

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

**APLICAÇÃO CLÍNICA DA CAPNOGRAFIA VOLUMÉTRICA EM CÃO
SUBMETIDO À MANOBRA DE RECUTRAMENTO ALVEOLAR DURANTE
HERNIORRAFIA DIAFRAGMÁTICA – RELATO DE CASO**

Residente: Paulo Vitor Assis Vieira

Botucatu

2024

PAULO VITOR ASSIS VIEIRA

**APLICAÇÃO CLÍNICA DA CAPNOGRAFIA VOLUMÉTRICA EM CÃO
SUBMETIDO À MANOBRA DE RECUTRAMENTO ALVEOLAR DURANTE
HERNIORRAFIA DIAFRAGMÁTICA – RELATO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Residência em Medicina Veterinária
Apresentado à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu,
SP, para
obtenção do título de residente em medicina veterinária.

Área de Anestesiologia Veterinária
Preceptor: Prof. Dr. Francisco José Teixeira Neto

Botucatu

2024

V658a	<p>Vieira, Paulo Vitor Assis</p> <p>Aplicação clínica da capnografia volumétrica em cão submetido à manobra de recrutamento alveolar durante herniorrafia diafragmática / Paulo Vitor Assis Vieira. -- Botucatu, 2024</p> <p>27 p.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Medicina Veterinária) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu</p> <p>Orientador: Francisco José Teixeira Neto</p> <p>1. Capnografia Volumétrica. 2. Hérnia diafragmática. 3. Recrutamento alveolar. I.</p> <p>Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

VIEIRA, P.V.A. **Aplicação clínica da capnografia volumétrica em cão submetido à manobra de recrutamento alveolar durante herniorrafia diafragmática – Relato de caso.** Trabalho de Conclusão de Residência (Residência em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2024.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo a avaliação e a monitoração pela capnografia volumétrica da ventilação mecânica de um paciente canino submetido à manobra de recrutamento alveolar durante procedimento de herniorrafia diafragmática traumática. Uma cadela de quatro anos e um mês de idade, sem raça definida, 10kg, foi admitido no Hospital Veterinário da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus Botucatu, com histórico de atropelamento há dois dias. Desde então, o paciente apresentou dispnéia progressiva, apatia e dor. Após o primeiro atendimento, o serviço de Anestesiologia Veterinária foi solicitado para implementação de um protocolo analgésico visando a realização subsequente de exames hematológicos e de imagem. Uma ruptura diafragmática foi identificada, indicando a necessidade de intervenção cirúrgica de emergência. Após a prévia estabilização do paciente, este foi encaminhado para a sala cirúrgica para o início do procedimento. Posteriormente à indução anestésica, a ventilação mecânica foi iniciada no modo SIMV – PC. O paciente apresentou hipercapnia associada a hipoxemia grave, mesmo após a administração de um bloqueador neuromuscular, alta frequência respiratória, FiO₂ 100% e pressão de pico inspiratória de 12 cmH₂O, resultando em volume corrente final de 7 mL/kg. Neste momento, a capnografia volumétrica evidenciou ausência de ventilação alveolar, o que foi congruente com as complicações observadas. Após a realização da manobra de recrutamento alveolar, foi observada melhora na saturação periférica de oxigênio da hemoglobina, na relação PaO₂/FiO₂, bem como na complacência pulmonar. Após a manobra de recrutamento alveolar, foi observado que o volume de espaço morto representava aproximadamente 9 mL/kg, o que exigiu a mudança para o modo de ventilação VCV aumentando o volume corrente para 15mL/kg, com o objetivo de manter uma ventilação alveolar de 5 a 6 mL/kg. Com o aumentando do volume corrente guiado pela capnografia volumétrica foi possível identificar a fase 3 da onda capnográfica, correspondente à ventilação alveolar, o que permitiu a redução da FiO₂ e a normalização de parâmetros ventilatórios como CO₂ e pH. A aplicação clínica da capnografia volumétrica proporcionou a identificação de parâmetros ventilatórios individualizados e serviu como um guia útil para otimização da ventilação mecânica em situações clínicas desafiadoras.

Palavras-Chave: Capnografia volumétrica. Hérnia diafragmática. Recrutamento alveolar em cães. Ventilação alveolar. Ventilação Mecânica.

VIEIRA, P.V.A. **Aplicação clínica da capnografia volumétrica em cão submetido à cirurgia de herniorrafia diafragmática aguda – Relato de caso.** Trabalho de Conclusão de Residência (Residência em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2024.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate and monitor mechanical ventilation using volumetric capnography in a canine patient undergoing alveolar recruitment maneuver during a traumatic diaphragmatic herniorrhaphy procedure. A four-year-old and one-month-old dog, of no defined breed, weighing 10kg, was admitted to the Veterinary Hospital of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science of the Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu campus, with a history of being run over two days ago. Since then, the patient has presented with progressive dyspnea, apathy and pain. After the first service, the Veterinary Anesthesiology Service was requested to implement a treatment protocol to carry out subsequent hematological and imaging tests. A diaphragmatic rupture was identified, reducing the need for emergency surgical intervention. After prior stabilization of the patient, he was taken to the operating room to begin the procedure. After anesthetic induction, mechanical ventilation was started in SIMV – PC mode. The patient presented hypercapnia associated with severe hypoxemia, even after administration of a neuromuscular blockade, high respiratory rate, FiO₂ 100% and peak inspiratory pressure of 12 cmH₂O, resulting in a final tidal volume of 7mL/kg. At this time, volumetric capnography showed the absence of alveolar ventilation, which was consistent with the complications observed. After performing the alveolar recruitment maneuver, an improvement was observed in peripheral hemoglobin oxygen saturation, in the PaO₂/FiO₂ ratio, as well as in lung compliance. After an alveolar recruitment maneuver, it was observed that the dead space volume represented approximately 9mL/kg, which resulted in the change to the VCV ventilation mode increasing the current volume to 15mL/kg, with the aim of maintaining an alveolar ventilation of 5 to 6 mL/kg. With the increase in tidal volume guided by volumetric capnography, it was possible to identify phase 3 of the capnographic wave, corresponding to alveolar ventilation, which allowed the reduction of FiO₂ and the normalization of ventilation settings such as CO₂ and pH. The clinical application of volumetric capnography provided the identification of individualized ventilation parameters and served as a useful guide for optimizing mechanical ventilation in clinically requested situations.

Keywords: Volumetric capnography. Diaphragmatic hernia. Alveolar recruitment in dogs. Alveolar ventilation. Mechanical ventilation.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	7
2- REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Fisiopatologia - Hérnia diafragmática	8
2.2 – Recrutamento alveolar	10
2.3- Capnografia Volumétrica	12
3. RELATO DE CASO	14
4. DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÃO	25
6. REFERÊNCIAS	26

1- INTRODUÇÃO

Na área da medicina veterinária, a hérnia diafragmática adquirida é frequentemente observada em situações de traumas, onde ocorre uma súbita mudança na pressão intra-abdominal, resultando na ruptura do diafragma e no deslocamento de órgãos do abdômen para a cavidade torácica. Estudos científicos indicam um prognóstico desafiador, com uma alta taxa de mortalidade. O principal problema identificado está relacionado à respiração. No entanto, também são comumente registradas outras lesões, como hemorragias, o que pode levar a um estado de choque potencial. A restauração cirúrgica do diafragma normalmente recupera a função ventilatória, porém, o momento da intervenção cirúrgica é extremamente grave e desafiador (WORTH; MACHON, 2005).

Particularmente, o procedimento anestésico em pacientes submetidos à herniorrafia diafragmática é de natureza complexa. Comumente, tais pacientes apresentam descompensação do ponto de vista ventilatório, possivelmente associada a hipoxemia. Diversos fatores devem ser meticulosamente considerados, a saber: a medicação pré-anestésica, que deve exercer o mínimo impacto sobre o sistema cardiorrespiratório; o manejo peri-anestésico; que deve ser conduzido com o menor grau de estresse possível; a indução e intubação, que devem ser executadas de forma rápida e precisa; a pré-oxigenação deve ser realizada sempre que factível; e a implementação da ventilação mecânica, que deve ser imperativa (LEVINE, 1987).

A compressão pulmonar, causada pela migração de órgãos abdominais, resultando em atelectasias, shunt intrapulmonar, desequilíbrios na relação ventilação/perfusão, acidose respiratória e lesões pulmonares, são complicações comumente observadas na afecção em questão. Em situações graves, onde uma porção significativa da área pulmonar encontra-se atelectásica, levando a hipoxemia ou uma relação Pressão arterial de Oxigênio/ Fração inspirada de Oxigênio (PaO_2/FiO_2) desfavorável, é recomendada a realização de uma manobra de recrutamento alveolar, após a remoção dos órgãos da cavidade torácica. Esta manobra de recrutamento alveolar consiste em uma progressiva elevação da pressão inspiratória, com o propósito de abrir alvéolos colabados, resultando em melhora nas trocas gasosas, por aprimorar a ventilação alveolar, no conteúdo arterial de oxigênio, bem como na elevação da complacência pulmonar (CANFRÁN et al., 2012).

A capnografia volumétrica é um dispositivo que integra um sistema de capnografia com sensores de fluxo, permitindo a análise da dinâmica do dióxido de carbono (CO_2) durante o ciclo respiratório. Sua característica distintiva reside na capacidade de fornecer informações cruciais acerca da ventilação do paciente, tais como: o volume de espaço morto anatômico, a taxa de ventilação alveolar por minuto, o volume corrente alveolar, a pressão média de CO_2 nas

vias aéreas, a produção pulmonar de CO₂ por minuto, entre outros parâmetros relevantes. A associação e a interpretação destes dados em contexto clínico capacitam a obtenção de informações precisas, embasando tomadas de decisão e avaliação diagnóstica (KREMEIER; BÖHM; TUSMAN, 2020).

Na medicina humana, há uma profusão de pesquisas que respaldam a eficácia do capnógrafo volumétrico, inclusive em sua aplicação clínica para pacientes em terapia intensiva (SUAREZ-SIPMANN; BOHM; TUSMAN, 2014). Em contrapartida, na medicina veterinária, os estudos ainda se encontram em estágios experimentais e são escassos. Devido à notável heterogeneidade da população animal, os estudos na população de cães e gatos ainda se encontram em fase de avaliação de parâmetros ventilatórios de normalidade, com raros relatos de aplicação clínica experimental, principalmente em patologias pulmonares (MOSING et al., 2012).

Portanto, o propósito deste trabalho foi relatar e avaliar a eficácia clínica da monitoração da capnografia volumétrica em um cão sob ventilação mecânica submetido a cirurgia de herniorrafia diafragmática adquirida traumática.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fisiopatologia - Hérnia diafragmática

A hérnia diafragmática é uma condição patológica que pode ser categorizada como congênita ou adquirida. As formas adquiridas são substancialmente mais prevalentes do que as congênitas e, em geral, estão correlacionadas com um evento traumático. Por outro lado, as hérnias congênitas estão intrinsecamente relacionadas a anomalias embrionárias do diafragma, resultando na incapacidade de desenvolvimento ou fusão adequada (LEVINE, 1987).

Na forma adquirida, observam-se causas traumáticas multifatoriais, tais como quedas, diversos tipos de acidentes automobilísticos, torções e ferimentos penetrantes. De maneira geral, o impacto resulta em um significativo gradiente de pressão através do diafragma e um aumento exponencial da pressão intra-abdominal, levando à ruptura diafragmática em seu ponto de maior vulnerabilidade. A localização do ponto de ruptura está diretamente relacionada ao local do impacto e à disposição das vísceras, contudo, não demonstra predileção por um lado específico. O ponto de ruptura é um fator determinante para a prevalência de órgãos específicos adentrando a cavidade torácica. Conforme documentado na literatura, praticamente todos os órgãos podem sofrer herniação, contudo, é mais frequentemente observada a herniação do fígado, devido à sua localização anatômica abdominal (LEVINE, 1987).

O diafragma é o principal músculo responsável pelo processo de inspiração, enquanto outros grupos musculares, como os intercostais e abdominais, têm uma função preponderante na expiração. Portanto, a ruptura diafragmática resulta na perda da capacidade de acoplamento mecânico entre os movimentos torácicos e abdominais, o que gera um gradiente de pressão ineficaz para uma ventilação adequada (WORTH; MACHON, 2005).

Considerando a ruptura diafragmática e o deslocamento torácico de órgãos abdominais, é comum o comprometimento dos lobos pulmonares. A compressão desses lobos pode induzir atelectasia por compressão, resultando na redução da capacidade funcional pulmonar e em distúrbios de ventilação e perfusão. As áreas atelectásicas propiciam regiões de shunt pulmonar, ou seja, o fluxo sanguíneo venoso que passa diretamente para a circulação sistêmica sem ser oxigenado. É frequentemente observada hipoxemia, efusão pleural, lesão pulmonar, pneumotórax, arritmias, hemorragias, entre outras complicações (WORTH; MACHON, 2005).

A sintomatologia clássica manifesta-se primariamente no sistema respiratório, com a apresentação de quadros de dispneia, taquipneia, cianose de mucosas e adoção da posição ortopneica (WORTH; MACHON, 2005). Sinais clínicos adicionais incluem ausculta cardíaca e pulmonar abafada, presença de borborigmos na região torácica, claudicação, manifestações gastrointestinais, hematúria, convulsões, entre outros (LEVINE, 1987). A severidade dos sintomas varia consideravelmente entre os casos e as áreas afetadas, com alguns animais chegando a quadros de choque (PEREIRA et al., 2023).

O diagnóstico se fundamenta na manifestação clínica dos sintomas, no histórico do paciente e em exames complementares de imagem. A radiografia emerge como o principal recurso diagnóstico, permitindo a identificação da perda da silhueta diafragmática, a presença de alças intestinais na cavidade torácica, o deslocamento dos campos pulmonares e a ausência da silhueta cardíaca (PEREIRA et al., 2023). Entretanto, é imperativo considerar o posicionamento radiográfico do paciente dispneico, dada a possibilidade de desencadear estresse adicional e agravar o quadro, potencialmente levando a uma parada cardiorrespiratória. A ultrassonografia também se destaca como uma valiosa ferramenta de diagnóstico à beira do leito, possibilitando a visualização da ausência do diafragma entre o fígado e o coração. Esta técnica representa uma alternativa útil em casos de animais descompensados ou quando a radiografia se mostra insuficiente para o diagnóstico (WORTH; MACHON, 2005).

O tratamento preconizado é de natureza cirúrgica, envolvendo a abertura da cavidade torácica por meio de uma celiorrafia para a correção da hérnia, procedimento este conhecido como herniorrafia. Contudo, é crucial notar que a taxa de mortalidade associada a esta intervenção permanece significativamente elevada, variando entre dez a trinta por cento,

conforme evidenciado por diferentes estudos e em distintas espécies. De forma geral, enfatiza-se a importância da estabilização do paciente gravemente comprometido, tanto antes quanto após a realização do procedimento cirúrgico (WORTH; MACHON, 2005).

2.2 – Recrutamento alveolar

A atelectasia corresponde a um colapso alveolar, de origem multifatorial. É comum em pacientes sob anestesia geral e está associada principalmente a uma oxigenação prejudicada, desequilíbrios na relação Ventilação/Perfusão (V/Q) e redução da complacência pulmonar. Sua ocorrência está diretamente ligada a compressão do tecido pulmonar, a absorção de oxigênio alveolar e a deficiência de surfactante. A depender de sua gravidade, está diretamente ligada a complicações pós-operatórias e lesão pulmonar (WARLTIER; DUGGAN; KAVANAGH, 2005).

O recrutamento alveolar (RA) consiste em manobras realizadas em um paciente anestesiado e intubado, ventilado por pressão positiva, visando a abertura de alvéolos atelectásicos causadores de *shunt* intrapulmonar. Estas manobras são compostas por um aumento da pressão de pico inspiratória (P_{Pico}) e posterior adição de uma pressão positiva expiratória final (PEEP), a fim de manter alvéolos abertos e a capacidade residual funcional (CRF) (GARCÍA-SANZ et al., 2020).

A expansão alveolar está intrinsecamente associada à aplicação da PEEP, cujo valor deve exceder a pressão transpulmonar. A sustentação da expansão alveolar, por sua vez, está condicionada a uma PEEP apropriada, a qual não deve ser reduzida a um limiar inferior à pressão de fechamento (CANFRÁN et al., 2012).

Manobras de RA são empregadas clinicamente em cenários que apresentam diminuição da complacência pulmonar, situações de hipoxemia e acentuada redução na relação PaO_2/FiO_2 , tipicamente, demonstra eficácia quando a condição subjacente é a atelectasia. Deve-se ponderar o risco associado à sua implementação em casos de instabilidade cardiovascular, onde a diminuição da pré-carga pode ser considerada arriscada. Além disso, é imperativo considerar pacientes com patologias respiratórias, particularmente quando uma estratégia ventilatória protetora é indicada (CANFRÁN et al., 2012).

Na medicina veterinária não foi estabelecida uma abordagem única ou preeminente para a realização de manobras de recrutamento alveolar. Cada autor apresenta um método distinto de execução, como exemplificado pela progressão do modo ventilatório controlado por pressão, mantendo o delta de pressão em 10 centímetros de água (cmH_2O), com incrementos de PEEP a cada cinco centímetros de água, até atingir quinze unidades. Na última fase, o delta de pressão foi aumentado para 15 cmH_2O , enquanto mantinha-se uma P_{Pico} máxima de 30 cmH_2O . Após

encerramento das etapas, o autor manteve uma PEEP de 4 cmH₂O de acordo com a Figura 1 abaixo. Cada ciclo apresentou um minuto de duração (CANFRÁN et al., 2012).

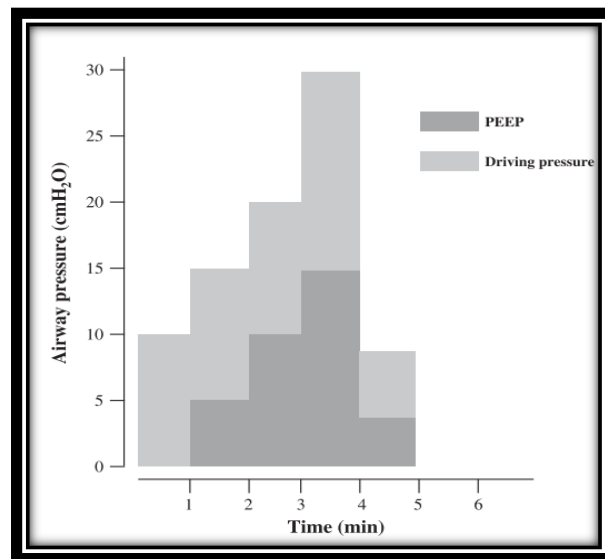


Figura 1: Modelo esquemático da manobra de recrutamento alveolar apresentado por Canfrán et al, 2012.

No estudo de Staffieri e colaboradores (2010), uma abordagem de manobra de recrutamento mais simplificada foi apresentada, consistindo essencialmente em aumentar a pressão inspiratória para 40 cmH₂O durante 20 segundos, em animais anestesiados em decúbito dorsal após quarenta minutos. No presente estudo, o autor não aplicou PEEP após o recrutamento, avaliando vários parâmetros ventilatórios. Destacou-se um aumento significativo nas atelectasias após trinta minutos da realização da manobra.

No estudo conduzido por García-Sanz e colaboradores (2021), a abordagem metodológica para a manobra de recrutamento assemelhou-se à empregada anteriormente por (Canfran et al., 2012). No entanto, ao atingir a última etapa, o autor procedeu à redução da PEEP através do modo ventilatório em volume controlado (VCV), estabelecendo a PEEP com base na melhor complacência para cada paciente. Foi observado um aumento na oxigenação intraoperatória em cães saudáveis submetidos a anestesia geral. Contudo, não houve uma melhora imediata na oxigenação pós-operatória entre os grupos comparados no estudo.

De forma abrangente, conforme evidenciado nos estudos discutidos neste capítulo, as manobras de recrutamento alveolar demonstraram aumentar a complacência pulmonar, aprimorar a relação PaO₂/FiO₂ e a oxigenação durante o período intraoperatório em animais saudáveis, sem antecedentes de patologia pulmonar e hemodinamicamente estáveis. Entretanto,

não foram descritos seus efeitos em termos de segurança em pacientes com doenças pulmonares preexistentes, nem se demonstrou superioridade na oxigenação pós-anestésica.

2.3- Capnografia Volumétrica

A capnografia volumétrica é uma ferramenta de monitoração não invasiva, a beira-leito e em tempo real, capaz de fornecer informações sobre a cinética da eliminação do CO₂ em pacientes intubados. É um sistema complementar que reconhece o CO₂, associado a sensores de fluxo, fornecendo um gráfico particular a cada ventilação. Este gráfico demonstra o comportamento do CO₂ durante o ciclo ventilatório (CO₂ x Volume corrente), diferentemente da capnografia convencional, que representa um gráfico de CO₂ por Tempo (KREMEIER; BÖHM; TUSMAN, 2020).

Atualmente, é compreendido sua importância clínica, por fornecer uma infinidade de parâmetros ventilatórios (Figura 2), como: espaço morto de vias aéreas (VD_{aw}), ventilação alveolar (Vt_{alv}) eliminação pulmonar de CO₂ (VO₂), pressão parcial mista de CO₂ (PeCO₂), espaço morto alveolar (VD_{alv}), além de diversos parâmetros biomecânicos.

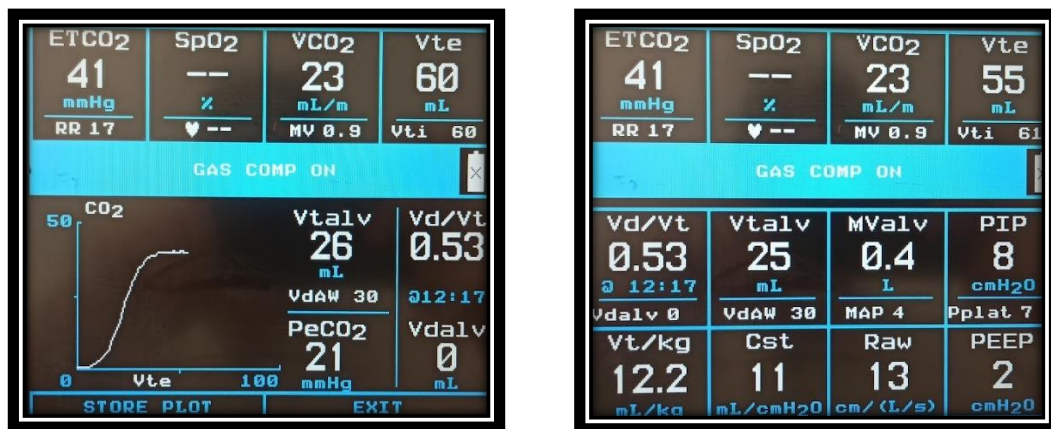


Figura 2: Parâmetros ventilatórios medidos pela capnografia volumétrica. Fonte: Arquivo pessoal.

Como na capnografia convencional, o capnógrafo volumétrico apresenta uma curva gráfica representada por três fases (Figura 3), demonstrando a dinâmica do CO₂ na fase expiratória. A fase I, é compreendida como a porção inicial do volume corrente de vias aéreas superiores e sem contribuição alveolar, onde há uma quantidade negligenciável de CO₂. Na fase II, é observado uma inclinação ascendente de CO₂, representando a parcela do volume corrente proveniente de compartimentos anatômicos superiores e alveolares. Já Na fase III, a trajetória do CO₂ forma um platô, representando a porção final do volume corrente de maneira mais

plana, sendo representada pela contribuição do compartimento de gás alveolar puro (VERSCHEURE et al., 2016).

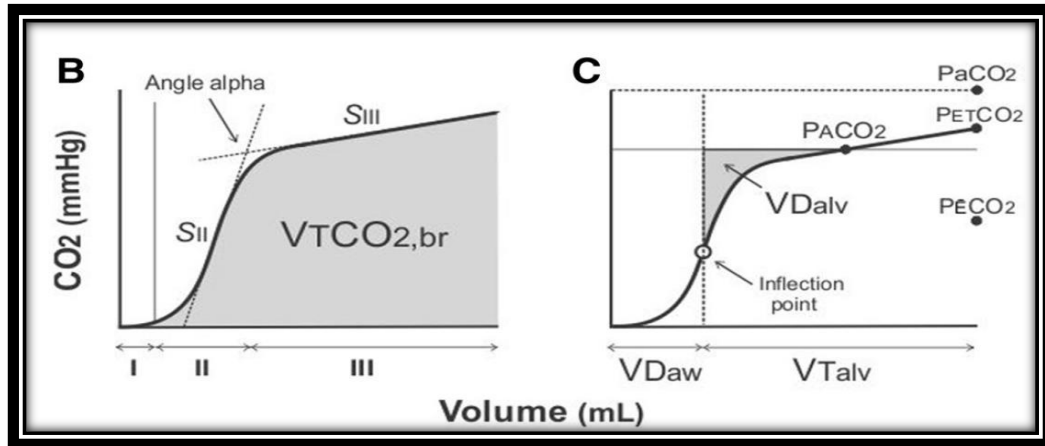


Figura 3: Representação gráfica da capnografia por volume e CO₂. PaCO₂: Pressão arterial de CO₂, ET_{CO₂}: Pressão de CO₂ no fim da expiração, PACO₂: Pressão alveolar de dióxido de carbono, PeCO₂: Pressão média de CO₂ expirado. VtCO₂: quantidade de CO₂ expirado em uma ventilação. Vtalv: Ventilação alveolar, VD_{alv}: Espaço morto alveolar, VD_{aw}: Espaço morto anatômico. Fonte: (KREMEIER; BÖHM; TUSMAN, 2020).

No contexto clínico é importante evidenciar definições sobre parâmetros fornecidos pelo capnógrafo volumétrico. O volume corrente (Vt), é o volume que entra e sai dos pulmões a cada ventilação. Parte do Vt enviado para o paciente ventilado mecanicamente, vai ser destinado a ventilação alveolar (V_{talv}), que é o local de eleição para troca gasosa de oxigênio e gás carbônico. Outra parcela do Vt, será destinado a percorrer espaço morto anatômico, correspondente a estruturas de vias aéreas que não participam de troca gasosa (VD_{aw}), e por último, uma porção do Vt enviado a estruturas alveolares não perfundidas, sendo chamado de espaço morto alveolar (VD_{alv}). A somatória do espaço morto anatômico e alveolar é denominado de espaço morto fisiológico (VD_{phys}). A junção do espaço morto fisiológico com o volume corrente alveolar se completa na totalidade do volume corrente como evidenciado pela figura 3 (VERSCHEURE et al., 2016).

Teoricamente, para realizar-se uma ventilação mecânica efetiva individual, é necessária compreensão da porção do volume corrente que ventila de maneira adequada os alvéolos. Para isso, é necessário compreender sua porção destinada ao VD_{aw}. Portando, em 1891, Bohr, apresentou uma fórmula para determinar este valor: $VD_{phys}/Vt = (PACO_2 - PeCO_2) / PACO_2$. No entanto, o valor de pressão alveolar de CO₂ exato é de difícil detecção, não tornando seu cálculo clinicamente viável. Sendo assim, em 1938, Enghoff, com base nesse raciocínio, propôs uma adaptação desta mesma equação, substituindo, a PACO₂ pela PaCO₂ [$VD_{phys}/Vt =$

$(PaCO_2 - PeCO_2)/PaCO_2]$. Tornando-se então uma fórmula eficaz, de utilização clínica a beira-leito (VERSCHEURE et al., 2016).

É plausível compreender que, em um pulmão com uma relação V/Q ideal, a $PaCO_2$ irá aproximar-se da PAO_2 , ou seja, representando um valor de espaço morto fisiológico semelhante entre a equação de Bohr e a modificada de Enghoff. Porém, clinicamente, em pacientes pneumopatas, essa relação dificilmente será perfeita, estando sujeito a um aumento do *gap* $PaCO_2 - PACO_2$, por diversas causas, como: *shunt* intrapulmonar, déficit em difusão de difusão e situações de heterogenicidade da relação V/Q (ENGHOFF, 1938).

Em humanos, há uma infinidade de estudos demonstrando e discutindo evidências sobre parâmetros mensurados e calculados pela capnografia volumétrica, e estudos esses em pacientes com lesão pulmonar e com parâmetros de prognóstico (VERSCHEURE et al., 2016). Na medicina veterinária, os estudos são poucos e com número amostral ainda pequeno. A heterogeneidade de raças e padrões demonstra ser um dos fatores limitantes para o avanço científico. Novas pesquisas vêm sendo publicadas na intenção de demonstrar parâmetros ventilatórios em animais saudáveis, sendo um campo de pesquisa ainda inexplorado, principalmente em animais debilitados (BUMBACHER; SCHRAMMEL; MOSING, 2017).

3. RELATO DE CASO

Uma cadela, com idade de quatro anos e um mês, sem raça definida, de pelagem preta, dócil, com peso de dez quilogramas, foi admitido no Serviço de Cirurgia de Pequenos Animais do Hospital Veterinário da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus Botucatu, com histórico reconhecido de atropelamento por carro há dois dias.

Na anamnese, a tutora relatou que, desde o acidente, animal apresentou dispneia progressiva, sem perda de consciência ou convulsão, hematúria, claudicação em membro pélvico esquerdo, normofagia, sem a presença de êmese ou diarreia. O paciente foi encaminhado a um colega veterinário de sua proximidade para realização de uma consulta clínica e coleta de exames complementares. Após reconhecimento da gravidade do quadro clínico, o colega veterinário encaminhou o caso para o Serviço Veterinário da UNESP Botucatu.

Ao exame físico, o paciente apresentou-se alerta, escore corporal 4/9, intensamente dispneico, com mucosas cianóticas, glicemia 121mg/dL, frequência cardíaca de 144 batimentos por minuto (bpm), temperatura 37,5°C, auscultação cardíaca e pulmonar abafada e linfonodos não reativos. Após analgesia com Metadona (Metadon® 10mg/mL) na dose de 0,2 mg/kg pela

via intramuscular, foi inserido um cateter na veia cefálica e oxigenioterapia por máscara com fluxo de 3 litros. O paciente foi submetido a uma radiografia torácica, resultando em diagnóstico de hérnia diafragmática. Após confirmação da indicação cirúrgica de herniorrafia, foi coletada amostra sanguínea para hemogasometria venosa da veia jugular como exame pré-anestésico (Tabela 1). Observou-se uma discreta acidemia, por acidose respiratória primária. Sem alterações eletrolíticas.

Tabela 1: Hemogasometria venosa pré-anestésica. (Parâmetros fora da normalidade encontram-se descritos em negrito):

pH	7,32	HCO₃(act)	23,8	Anion gap	16,8	Na+	149
PCO₂	48,9	BE(ecf)	-1,1	Cl-	108	Ca ⁺⁺	1,32
PO ₂	30	SO _{2v}	44,3%	K+	3,88	Lac	1,4
Ht	50%	PaO ₂ /FiO ₂	X	(PaCO ₂ – ETCO ₂)	X	Hora:	15:48

1: Parâmetros fora da normalidade encontram-se descritos em negrito

Já na mesa cirúrgica, antecedendo a indução, o paciente foi mantido em posição de melhor conforto (esternal), foi realizada oxigenioterapia por máscara facial, com fluxo de 3 litros por minuto, com eletrocardiograma na derivação DII, pressão arterial sistólica (PAS) se manteve em 140 milímetros de mercúrio (mmHg) com som do Doppler ultrassônico abafado, associado a taquicardia sinusal de 160 bpm. Duas provas de carga consecutivas foram realizadas com solução de Ringer com lactato na taxa de 10 mililitros (mL) por quilo (kg) em 10 minutos, observando importante melhora na qualidade do som do Doppler vascular. Devido a pelagem escura, não foi possível a obtenção da saturação periférica de oxigênio da hemoglobina (SpO₂) previamente a indução anestésica.

A indução anestésica foi realizada, de forma titulada dose-efeito com a administração de propofol (Propovan® a 1%), 5 mg/kg, IV, (dose total), em associação a,0,6 mg/kg de cetamina (Cetamin® 10%), 3 mcg/kg de fentanil (FENTANEST® 50 mcg/mL), e 2mg/kg de lidocaína (Xylestesin® 2%), todos pela via IV. Após perda de reflexos e intubação orotraqueal com sonda 8,0 mm, foi instituída ventilação mecânica (Mindray ® WATO EX-35Vet), a princípio, por pressão positiva intermitente pelo modo pressão controlada (SIMV-PC). A manutenção anestésica foi feita com Isoflurano (isoflurine®). O paciente foi mantido na infusão contínua analgésica durante uma hora e quarenta minutos nas taxas de 10 mcg/kg/h fentanil, 50 mcg/kg/min de lidocaína e 10 mcg/kg/min de cetamina. A infusão foi interrompida em torno de sessenta minutos antes do final do procedimento.

A monitoração anestésica foi conduzida utilizando um monitor multiparâmetro (Mindray ® uMEC12 Vet). Este dispositivo permitiu a observação do traçado de

eletrocardiograma em segunda derivação, fornecendo dados acerca da frequência e ritmo cardíaco. Adicionalmente, a saturação periférica de oxigênio da hemoglobina foi aferida através de oximetria de pulso, enquanto a pressão arterial direta foi monitorada de forma contínua. A ETCO_2 foi avaliada por meio de capnografia/capnometria, e a temperatura corporal foi medida por meio de termômetro esofágico.

Além dos parâmetros convencionais gerados pelo monitor multiparâmetro, foi integrado um capnógrafo volumétrico (Respironics NM3®). Este dispositivo se destacou por sua capacidade de monitorar as trocas gasosas fisiológicas, o espaço morto das vias aéreas, a ventilação alveolar efetiva, bem como uma série de outros parâmetros ventilatórios relevantes para o acompanhamento anestésico.

Posteriormente a indução, foi realizada a cateterização da artéria podal dorsal. Após a obtenção de dados referentes à pressão arterial invasiva, foi observada discreta hipotensão, registrando uma pressão arterial média de 55 mmHg. Esta condição foi prontamente tratada mediante a administração de infusão contínua de norepinefrina. Ao longo do procedimento, a taxa de infusão de norepinefrina foi ajustada de acordo com os valores de pressão arterial média, variando de 0,05 mcg/kg/min a 0,3 mcg/kg/min, demonstrando ser um tratamento eficaz em restaurar a normotensão.

Após posicionamento, foi notada assincronia paciente-ventilador. Sendo assim, foi iniciada uma Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada por Pressão Controlada (SIMV-PC). O *pre-set* inicial foi de: P_{PICO} de 12 cmH₂O, FiO_2 de 100%, Frequência respiratória (Fr) de 20 movimentos por min (mpm), Tempo inspiratório (T_{insp}) de 1,3 segundos, *Trigger* de 2,0 litros por minuto (L/min), Tempo de desaceleração do fluxo (T_{slope}) de 0,3 segundos e PEEP 5 cmH₂O, mantendo um delta de pressão de 7 cmH₂O. Nos ciclos suporte foi estipulado, 12 cmH₂O de *drive* pressórico, porcentagem de fluxo expiratório para ciclagem de 25% e a porcentagem da janela de trigger de 25%.

Pela capnografia volumétrica no contexto ventilatório foi observada SpO_2 de 78% , concentração de dióxido de carbono de Final de Expiração (ETCO_2) de 73 mmhg, 40 movimentos respiratórios por minuto (mpm) na adição de ciclos de suporte, PeCO_2 de 11 mmHg, complacência de 7 mL/cmH₂O, V_{te} de 55 mL, volume minuto (VM) de 1,9 litros (L) e uma eliminação de CO_2 pulmonar de 20 mL/m. Pela representação gráfica de $\text{CO}_2 \times V_{\text{te}}$ foi observado somente a fase I e II, estando ausente a fase III, logo, não foi possível mensurar parâmetros como VA e de V_{Daw} (Figura 4).

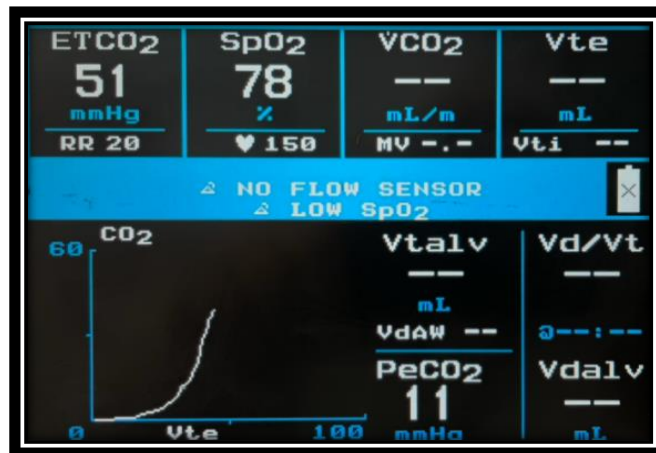


Figura 4: Identificação das fases I e II, ausência de fase III e ausência de valores mensurados pela capnografia volumétrica pré recrutamento. Fonte: arquivo pessoal.

Levando em consideração as assincronias vistas na porção inicial do procedimento, foi realizada a administração de 0,3 mg/kg de Atracúrio (TRACUR®) em bolus lento. As assincronias foram suprimidas, a biomecânica ventilatória melhorou, porém o VM diminuiu para 1,2 L/min devido a supressão de ventilações de suporte, mesmo com o aumento da Fr para 24 mpm. A complacência reduziu para 6 mL/cmH₂O, ETCO₂ subiu para 72 mmHg e o paciente continuou em hipoxemia (PaO₂ 69 mmHg). Na capnografia volumétrica ainda era observada ausência de ventilação alveolar. O paciente não recebeu nenhum incremento no volume minuto até a retirada dos órgãos da cavidade torácica, que levou aproximadamente 25 minutos (Tabela 2).

Tabela 2: Hemogasometria arterial, anterior a manobra de recrutamento. Fonte: arquivo pessoal. Fonte: arquivo pessoal.

pH	7,01	HCO₃(act)	31,7	Anion gap	7,5	Na+	148
PCO₂	131,9	BE(ecf)	1,1	Cl-	109	Ca ⁺⁺	1,34
PO₂	69	SO₂	79,4%	K+	3,84	Lac	1,2
Ht	42%	PaO₂/FiO₂	74,1	(PaCO₂-ETCO₂)	67	Hora:	16:57

2: Parâmetros fora da normalidade encontram-se descritos em negrito

Após a remoção do estômago da cavidade torácica, enquanto o diafragma permanecia exposto, foi conduzida uma manobra de RA. O modo de ventilação foi modificado para pressão controlada (PCV), com uma variação de pressão de 10 cmH₂O. Iniciou-se com PEEP de 5 cmH₂O, Fr de 20 mpm, um *Tslope* de 0,3 segundos e uma relação entre a fase de inspiração e expiração (I:E) de 1:1,5. Cada ciclo de recrutamento teve uma duração aproximada de 30 segundos. A PEEP foi aumentada em incrementos de 5 cmH₂O a cada ciclo de recrutamento,

até atingir um total de 20 cmH₂O, com uma P_{Pico} máxima de 30 cmH₂O. Notou-se uma queda da pressão arterial média para 50 mmHg durante a última fase ascendente da manobra de RA.

Na fase decrescente da manobra de recrutamento, o modo ventilatório foi alterado para VCV com V_t de 100 mL, adicionado tempo de pausa de 40% e mantendo parâmetros como: Fr e relação I:E semelhantes a escada ascendente. A redução da PEEP foi de 5 em 5 cmH₂O, com 30 segundos a cada ciclo ventilatório. A PEEP foi estacionada em 5 cmH₂O onde se apresentou a melhor complacência (56 mL/cmH₂O – 5,6 mL/cmH₂O/kg). O *drive* pressórico se apresentou em 2 cmH₂O (Tabela 3).

Tabela 3: Esquema utilizado para a realização da manobra de recrutamento alveolar, após retirada dos órgãos da cavidade torácica. T = Fase do escalonamento. T1 (m) = Fase inicial modificada. Fonte: arquivo pessoal.

PVC: cmH ₂ O	T1	T2	T3	T4	VCV: 100 mL	T4	T3	T2	T1 (m) VCV 150mL
<i>P_{insp}</i> (cmH ₂ O)	15	20	25	30	35	24	15	7	12
<i>f</i> (mpm)	20	20	20	20	17	17	17	20	24
<i>I:E</i>	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5
<i>T slope</i> (s)	0,3	0,3	0,3	0,3	T°pausa: 40%	40%	40%	40%	40%
PEEP (cmH ₂ O)	5	10	15	20	20	15	10	5	5
<i>Drive</i> Pressórico	10	10	10	10	15	9	5	2	7
Complacência ml/cmH ₂ O/kg	x	x	x	x	0,8	1,2	2,1	5,6	3,0

Ao término da manobra de RA, durante a ventilação com V_t de 10 mL/kg, no modo VCV, foi observado aumento significativo na complacência pulmonar, aumentando em 5 vezes o seu valor inicial. O *drive* pressórico diminuiu consideravelmente para 2 cmH₂O, enquanto o paciente permaneceu em um estado de hipercapnia grave, com níveis de CO₂ arterial alcançando 85 mmHg.

A capnografia volumétrica demonstrou melhorias significativas: a SpO₂ elevou-se para 98%, o VM aumentou para 1,6 litros, a VO₂ exalado pelos pulmões subiu para 39 mL/min e a PeCO₂ aumentou para 15 mmHg. No entanto, mesmo com o aumento do V_t em comparação ao

início da manobra de RA, não foi possível medir o V_{Daw} e a ventilação alveolar (VA), persistindo apenas as fases I e II na análise (Figura 5).

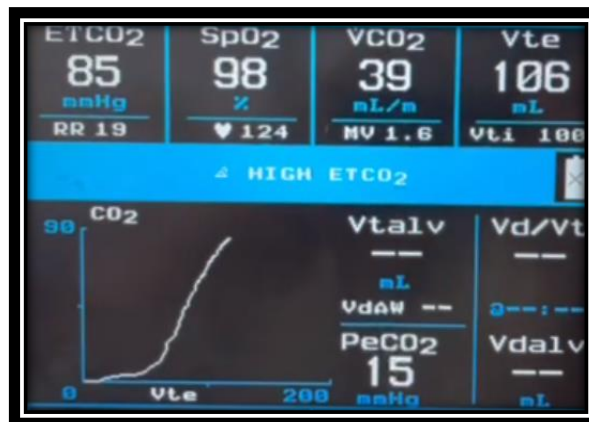


Figura 5: Imagem da capnografia volumétrica pós recrutamento alveolar, demonstrando ganho na oxigenação, porém ainda sem ventilação alveolar. Fonte: arquivo pessoal.

Na ausência da fase III, fato associado a hipercapnia grave e delta pressórico reduzido, o V_t foi então ajustado para 150 mL com uma Fr de 24 mpm. Durante esse ajuste no volume corrente, observou-se o aparecimento da fase III (platô alveolar), com a mensuração da ventilação alveolar alcançando 60 mL e a detecção do volume de espaço morto anatômico, totalizando 91 mL.

A $ETCO_2$ diminuiu gradualmente ao longo do tempo, atingindo níveis normais (43 mmHg). O VCO_2 aumentou para 70 mL/min e o VM elevou-se para 3,6 L/min. O padrão biomecânico ventilatório associado a mudança do V_t está evidenciado na Tabela 3 - T1 m (Figura 6).

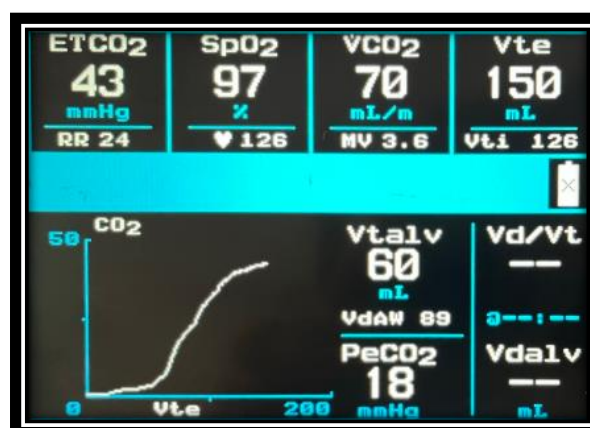


Figura 6: Foto da capnografia volumétrica demonstrando o aparecimento da fase III, ventilação alveolar e detecção do espaço morto anatômico após reajuste do volume corrente para 15 mL/kg. Fonte: arquivo pessoal.

Tabela 4: Hemogasometria arterial, após manobra de recrutamento alveolar e reajuste do Vt de acordo com a CAPV. Fonte: arquivo pessoal.

pH	7,34	HCO ₃ (act)	21,4	Anion gap	11,7	Na+	145
PCO ₂	40,8	BE(ecf)	-3,6	Cl-	112	Ca ⁺⁺	1,23
PO₂	543	SO ₂	100%	K+	3,47	Lac	2,0
Ht	40%	PaO₂/FiO₂	583	(PaCO ₂ -ETCO ₂)	3	Hora:	17:30

3: Parâmetros fora da normalidade encontram-se descritos em negrito

Utilizando a determinação PaCO₂, foi possível calcular o VD_{phys} utilizando o método modificado de Engoff: $VD/Vt = (PaCO_2 - PeCO_2) / PaCO_2$, onde VD representa o espaço morto fisiológico, Vt é o volume corrente, PaCO₂ é a pressão parcial de dióxido de carbono arterial e PeCO₂ é a pressão parcial de dióxido de carbono ao final da expiração. Com base nos valores fornecidos (PaCO₂ = 40 mmHg e PeCO₂ = 12 mmHg), o cálculo resulta em $VD/Vt = (40 - 12) / 40$, totalizando 0,70. Isso indica que, de um volume corrente de 150 mL, aproximadamente 70% estão sendo direcionado para o V_{Daw} e alveolar, enquanto 40% está contribuindo para VA efetiva (Figura 7).

Neste momento, também foi obtido o cálculo do VD_{alv}, pela fórmula $VD_{alv}/Vt: PaCO_2 - ETCO_2 / PaCO_2$. $VD_{alv}/Vt: 40,8 - 37 / 40 = 0,095$. ($0,095 \times 150Vt = 14,2$ ml). Ou seja, neste momento, 91 mL estaria ventilando V_{Daw}, 14,2 mL (1,4ml/kg) VD_{alv} e 45ml estaria ventilando devidamente alvéolos.

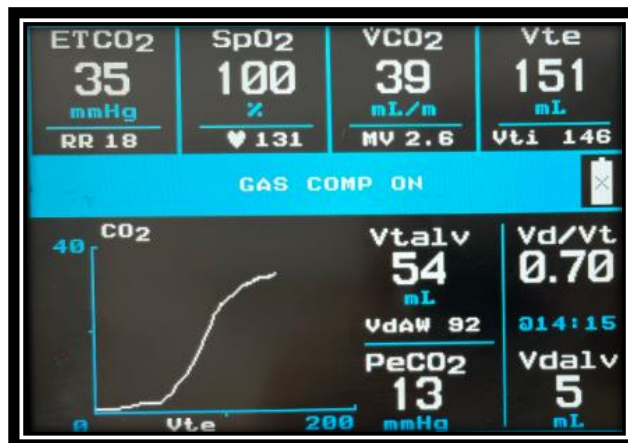


Figura 7: Após conhecimento da PaCO₂ pela hemogasometria, o equipamento determinou a relação VD/Vt e o VD_{alv}. Fonte: arquivo pessoal.

O V_{talv} foi mantido dentro da faixa de 5 a 6 mL/kg, enquanto a frequência ventilatória foi ajustada para manter a ETCO₂ próxima a 35 mmHg. O Vt necessário para sustentar essa VA foi de 15 mL/kg. O V_{Daw} do paciente foi mensurado em 9,2 mL/kg. A FiO₂ foi reduzida para 35%, garantindo SpO₂ de 100%. O *drive* pressórico permaneceu em 7 cmH₂O. O VM considerado adequado foi de 2,6 L/min. A complacência pulmonar apresentou leve diminuição

em relação ao momento imediatamente após o recrutamento, porém permaneceu elevada, registrando 2,2 mL/cmH₂O/kg. A PEEP foi mantida a 5 cmH₂O até o término do procedimento.

Foi coletada nova gasometria após 30 minutos da terceira amostra, já com a FiO₂ em 35%, antes do início do protocolo de desmame da anestesia Tabela 5.

Tabela 5: Hemogasometria arterial após redução da FiO₂ para 0,35. Fonte arquivo pessoal.

pH	7,40	HCO ₃ (act)	19,8	Anion gap	15,2	Na+	145
PCO ₂	32,1	BE(ecf)	-4,3	Cl-	110	Ca ⁺⁺	1,25
PO ₂	180	SO ₂	99,6%	K+	3,56	Lac	1,5
Ht	40%	PaO ₂ /FiO ₂	514	(PaCO ₂ -ETCO ₂)	0	Hora:	18:00

Ao término da cirurgia, o paciente foi posicionado em decúbito lateral esquerdo. O modo ventilatório selecionado para o desmame foi o SIMV - PC. Os parâmetros preestabelecidos foram os seguintes: Ppico de 12 cmH₂O, FiO₂ de 32%, Fr de 4 mpm, Tinsp de 1,2 segundos, *trigger* de 1,0 L/min, *Tslope* de 0,3 segundos e PEEP de 5 cmH₂O, resultando em um delta de pressão de 7 cmH₂O.

Nos ciclos de suporte, foi determinado um *drive* pressórico de 8 cmH₂O, uma porcentagem de fluxo expiratório para ciclagem de 5% e a porcentagem da janela de *trigger* de 50%. O fluxo foi ajustado para 100 mL/kg, mantendo uma proporção de ar comprimido de forma a manter a FiO₂ abaixo de 35% e encarrada a oferta de Isoflurano.

O paciente manifestou recuperação prolongada, sendo transferido para ventilação espontânea cerca de 30 minutos após o término do procedimento cirúrgico. Entretanto, notou-se diminuição significativa no volume corrente e no VM, associados a hipercapnia. Neste momento, o paciente exibia apenas um reflexo palpebral discreto, com o globo ocular rotacionado.

Durante a transição para ventilação espontânea, a capnografia volumétrica indicou redução considerável no VDaw (6 mL/kg), enquanto a VA estava abaixo do esperado (3,5 mL/kg). Diante dessa situação, foi administrada Naloxona, na dose de 2 mcg/kg, IV, resultando em aumento notável no volume corrente do paciente. Foi coletada gasometria com o paciente já ventilando a 21% de oxigênio (Figura 8 e Tabela 6).



Figura 8: Imagem da capnografia volumétrica com o paciente em ventilação espontânea, demonstrando importante redução do volume de espaço morto anatômico. Fonte: arquivo pessoal.

Tabela 6: Hemogasometria arterial pós-operatória, com o paciente já em ventilação espontânea com FiO₂ a 21%, ainda intubado. Fonte: arquivo pessoal.

pH	7,37	HCO ₃ (act)	21,0	Anion gap	17,4	Na+	148
PCO ₂ (mmHg)	37,2	BE(ecf)	-3,2	Cl-	109	Ca ⁺⁺	1,31
PO₂(mmHg)	72	SO₂	93,4%	K+	3,76	Lac	1,6
Ht	41%	PaO ₂ /Fio ₂	445	(PaCO ₂ -ETCO ₂)	0	Hora:	18:56

4: Parâmetros fora da normalidade encontram-se descritos em negrito



Figura 9: Paciente no pós-operatório imediato, pré encaminhamento para a internação. Fonte: arquivo pessoal.

Após a plena recuperação, o paciente demonstrou-se alerta, confortável e eupneico. Foi encaminhado para observação em clínica particular por um período de 24 horas, com todos os parâmetros dentro da faixa de normalidade. Permaneceu sob supervisão do Setor de Anestesiologia por aproximadamente uma hora após recuperação, até sua liberação (Figura 9).

4. DISCUSSÃO

Atualmente, observa-se uma tendência significativa na medicina veterinária para determinar o volume corrente ideal, visando minimizar o espaço morto das vias aéreas e assegurar uma ventilação alveolar adequada. Em um estudo experimental conduzido por Bumbacher, Schramel e Mosing, (2017), constataram que o VD_{aw} em cães foi aproximadamente de 6,5 mL/kg, indicando que um V_t de 15 mL/kg foi suficiente para promover ventilação adequada em cães saudáveis. Contudo, no caso presente em questão, foi observado VD_{aw} de 9,2 mL/kg, evidenciando considerável variação em relação ao estudo referido. Esta discrepância pode ser atribuída, possivelmente, à incorporação da PEEP, à conformação torácica específica do animal e à heterogeneidade dos sujeitos em análise, fatores estes que podem influenciar significativamente os resultados.

Recentes orientações para abordagens de ventilação prolongada em anestesia e cuidados intensivos poderiam ser consideradas inadequadas devido à sua limitação. Recomenda-se considerar a aplicação de um V_t tão reduzido quanto 6,8 mL/kg, visando prevenir danos pulmonares associados à ventilação (GATTINONI et al., 2010). No presente relato foi observado pela capnografia volumétrica que, a ventilação mecânica neste animal com V_t de 10 mL/kg não foi suficiente para ventilação alveolar efetiva, evidenciado pela ausência da fase III, apresentando ainda hipercapnia grave associada a acidose respiratória importante.

Através da capnografia volumétrica, foi observado que a variação do volume corrente não exerceu impacto significativo sobre o VD_{aw} . Em contrapartida, a VA foi notavelmente influenciada. Conforme relatado, a VA oscilou entre 5 e 6 mL/kg, a fim de manter a $PaCO_2$ em 40 mmHg, com uma Fr de 18 mpm.

A determinação do VD_{alv} foi realizada através de métodos específicos de medição e cálculo. Com base nos resultados obtidos, foi possível sugerir que a aplicação da PEEP após a manobra de RA foi adequada, uma vez que não resultou em aumento significativo da pressão alveolar, o que poderia comprometer a perfusão pulmonar e as trocas gasosas. Isso evitou a ocorrência de colapso alveolar antes do término da cirurgia, proporcionando assim oxigenação pós-operatória satisfatória.

Conforme Gattioni e colaboradores (2010) descrevem, o barotrauma pode ser desencadeado pela aplicação excessiva de pressão nas vias aéreas, resultando em lesões nos alvéolos e potencialmente levando ao desenvolvimento de pneumotórax. Posteriormente, foi introduzido o conceito de lesão relacionada ao volutrauma, que se refere ao efeito de um grande volume de ar nos alvéolos, promovendo lesões e inflamação. No contexto mencionado, devido à falta de conhecimento da área atelectásica prévia à intervenção, foi sugerido manter um nível

de pressão inspiratória baixo e fisiológico. No entanto, isso se mostrou ineficaz para adequada oxigenação e ventilação, devido à preocupação de causar lesões em áreas anteriormente saudáveis antes da manobra de recrutamento. Portanto, observou-se período de hipoxemia e hipercapnia grave, resultando em acidose respiratória primária. Poderia-se inferir que aumento da P_{PICO} para um delta de 15 cmH₂O poderia atenuar esse impacto previamente à manobra de RA, mantendo ainda um nível aceitável de pressão inspiratória.

No presente estudo, a observação do quadro clínico, associada a evidências em exames laboratoriais, como a hemogametria, sugeriu fortemente que o animal apresentava grande área pulmonar em atelectasia por compressão, colocando em risco a vida. A hipoxemia grave, baixa complacência, relação PaO_2/FiO_2 deficiente e o *gap* de CO_2 foram interpretados como um caso clássico de *shunt* intrapulmonar, sendo assim indicada uma manobra de RA seguida da descompressão de órgãos da cavidade torácica.

Estudos previamente publicados em animais de saúde íntegra, submetidos a manobras de RA em conjunto com a aplicação de PEEP, resultaram em notável melhora nas trocas gasosas a curto prazo. Entretanto, a oxigenação pós-operatória não demonstrou superioridade em relação aos animais que não foram submetidos a essa intervenção (CANFRÁN et al., 2012 ;GARCÍA-SANZ et al., 2021). No contexto presente, considerando-se um animal acometido por condições de saúde comprometida, a implementação da manobra de RA revelou-se essencial para a transição do suporte ventilatório mecânico, culminando na resolução da hipoxemia anteriormente manifestada. Este procedimento resultou em um aprimoramento exponencial tanto da oxigenação quanto da biomecânica, mesmo em fases posteriores ao procedimento cirúrgico.

Foi observado através da gasometria pré-recrutamento uma SpO_2 de 80%, correlacionada com uma PaO_2 de 69 mmHg. Na última análise gasométrica, notou-se um valor de PaO_2 ligeiramente mais elevado (72 mmHg), porém com SpO_2 de 93%. Como representado pela Figura 10, a relação é caracterizada como o deslocamento da curva de dissociação da hemoglobina, na qual aumentos de CO_2 , acidose e elevação da 2,3-difosfoglicerato (2,3-DPG) resultarão em deslocamento para a direita da curva, aumentando a PaO_2 e diminuindo a SaO_2 , e vice-versa. No momento pré-recrutamento, a $PaCO_2$ estava excessivamente elevada, alterando a curva para a direita e, conseqüentemente, reduzindo a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio (WAYNE, N.; CAROLYN, L. 2017).

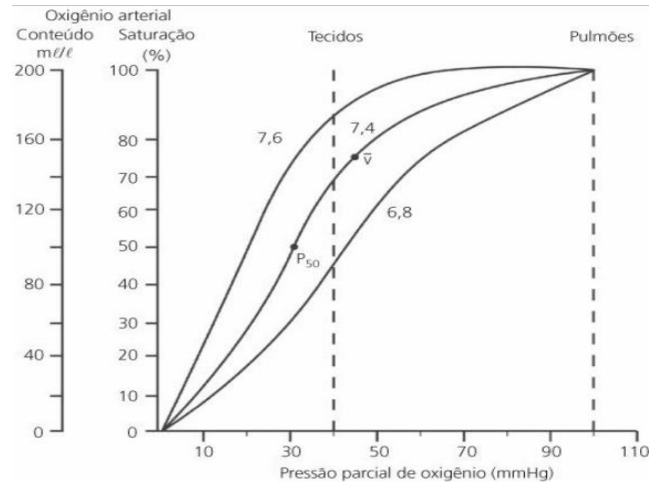


Figura 10: Representação gráfica das curvas de dissociação da oxi-hemoglobina. Fonte: Lumb & Jones, 2017.

No estudo conduzido por García-Sanz e colaboradores (2021) foi observado que os animais submetidos à manobra de recrutamento apresentaram maior incidência de depressão cardiovascular, o que demandou administração mais substancial de dopamina. No presente relato de caso, evidenciou-se depressão cardiovascular notável durante a fase final do processo de recrutamento, levando à necessidade de encurtar os ciclos para 30 segundos, em contraste com a duração de 1 minuto proposta no estudo citado. Intrigantemente, o encurtamento do tempo de escala não pareceu comprometer a eficácia da terapia. Além disso, é relevante destacar que a aplicação da PEEP no animal foi realizada no ponto de maior complacência, divergindo da abordagem proposta pelo autor, que sugeria uma aplicação dois níveis acima do ponto de maior complacência.

Após retorno no dia seguinte, o paciente permanecia estável, sem a necessidade de oxigenioterapia e, foi encaminhado a sua residência para continuação da terapia em casa. O resultado pós-operatório demonstrou sucesso da terapia cirúrgica e anestésica, possibilitando bom prognóstico para o paciente e satisfação para a família.

5. CONCLUSÃO

A aplicação da capnografia volumétrica em contexto clínico, em um paciente submetido a herniorrafia diafragmática adquirida, revelou-se como indicador de monitoramento esclarecedor acerca da condição ventilatória. Esta técnica, quando empregada em conjunto com a ventilação mecânica, permitiu estabelecer um protocolo terapêutico, tanto antes quanto após a manobra de recrutamento alveolar. A identificação de parâmetros como o volume alveolar e

o espaço morto anatômico após a manobra de recrutamento desempenhou um papel crucial na estabilização da condição clínica, particularmente em relação à hipoxemia e à acidose respiratória. Consequentemente, foi possível personalizar a ventilação mecânica de acordo com a situação clínica presente, resultando em melhoria terapêutica significativa.

6. REFERÊNCIAS

- BUMBACHER, S.; SCHRAMEL, J. P.; MOSING, M. Evaluation of three tidal volumes (10, 12 and 15 mL kg⁻¹) in dogs for controlled mechanical ventilation assessed by volumetric capnography: a randomized clinical trial. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 44, n. 4, p. 775–784, 1 jul. 2017.
- CANFRÁN, S. et al. Effects of a stepwise lung recruitment manoeuvre and positive end-expiratory pressure on lung compliance and arterial blood oxygenation in healthy dogs. **Veterinary Journal**, v. 194, n. 1, p. 89–93, out. 2012.
- GARCÍA-SANZ, V. et al. Effect of recumbency and body condition score on open-lung positive end-expiratory pressure and respiratory system compliance following a stepwise lung recruitment manoeuvre in healthy dogs during general anaesthesia. **Research in Veterinary Science**, v. 132, p. 177–185, 1 out. 2020.
- GARCÍA-SANZ, V. et al. Individualized positive end-expiratory pressure following alveolar recruitment manoeuvres in lung-healthy anaesthetized dogs: a randomized clinical trial on early postoperative arterial oxygenation. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 48, n. 6, p. 841–853, 1 nov. 2021.
- GATTINONI, L. et al. **Ventilator-induced lung injury: The anatomical and physiological framework**. Critical Care Medicine. **Anais...**Lippincott Williams and Wilkins, 2010.
- KREMEIER, P.; BÖHM, S. H.; TUSMAN, G. **Clinical use of volumetric capnography in mechanically ventilated patients**. **Journal of Clinical Monitoring and Computing**Springer, , 1 fev. 2020.
- LEVINE, S. H. **Diaphragmatic hernia**. **The Veterinary clinics of North America. Small animal practice**, 1987.
- MOSING, M. et al. Evaluation of variables to describe the shape of volumetric capnography curves during bronchoconstriction in dogs. **Research in Veterinary Science**, v. 93, n. 1, p. 386–392, ago. 2012.
- PEREIRA, G. J. et al. **Article Eleven-year retrospective analysis of acquired diaphragmatic hernia in 49 dogs and 48 cats**CVJ. [s.l: s.n.].
- STAFFIERI, F. et al. **Alveolar recruiting maneuver in dogs under general anesthesia: Effects on alveolar ventilation, gas exchange, and respiratory mechanics**. Veterinary Research Communications. **Anais...**jun. 2010.
- SUAREZ-SIPMANN, F.; BOHM, S. H.; TUSMAN, G. **Volumetric capnography: The time has come**. **Current Opinion in Critical Care**Lippincott Williams and Wilkins, , 2014.

VERSCHEURE, S. et al. **Volumetric capnography: Lessons from the past and current clinical applications.** *Critical CareBioMed Central Ltd.*, , 23 jun. 2016.

WARLTIER, D. C.; DUGGAN, M.; KAVANAGH, B. P. **Pulmonary Atelectasis A Pathogenic Perioperative Entity Etiology and Pathogenesis of Atelectasis.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.asahq.org/journal-cme>.

WORTH, A. J.; MACHON, R. G. **Traumatic Diaphragmatic Herniation: Pathophysiology and Management.** [s.l: s.n.].

Enghöff, H. "**Volumen inefficax. Bemerkungen zur Fragedes shädlichen Raumes.**" *Uppsala Läkfür. Fürh* 44 (1938): 191-218.

WAYNE, N.; CAROLYN, L. Fisiologia, Fisiopatologia e Conduta Anestésica em Pacientes com Doença Respiratória. In: Lumb & Jones. **Anestesiologia e analgesia em veterinária.** 5ª ed. Rio de Janeiro: Editora Roca, 2017.

AVALIAÇÃO DOS RESIDENTES

ANO: 2024

NOME DO RESIDENTE: Paulo Vítor Assis Vieira

DEPARTAMENTO: CIRURGIA VETERINÁRIA E REPRODUÇÃO ANIMAL

ÁREA: Anestesiologia Veterinária

PRECEPTOR: Prof(a). Dr(a). Francisco Jose Teixeira Neto

I – AVALIAÇÃO:

Nota das atividades realizadas no período e a entrevista (NA)	10
Nota do trabalho de conclusão (monografia) (NTC)	10
Nota do desempenho durante as atividades de Residência, emitida pelo Preceptor (ND)	10
Média = $\frac{(NA \times 1) + (NTC \times 1) + (ND \times 1)}{3}$	10

Botucatu, 26/02/2024

Prof(a). Dr(a). Francisco José Teixeira Neto

Prof(a). Dr(a). Antonio José de Araujo Aguiar

Prof(a). Dr(a). Juliany Gomes Quitzan

