minuto (J/minuto).<sup>(9,14)</sup> A compreensão das causas biofísicas de LPIVM mudou o foco de preocupação do padrão de inflação do ciclo corrente estritamente relacionado ao  $V_t$  e às pressões para considerar as exposições de energia prejudiciais ao pulmão pela *mechanical power*.<sup>(3)</sup> Compromete-se o propósito da VM de repousar os pulmões, quando se utiliza inadequadamente a força mecânica de seus componentes com elevação da *mechanical power*, pois a chance de ocorrer LPIVM com piora do desfecho aumenta.<sup>(9)</sup> A LPIVM recebe a influência dos três mecanismos de amplificação do estresse, que são a tensão gerada pela assimetria geométrica, a acentuação das forças aplicadas aos microelementos pelo arrasto viscoelástico do fluxo e a redução progressiva das microestruturas que suportam a tensão, com aumento da carga cumulativa nas estruturas que permanecem intactas.<sup>(15)</sup> A mesma carga de energia suportada sem estresse ou *strain* prejudicial em um pulmão saudável pode determinar a LPIVM em um “*baby lung*”.<sup>(3,16)</sup> São necessárias a resolução da injúria determinante da alteração da mecânica pulmonar e uma reparação tecidual suficiente, ou encaminha-se para a irrecuperabilidade pulmonar.<sup>(3)</sup>

Este estudo teve como objetivo analisar a influência da *mechanical power* e seus componentes na VM em SARS-CoV-2; identificar os valores dos componentes da VM e verificar suas correlações relevantes entre si e com a *mechanical power*, além de seus efeitos sobre o resultado das fórmulas de Gattinoni-S e Giosa.

## MÉTODOS

Estudo longitudinal, observacional, analítico e quantitativo das informações coletadas dos parâmetros do respirador de pacientes com SARS-CoV-2 e SDRA moderada, internados em unidade de terapia intensiva respiratória de um hospital universitário, referência nessa modalidade assistencial entre março de 2021 até maio 2021, com o intuito de analisar a energia fornecida pela VM e a influência de seus componentes. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná, com parecer 4.571.036.

Durante a estada de 150 pacientes com SARS-CoV-2 e SDRA moderada, que permaneceram intubados em ventilação controlada a volume com o respirador Puritan Bennet™ 840 e sob sedoanalgesia profunda e bloqueador neuromuscular, realizou-se a coleta de 510 dados do conjunto dos componentes da VM utilizados naquele instante, com o intuito de analisá-los e inseri-los nas fórmulas da *mechanical power*.

Consideraram-se como critérios de inclusão dos pacientes escala de gravidade da Organização Mundial da Saúde (OMS) 6 ou 7,  $PaO_2/FiO_2$  entre 100 e 200, radiografia ou tomografia de tórax com opacidades bilaterais e dímeros-D dentro da normalidade com reação em cadeia da polimerase via transcriptase reversa (RT-PCR) confirmatória para SARS-CoV-2.

Optou-se pela coleta dos dados do conjunto dos componentes da VM a cada 6 dias, com o intuito de captar as alterações da mecânica respiratória e o comportamento dos componentes da VM ao longo do tempo de permanência em VM em consequência do SARS-CoV-2. A retirada do bloqueador neuromuscular ou o óbito determinavam o término da coleta.

Anotaram-se  $FR$ ,  $V_t$  e pressão de pico ( $P_{\text{pico}}$ ), e obteve-se a  $P_{\text{platô}}$  pela pausa inspiratória. A partir desses dados, foram gerados o volume minuto ( $V_e$ ),  $\Delta P$ , a pressão de resistência ( $P_{\text{resist}}$ ), a complacência estática ( $C$ ) e a  $E_{\text{last}}$ . Calculou-se a *mechanical power* pela fórmula de Gattinoni et al.<sup>(17)</sup> simplificada (Gattinoni-S) (Equação 1) e pela fórmula de Giosa et al.<sup>(18)</sup> (Equação 2).

$$\text{Gattinoni-S} = 0,098.FR.V_t [P_{\text{pico}} - 0,5 (P_{\text{platô}} - \text{PEEP})] \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Giosa} = 0,098.V_e.(P_{\text{pico}} + \text{PEEP} + F/6)/20 \quad \text{Equação 2}$$

Estes valores e informações foram transcritos em uma planilha eletrônica em Excel®, e, ao final, realizaram-se as análises estatísticas das correlações entre os componentes da VM e com a *mechanical power*. Posteriormente, discutiram-se as informações encontradas com artigos publicados na literatura.

## Análise estatística

As variáveis quantitativas foram descritas considerando a média, mediana, valores mínimo e máximo, primeiro e terceiro quartis e desvio-padrão. A comparação das fórmulas de Gattinoni-S e Giosa foi feita considerando-se o método de Bland-Altman. Para avaliação da associação de variáveis quantitativas, foi estimado o coeficiente de correlação linear de Pearson. Para avaliação da associação das variáveis de interesse com os resultados dos métodos avaliados, foram considerados os modelos de regressão linear simples e regressão linear múltipla. Valores de  $p < 0,05$  indicaram significância estatística. Utilizaram-se os sistemas de processamento *Statistical Package for the Social Sciences*, versão 20.0 (IBM Corp., Armonk, Nova Iorque, Estados Unidos) e *Stata/SE* 14.1 (Stata Corp LP, Estados Unidos).

## RESULTADOS

A permanência dos pacientes incluídos na pesquisa oscilou entre 8 e 54 dias, com média de 22 dias, e, dos 150 pacientes acompanhados com SARS-CoV-2 e SDR moderada, 96 foram a óbito, o que determinou mortalidade de 64%.

Ressalta-se, entre outros resultados das 510 avaliações, que as médias da  $\Delta P$ , da  $P_{\text{platô}}$  e da PEEP foram 14,4cmH<sub>2</sub>O, 26,5cmH<sub>2</sub>O e 12,1cmH<sub>2</sub>O, respectivamente. A média do  $V_t$  foi 0,36L, a FR foi de 32 por minuto, e a  $E_{\text{last}}$  foi de 40,6cmH<sub>2</sub>O/L. Na tabela 1, são apresentadas as estatísticas descritivas dos resultados obtidos no estudo.

A *mechanical power* média foi de 26,9J/minuto para a fórmula de Gattinoni-S e de 30,3J/minuto para a fórmula de Giosa.

Para comprovar a confiabilidade dos resultados, testou-se a hipótese da inexistência de associação linear *versus* a hipótese existência de correlação linear entre as fórmulas; o viés está exposto no gráfico de Brand-Altman representado na figura 1.

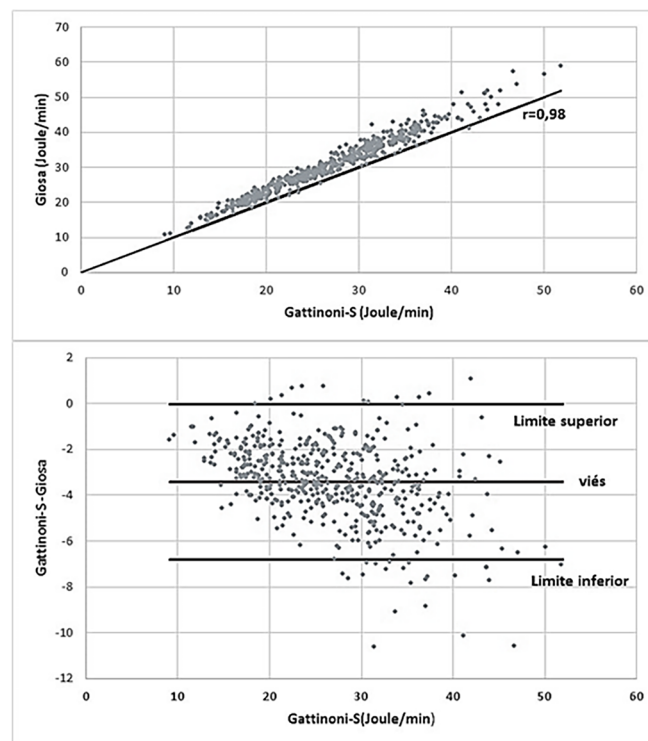


Figura 1 - Correlação e viés entre Gattinoni-S e Giosa.

Tabela 1 - Resultados dos componentes da ventilação mecânica e da mechanical power

Variáveis	n	Média	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo	Desvio-padrão
Fluxo (L/minuto)	510	53,1	24,0	48,0	53,0	58,0	81,0	8,5
Complacência estática (L/cmH <sub>2</sub> O)	510	0,028	0,009	0,021	0,027	0,034	0,064	0,009
$V_t$ (L)	510	0,36	0,23	0,32	0,36	0,40	0,60	0,06
$V_e$ (L/minuto)	510	11,6	6,0	10,2	11,6	13,0	18,9	2,2
FR (L/minuto)	510	32,0	16,0	30,0	33,0	35,0	43,0	3,6
$P_{\text{pico}}$ (cmH <sub>2</sub> O)	510	30,6	18,0	27,0	30,0	33,0	47,0	4,7
$\Delta_{\text{insp}}$ (cmH <sub>2</sub> O)	510	18,5	7,0	15,0	17,5	21,0	40,0	5,1
$\Delta P$ (cmH <sub>2</sub> O)	510	14,4	5,0	11,0	14,0	16,0	34,0	4,6
$P_{\text{platô}}$ (cmH <sub>2</sub> O)	510	26,5	16,0	24,0	26,0	29,0	41,0	4,1
$P_{\text{resist}}$ (cmH <sub>2</sub> O)	510	4,1	1,0	3,0	4,0	5,0	13,0	1,9
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	510	12,1	3,0	10,0	12,0	14,0	24,0	3,9
Elastância (cmH <sub>2</sub> O/L)	510	40,6	15,6	29,6	37,5	48,0	109,7	15,2
Resistência (cmH <sub>2</sub> O/L/minuto)	510	0,079	0,014	0,055	0,074	0,100	0,243	0,038
Gattinoni-S (J/minuto)	510	26,9	9,1	21,2	26,5	31,7	51,9	7,4
Giosa (J/minuto)	510	30,3	10,7	24,0	29,6	36,1	58,9	8,3

$V_t$  - volume corrente;  $V_e$  - volume minuto; FR - frequência respiratória;  $P_{\text{pico}}$  - pressão de pico;  $\Delta_{\text{insp}}$  - variação da pressão inspiratória;  $\Delta P$  - driving pressure;  $P_{\text{platô}}$  - pressão de platô;  $P_{\text{resist}}$  - pressão de resistência; PEEP - pressão expiratória positiva final.

O diagrama de dispersão demonstra correlação positiva forte de 0,98 ( $p < 0,001$ ) entre os resultados das duas fórmulas, porém houve predomínio de valores maiores da Giosa. A magnitude da diferença entre os resultados dependeu do valor da Gattinoni-S, com viés médio de -3,4J/minuto, os quais se aproximaram quando eram baixos, mas, à medida que aumentaram, acentuou-se a diferença entre os resultados das duas fórmulas.

A maior diferença entre os resultados foi um valor da Giosa 10,62J/minuto maior que o valor da Gattinoni-S e, nas maiores diferenças, encontravam-se o Vt elevado, entre 0,48L e 0,56L, e a P<sub>resist</sub> baixa, no máximo de 2cmH<sub>2</sub>O. Em apenas dez avaliações, o valor da Gattinoni-S foi maior que o valor da Giosa, e, em todas as situações, encontrou-se P<sub>resist</sub> elevada entre 8 e 13cmH<sub>2</sub>O, e, nestes casos, a maior diferença foi de 1,08J/minuto.

Para compreender a influência dos componentes no resultado da *mechanical power* e a tendência de variação dos resultados entre as fórmulas, correlacionaram-se isoladamente os componentes da VM com os resultados obtidos das fórmulas, como mostra a tabela 2.

**Tabela 2** - Correlação entre os componentes da ventilação mecânica e a *mechanical power*

Variáveis	Gattinoni-S	Giosa
$\Delta P$	0,14 (0,001)	0,14 (0,002)
P <sub>platô</sub>	0,61 (< 0,001)	0,58 (< 0,001)
P <sub>resist</sub>	0,39 (< 0,001)	0,24 (< 0,001)
PEEP	0,47 (< 0,001)	0,44 (< 0,001)
Elastância	-0,16 (< 0,001)	-0,20 (< 0,001)
Vt	0,61 (< 0,001)	0,68 (< 0,001)
FR	0,39 (< 0,001)	0,40 (< 0,001)

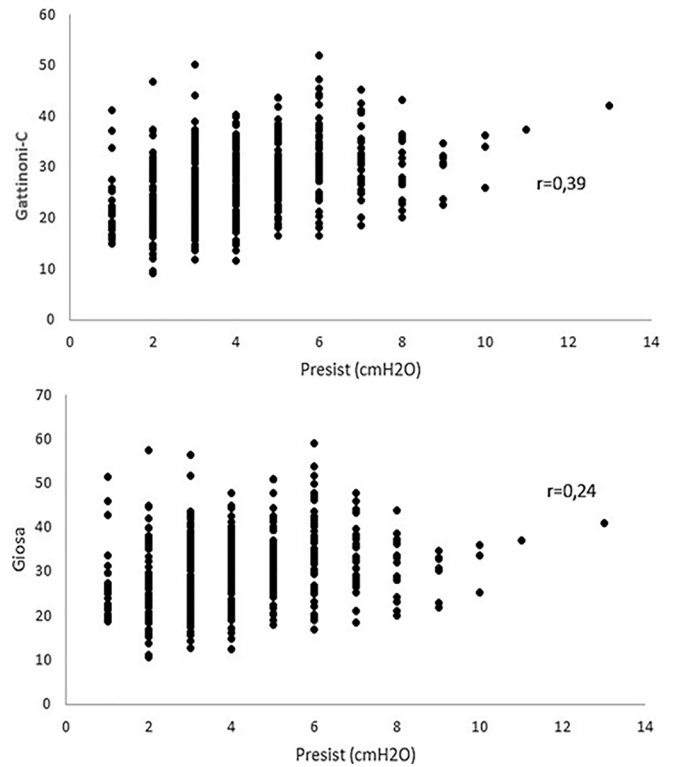
$\Delta P$  - driving pressure; P<sub>platô</sub> - pressão de platô; P<sub>resist</sub> - pressão de resistência; PEEP - pressão expiratória positiva final; Vt - volume corrente; FR - frequência respiratória.

**Tabela 3** - Efeitos dos componentes da ventilação mecânica sobre as fórmulas

Variáveis respostas	Variáveis explicativas						
	P <sub>platô</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	P <sub>resist</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	Elastância (cmH <sub>2</sub> O/L)	Vt (L)	FR (L/minuto)	R <sup>2</sup> (%)
Gattinoni-S	0,92	1,07	0,20	-0,13	55,79	0,87	96,73
Estimativa	0,053	0,023	0,053	0,018	1,993	0,015	
Erro padrão							
Giosa	0,95	0,60	0,15	-0,14	70,40	1,03	94,54
Estimativa	0,078	0,027	0,078	0,026	3,017	0,022	
Erro padrão							

P<sub>platô</sub> - pressão de platô; P<sub>resist</sub> - pressão de resistência; PEEP - pressão expiratória positiva final; Vt - volume corrente; FR - frequência respiratória.

A P<sub>platô</sub>, a PEEP, o Vt e a FR demonstraram correlação positiva moderada, enquanto a  $\Delta P$  teve correlação positiva fraca. Em contrapartida, a E<sub>elast</sub> foi a única a apresentar uma correlação negativa fraca com ambas as fórmulas, e o único componente que demonstrou diferença de correlação foi a P<sub>resist</sub>, com correlação positiva moderada com a Gattinoni-S (0,39) e positiva fraca com a Giosa (0,24), conforme revela a figura 2.



**Figura 2** - Diagrama de dispersão entre a pressão de resistência e as fórmulas. P<sub>resist</sub> - pressão de resistência.

Na tabela 3, demonstram-se os efeitos dos componentes da VM sobre os valores da *mechanical power*, a partir da análise de um modelo de regressão múltipla.

Para essa análise, avaliou-se o efeito conjunto das covariáveis representadas por  $P_{\text{platô}}$ ,  $P_{\text{resist}}$ , PEEP,  $E_{\text{elast}}$ ,  $V_t$  e FR, enquanto os dois modelos de variáveis respostas foram as fórmulas de Gattinoni e Giosa. Em função da forte correlação entre  $\Delta P$  e  $E_{\text{elast}}$  (0,88), essas duas variáveis não puderam ser incluídas concomitantemente nos modelos, e, para as análises subsequentes, consideraram-se os resultados da  $E_{\text{elast}}$ .

Caso os outros componentes permanecessem com valores fixos, para cada  $\text{cmH}_2\text{O}$  de aumento da  $P_{\text{platô}}$ , estimaram-se aumento de 0,92J/minuto na Gattinoni-S e de 0,95J/minuto nos resultados de Giosa; para cada  $\text{cmH}_2\text{O}$  de aumento de  $P_{\text{resist}}$ , estimaram-se aumento de 1,07J/minuto no valor da Gattinoni-S e de 0,60J/minuto nos resultados de Giosa; para cada  $\text{cmH}_2\text{O}$  de aumento da PEEP, estimaram-se aumento de 0,20J/minuto unidades na Gattinoni-S e de 0,15J/minuto nos resultados de Giosa; cada  $\text{cmH}_2\text{O/L}$  de aumento de  $E_{\text{elast}}$  estimou redução de 0,13J/minuto no valor da Gattinoni-S e 0,14J/minuto da Giosa; para cada unidade de aumento de FR, estimaram-se aumento de 0,87J/minuto no valor da Gattinoni-S e de 1,03J/minuto nos resultados de Giosa;

e, finalmente, para cada 0,01L de aumento de  $V_t$ , houve aumento de 0,55J/minuto no valor da Gattinoni-S e de 0,70J/minuto nos resultados de Giosa.

Os modelos apresentaram boa aderência para valores de Gattinoni-S e Giosa entre o primeiro e o terceiro quartis. Na figura 3, apresentam-se os resultados das estimativas obtidas no intervalo de variação de 21,7 e 31,7J/minuto para Gattinoni-S e 24 e 26,1J/minuto para Giosa.

Na análise destes resultados, percebeu-se a influência maior na diferença dos resultados pelo  $V_t$ , o qual, quando esteve elevado, gerou aumento no valor da Giosa, e da  $P_{\text{resist}}$ , que quando elevada, gerou aumento no valor da Gattinoni-S. As maiores diferenças de valor da Giosa em relação à Gattinoni-S decorreram do  $V_t$  elevado com  $P_{\text{resist}}$  baixa. Na figura 4, destacaram-se o comportamento da  $E_{\text{elast}}$  e sua correlação com os outros componentes da VM. Nas intercorrelações dos componentes com a  $E_{\text{elast}}$ , observaram-se correlação positiva forte com a  $\Delta P$  (0,88), positiva moderada com a  $P_{\text{platô}}$  (0,48), negativa moderada com a PEEP (-0,54) e com o  $V_t$  (-0,44), negativa fraca com a FR e ausência de correlação com a  $P_{\text{resist}}$  (0,05).

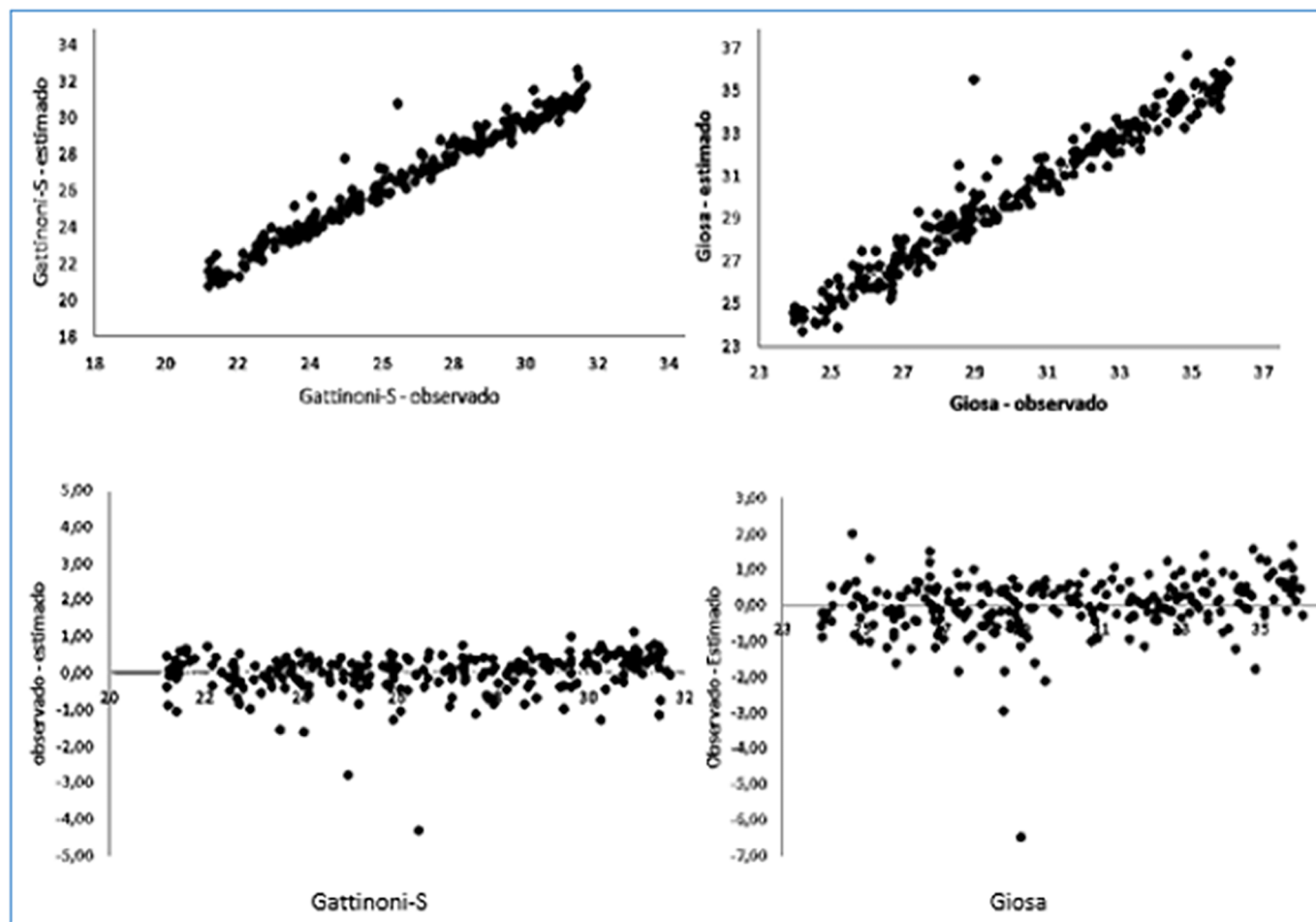
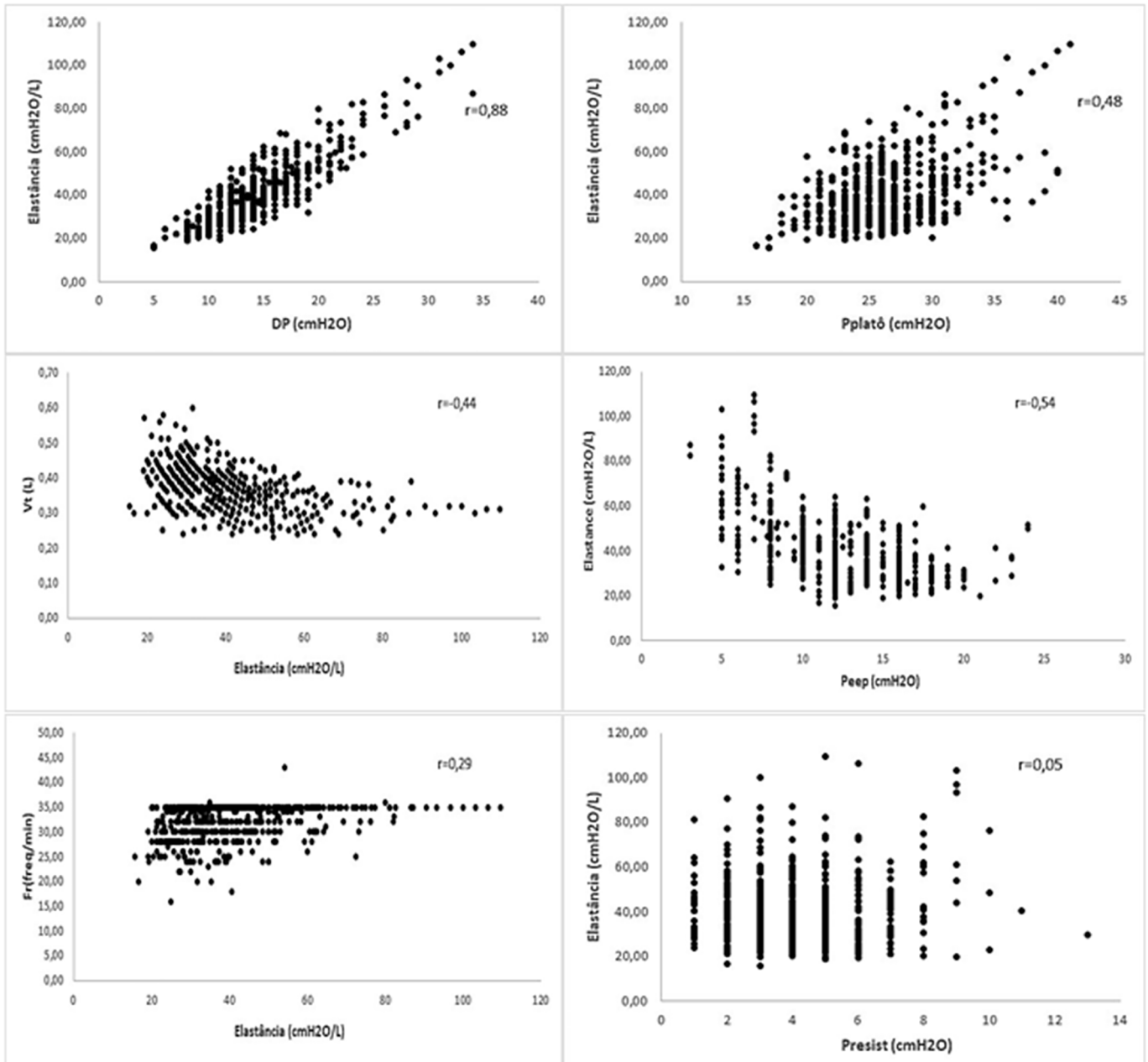


Figura 3 - Correlações e diferenças entre resultados estimados e observados das fórmulas.



**Figura 4** - Diagrama de dispersão da elastância com os outros componentes da ventilação mecânica.

DP - driving pressure; P<sub>platô</sub> - pressão de platô; V<sub>t</sub> - volume corrente; PEEP - pressão expiratória positiva final; P<sub>resist</sub> - pressão de resistência.

## DISCUSSÃO

A normalização do valor da *mechanical power* como um limite de segurança para a prevenção de LPIVM dependeria do conhecimento do volume pulmonar e de sua distribuição na heterogeneidade pulmonar.<sup>(12,13)</sup> Os limiares de segurança da *mechanical power* variam para diferentes condições pulmonares, pois em pulmões acometidos pela SDRA, os valores de *mechanical power*, capazes de gerar LPIVM, podem ser menores do que em pulmões normais.<sup>(9)</sup>

Entretanto, o problema reside em estabelecer uma expectativa de valor da *mechanical power* específico para cada fator desencadeante do insulto pulmonar. Como a normalização se relaciona à condição pulmonar, a qual é influenciada ao longo do tempo pela evolução da SDRA e da LPIVM, o reconhecimento desses valores auxiliaria a determinar o prognóstico para o SARS-CoV-2.

A equação original permite a quantificação da contribuição dos componentes da VM e, em teoria, poderia prever seus efeitos no parênquima pulmonar.

Todavia, na prática clínica, os efeitos de suas mudanças nem sempre são previsíveis, porque, para compensar a VM, torna-se necessário modificar outros componentes.<sup>(17)</sup> Nesta pesquisa, demonstrou-se, nas correlações entre as variáveis, uma tendência de valores menores de  $V_t$  e PEEP e de valores maiores de  $P_{\text{platô}}$  e  $\Delta P$ , com o aumento da  $E_{\text{last}}$ .

Equações complexas requerem a obtenção da  $\Delta P$ ,  $E_{\text{last}}$  e resistência, enquanto as fórmulas simplificadas facilitam a prática médica com pequeno viés de valores. As diferenças de valores entre as fórmulas ocorreram com valores baixos e elevados, pela influência das correlações dos componentes com as fórmulas e de seus efeitos nos resultados.<sup>(18)</sup> Nesta pesquisa, observou-se a tendência dos valores da Giosa se distanciarem, à medida que aumentam os valores da Gattinoni-S, fato que se deve às diferenças dos efeitos dos componentes específicos em cada fórmula. Além disso, as correlações dos componentes entre si parecem representar o comportamento dos componentes da VM pelas consequências pulmonares ao longo do tempo de evolução do SARS-COV-2, enquanto as correlações dos componentes com o resultado da *mechanical power* parecem representar a necessidade de energia corrente em relação à condição pulmonar em um determinado momento.

Publicaram-se divergentes variações de valores médios e limites da *mechanical power*, como a média de 9,1J/minuto para pulmões normais e de 8,8J/minuto para a SDRA.<sup>(12)</sup> Outro estudo já relatou variação pela gravidade da SDRA entre 19 e 24J/minuto.<sup>(19)</sup> A dúvida se manteve sobre qual é o limite para produzir LPIVM,<sup>(20)</sup> embora sugeriu-se que a *mechanical power* possa causar LPIVM quando supera 12J/minuto e que, acima de 17J/minuto, associa-se com aumento da mortalidade,<sup>(6)</sup> ou que até mesmo acima de 13J/minuto poderia gerar danos graves.<sup>(21)</sup> Nesta pesquisa, encontrou-se *mechanical power* média igual a 26,9J/minuto para a fórmula Gattinoni-S, mais elevada que o valor das pesquisas anteriores,<sup>(6,12,19,20,21)</sup> possivelmente pelo fato de a amostra ser composta apenas por SDRA moderada gerada pelo SARS-CoV-2.

Consideraram-se toleráveis diferenças de até 2J/minuto nos resultados das fórmulas simplificadas da *mechanical power* em comparação ao método geométrico, o qual é considerado padrão-ouro e obtido pela área gerada no gráfico pressão-volume do respirador.<sup>(22)</sup> Nesta análise, constatou-se que o valor médio dos resultados das duas fórmulas simplificadas apresentaram correlação positiva forte, porém com um viés médio de -3,4J/minuto e prevalência de valores maiores da Giosa. À medida que os valores de Gattinoni-S aumentam, a diferença entre as duas fórmulas torna-se mais pronunciada, fato que se deve à diferença dos efeitos específicos de cada componente da MV sobre seus cálculos.

Demonstrou-se que o efeito da PEEP sobre as fórmulas é maior que o da  $E_{\text{last}}$  e a PEEP possui uma correlação positiva moderada, enquanto a  $E_{\text{last}}$  denota correlação negativa fraca com a *mechanical power*. Além disso, a correlação desses dois componentes da VM entre si se mostra como negativa moderada. Por exemplo, a mescla dos efeitos e as intercorrelações intrincadas podem resultar em uma *mechanical power* mais elevada quando o pulmão responde com recrutabilidade à PEEP, do que na condição pulmonar que indicia fibrose de baixa resposta à recrutabilidade da PEEP e alta  $E_{\text{last}}$ . Esse fato decorre do efeito maior da PEEP sobre o cálculo da *mechanical power* em relação à  $E_{\text{last}}$  e pela tendência da correlação entre esses componentes, que denota redução da PEEP quando a  $E_{\text{last}}$  aumenta. A *mechanical power* elevada independentemente da combinação de seus componentes pode causar LPIVM.<sup>(11)</sup> Entretanto, apontar um único componente da VM com determinante ou não de LPIVM pode ser um equívoco, porque parece ser mais razoável que a LPIVM advenha da combinação dos vários componentes da VM<sup>(8)</sup> e da influência da interdependência entre a *mechanical power* e seus componentes.<sup>(23)</sup> Permanece a dúvida sobre qual desses fatores influencia mais no advento da LPIVM.<sup>(7)</sup> Indicia-se que valores da *mechanical power* isolados não podem fornecer informações definitivas sobre o prognóstico da capacidade de recuperação pulmonar, pois podem representar a gravidade da SDRA, mas não a da LPIVM. Juntando essas análises, supõem-se que uma interrelação entre valores de alguns componentes da VM e a própria *mechanical power* poderia ampliar a margem de segurança para o diagnóstico LPIVM. Considera-se o valor da *mechanical power* maior que 17J/minuto como marcador de aumento da mortalidade pela LPIVM,<sup>(6)</sup> e seu agravamento pode ser predito pela não responsividade à PEEP e ao prona, com redução progressiva do volume pulmonar, além da superação das respostas reativas opostas, que culminam em lesão pulmonar aguda irreversível.<sup>(3)</sup> Encontraram-se, nesta pesquisa, valores médios da *mechanical power* acima desse patamar com mortalidade de 64%, mas não é possível afirmar quais óbitos foram determinados pela LPIVM ou por outros motivos.

## CONCLUSÃO

Na análise da ventilação mecânica da SARS-CoV-2, constatou-se que as correlações de seus componentes com a *mechanical power* influenciaram em seus valores momentâneos elevados, e que as correlações de seus componentes entre si influenciaram em seu comportamento ao longo do período do estudo. Por possuírem efeitos específicos sobre as fórmulas de Gattinoni-S e Giosa, os componentes da ventilação mecânica tiveram influência em seus cálculos e causaram divergências nos valores da *mechanical power*.

## REFERÊNCIAS

1. Gibson PG, Qin L, Pua SH. COVID-19 acute respiratory distress syndrome (ARDS): clinical features and differences from typical pre-COVID-19 ARDS. *Med J Aust.* 2020;213(2):54-56.e1.
2. Vasques F, Duscio E, Pasticci I, Romitti F, Vassalli F, Quintel M, et al. Is the mechanical power the final word on ventilator-induced lung injury?-we are not sure. *Ann Transl Med.* 2018;6(19):395.
3. Marini JJ, Gattinoni L. Time course of evolving ventilator-induced lung injury: the "Shrinking Baby Lung". *Crit Care Med.* 2020;48(8):1203-9.
4. Marini JJ. Dissipation of energy during the respiratory cycle: conditional importance of ergotrauma to structural lung damage. *Curr Opin Crit Care.* 2018;24(1):16-22.
5. Barnes T, Enk D. Ventilation for low dissipated energy achieved using flow control during both inspiration and expiration. *Trends Anaesth Crit Care.* 2019;24:5-12.
6. Coppola S, Caccioppola A, Froio S, Formenti P, De Giorgis V, Galanti V, et al. Effect of mechanical power on intensive care mortality in ARDS patients. *Crit Care.* 2020;24(1):246.
7. Marini JJ, Rocco PR. Which component of mechanical power is most important in causing VILI? *Crit Care.* 2020;24(1):39.
8. Vassalli F, Pasticci I, Romitti F, Duscio E, Aßmann DJ, Grünhagen H, et al. Does iso-mechanical power lead to iso-lung damage? An experimental study in a porcine model. *Anesthesiology.* 2020;132(5):1126-37.
9. Chi Y, He HW, Long Y. Progress of mechanical power in the intensive care unit. *Chin Med J (Engl).* 2020;133(18):2197-204.
10. Saffaran S, Das A, Laffey JG, Hardman JG, Yehya N, Bates DG. Utility of driving pressure and mechanical power to guide protective ventilator settings in two cohorts of adult and pediatric patients with acute respiratory distress syndrome: a computational investigation. *Crit Care Med.* 2020;48(7):1001-8.
11. Serpa Neto A, Deliberato RO, Johnson AEW, Bos LD, Amorim P, Pereira SM, Cazati DC, Cordioli RL, Correa TD, Pollard TJ, Schettino GPP, Timenetsky KT, Celi LA, Pelosi P, Gama de Abreu M, Schultz MJ; PROVE Network Investigators. Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts. *Intensive Care Med.* 2018;44(11):1914-22.
12. Arnal JM, Saoli M, Garnero A. Airway and transpulmonary driving pressures and mechanical powers selected by INTELLiVENT-ASV in passive, mechanically ventilated ICU patients. *Heart Lung.* 2020;49(4):427-34.
13. Gattinoni L, Marini JJ, Collino F, Maiolo G, Rapetti F, Tonetti T, et al. The future of mechanical ventilation: lessons from the present and the past. *Crit Care.* 2017;21(1):183.
14. van der Meijden S, Molenaar M, Somhorst P, Schoe A. Calculating mechanical power for pressure-controlled ventilation. *Intensive Care Med.* 2019;45(10):1495-7.
15. Marini JJ. Evolving concepts for safer ventilation. *Crit Care.* 2019;23(Suppl 1):114.
16. Silva PL, Pelosi P, Rocco PR. Understanding the mysteries of mechanical power. *Anesthesiology.* 2020;132(5):949-50.
17. Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringer P, Herrmann P, Moerer O, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med.* 2016;42(10):1567-75.
18. Giosa L, Busana M, Pasticci I, Bonifazi M, Macrì MM, Romitti F, et al. Mechanical power at a glance: a simple surrogate for volume-controlled ventilation. *Intensive Care Med Exp.* 2019;7(1):61.
19. Maiolo G, Collino F, Vasques F, Rapetti F, Tonetti T, Romitti F, et al. Reclassifying acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018;197(12):1586-95.
20. Silva PL, Ball L, Rocco PR, Pelosi P. Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Med Exp.* 2019;7(Suppl 1):38.
21. Collino F, Rapetti F, Vasques F, Maiolo G, Tonetti T, Romitti F, et al. Positive end-expiratory pressure and mechanical power. *Anesthesiology.* 2019;130(1):119-30.
22. Chiumello D, Gotti M, Guanzioli M, Formenti P, Umbrello M, Pasticci I, et al. Bedside calculation of mechanical power during volume- and pressure-controlled mechanical ventilation. *Crit Care.* 2020;24(1):417.
23. Marini JJ, Gattinoni L, Rocco PR. Estimating the damaging power of high-stress ventilation. *Respir Care.* 2020;65(7):1046-52.