

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL – CPGEI

CARMEN CAROLINE RASERA

**MENSURAÇÃO DA PRESSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO
ARTERIAL E EXPIRADO EM LACTENTES E CRIANÇAS SOB
VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA
2010

CARMEN CAROLINE RASERA

**MENSURAÇÃO DA PRESSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO
ARTERIAL E EXPIRADO EM LACTENTES E CRIANÇAS SOB
VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências – Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Miguel Gewehr

CURITIBA
2010

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UTFPR – Campus Curitiba

R224m	<p>Rasera, Carmen Caroline</p> <p>Mensuração da pressão de dióxido de carbono arterial e expirado em lactentes e crianças sob ventilação mecânica invasiva / Carmen Caroline Rasera. – 2010.</p> <p>106 f. : il. ; 30 cm</p> <p>Orientador: Pedro Miguel Gewehr</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Área de Concentração: Engenharia Biomédica, Curitiba, 2010</p> <p>Bibliografia: f. 83-91</p> <p>1. Dióxido de carbono. 2. Pressão arterial – Medição. 3. Sistemas de controle biológico. 4. Respiração artificial. 5. Respiradores (Medicina). 6. Unidade de tratamento intensivo. 7. Perinatologia. 8. Engenharia biomédica. I. Gewehr, Pedro Miguel, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Área de Concentração em Engenharia Biomédica. III. Título.</p> <p>CDD 621.3</p>
-------	--

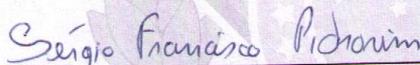
Título da Dissertação Nº 518:

“Mensuração da Pressão de Dióxido de Carbono Arterial e Expirado em Lactentes e Crianças sob Ventilação Mecânica Invasiva”

por

Carmen Caroline Raser

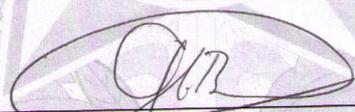
Esta dissertação foi apresentada, às 10h do dia 10 de março de 2010, como requisito parcial para a obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Engenharia Biomédica, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI –, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:



Prof. Dr. Sérgio Francisco Pichorim
(Presidente - UTFPR)



Prof. Dr. Sílvia Regina Valderramas
(UFBA)



Prof. Dr. Gilberto Branco
(UTFPR)

Visto da coordenação:


Prof. Dr. Humberto Remígio Gamba
(Coordenador do CPGEI)

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível.

À minha família pelo incentivo e confiança demonstrada.

Ao meu esposo, pelo apoio incondicional, compreensão e motivação.

Ao meu orientador pela disposição em ensinar e paciência demonstrada no decorrer do trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me deu força e sempre esteve presente em minha vida.

Aos meus pais Rasesa e Maria Margareth que sempre me deram força para continuar perseverando rumo ao objetivo a ser alcançado.

Ao meu esposo Gyl Eloy que colaborou em todos os momentos, pela paciência, incentivo e amor.

Ao Professor Dr. Pedro Miguel Gewehr, pela orientação, dedicação e confiança em mim depositada.

À fisioterapeuta Adriana Maria Trevisan Barreto Domingues, pela paciência, compreensão e vigor em mostrar-me o caminho.

Ao meu professor de inglês Rogério Alves Barrozo pela dedicação, apoio e préstimos.

Aos colegas do CPGEI pelo companheirismo, convívio, estímulo e partilha, em especial, Hellen Justina, André Pepino, Terezinha Strapasson, Santo Tiveroli, Leandro Karam, João Damasceno e Marinei Pacheco.

Aos professores, pelo conhecimento compartilhado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo suporte e apoio financeiro a esse projeto.

RESUMO

RASERA, Carmen Caroline. Mensuração da pressão de dióxido de carbono arterial e expirado em lactentes e crianças sob ventilação mecânica invasiva. 2010. 106 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Curitiba, 2010.

Nos pacientes neonatais e pediátricos internados em unidade de terapia intensiva, a monitorização do dióxido de carbono tem grande importância clínica durante a ventilação mecânica invasiva no ajuste dos parâmetros ventilatórios e na detecção de complicações relacionadas à ventilação. O objetivo principal deste estudo é investigar a correlação e o nível de concordância entre a pressão final de dióxido de carbono exalado (P_{etCO_2}) e a pressão parcial de dióxido de carbono arterial (P_{aCO_2}) em pacientes no período pós-operatório de cirurgia cardíaca, verificando a relação entre ambos os métodos em dois grupos de acordo com a temperatura corporal e as complicações pulmonares associadas. No total, 74 pacientes participaram do grupo 1, com 110 mensurações de P_{etCO_2} , P_{aCO_2} medida a 37 °C e corrigida pela temperatura real do paciente. Para toda a amostra, a correlação foi mais significativa com a P_{aCO_2} corrigida ($r = 0,92$) do que com a medida ($r = 0,78$), durante todo o período do estudo. A diferença média entre P_{aCO_2} medida e P_{etCO_2} foi 4,42 mmHg e aumentou significativamente durante a instabilidade térmica, enquanto para P_{aCO_2} corrigida a diferença média foi de 1,12 mmHg e permaneceu baixa mesmo durante hipo ou hipertermia. Os resultados obtidos para os 246 pares de P_{etCO_2} e P_{aCO_2} analisados em 42 pacientes ventilados de acordo com o grupo 2, mostraram que os dois métodos foram altamente correlacionados ($r = 0,94$) e manteve-se elevado mesmo em pacientes com complicações respiratórias. A diferença média entre as mensurações de ambos os métodos foi de -0,71 mmHg e os valores de P_{etCO_2} estavam dentro de 2 mmHg da correspondente P_{aCO_2} em 80,49% das mensurações, indicando uma forte relação. Os resultados deste estudo demonstram que a P_{etCO_2} mensurada pelo capnômetro é tão precisa quanto a P_{aCO_2} mensurada pela gasometria arterial, assim a capnometria pode ser considerada um método de monitorização indireta e não invasiva da P_{aCO_2} em pacientes de terapia intensiva submetidos à ventilação mecânica.

Palavras-Chave: Dióxido de carbono. Pressão parcial de dióxido de carbono arterial. Pressão final de dióxido de carbono exalado. Ventilação mecânica invasiva. Unidade de terapia intensiva.

ABSTRACT

RASERA, Carmen Caroline. Measurement of arterial and exhaled carbon dioxide pressure in infants and children under invasive mechanical ventilation. 2010. 106 f. Dissertation (Post-Graduate Program in Electrical Engineering and Computer Science Industrial of the Federal Technological University of Parana). Curitiba, 2010.

In neonates and pediatrics patients in intensive care units, monitoring of carbon dioxide has great clinical significance during the invasive mechanical ventilation in the adjustment of ventilatory parameters and detection of complications related to ventilation. The objective of this research is to investigate the correlation and level of agreement between end-tidal carbon dioxide pressure (PetCO₂) and the partial pressure of arterial carbon dioxide (PaCO₂) in patients in the postoperative period of cardiac surgery, verifying the relationship between both methods in two groups according to body temperature and pulmonary complications. Altogether 74 patients were arranged in the group 1 with 110 measurements of PetCO₂, PaCO₂ measured at 37 °C and corrected to the real body temperature of the patient. For the whole sample, the correlation was statistically more significant with corrected PaCO₂ ($r=0.92$) than with the measured ($r = 0.78$), throughout the study period. The mean difference between measured PaCO₂ and PetCO₂ was 4.42 mmHg and increased significantly during body temperature instability, while for corrected PaCO₂ the mean difference was 1.12 mmHg and remained low even during hypo or hyperthermia. The results for 246 PetCO₂ and PaCO₂ pairs analyzed in 42 patients ventilated according to group 2, proved that both methods were highly correlated ($r = 0.94$) and kept elevated even in patients with respiratory complications. The mean difference between the measurements of both methods was -0.71 mmHg and the values of PetCO₂ were within 2 mmHg of PaCO₂ in 80.49% of the measurements, indicating a high relationship. The results of this study demonstrate that PetCO₂ measured by capnometer is as accurate as PaCO₂ measured by arterial blood gases, thus the capnometry can be considered an indirect and noninvasive monitoring method of PaCO₂ in patients of intensive therapy under mechanical ventilation.

Keywords: Carbon dioxide. Partial pressure of arterial carbon dioxide. End-tidal carbon dioxide pressure. Invasive mechanical ventilation. Intensive care unit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da circulação extracorpórea	21
Figura 2 - Representação esquemática de um ventilador conectado ao paciente	25
Figura 3 - Representação dos modos ventilatórios	28
Figura 4 - Eletrodo de PaCO ₂	42
Figura 5 - Princípio de operação do Capnômetro por luz infravermelha	45
Figura 6 - Adaptador de via aérea EMMA com janela óptica	46
Figura 7 - Sensores aspirativos e não-aspirativos para a medida da concentração do CO ₂ expirado	47
Figura 8 - Representação esquemática do desenvolvimento da metodologia deste trabalho	51
Figura 9 - Demonstração do equipamento de Capnometria adaptado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador mecânico	53
Figura 10 - Momento da coleta sanguínea do cateter arterial localizado na artéria radial em uma seringa heparinizada	54
Figura 11 - Ambos os métodos foram realizados simultaneamente com o paciente em ventilação mecânica invasiva	56
Figura 12 - Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado e a pressão de dióxido de carbono arterial mensurada a uma temperatura corporal de 37°C	60
Figura 13 - Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado e a pressão de dióxido de carbono arterial corrigida pela temperatura corporal real do paciente	61
Figura 14 - Análise gráfica de Bland-Altman entre os métodos de mensuração de dióxido de carbono arterial mensurada a 37°C e a pressão final de dióxido de carbono expirado	62
Figura 15 - Análise gráfica de concordância entre a pressão de dióxido de carbono arterial corrigida pela temperatura corporal real do paciente e a pressão final de dióxido de carbono expirado	62
Figura 16 - Diferença entre a pressão de dióxido de carbono arterial e a pressão final de dióxido de carbono expirado para cada grupo de pacientes segundo a	

temperatura corporal	65
Figura 17 - Relação entre a pressão de dióxido de carbono expirado versus à pressão arterial de dióxido de carbono corrigida	69
Figura 18 - Análise gráfica de Bland-Altman mostra a diferença entre a pressão arterial e expirada de dióxido de carbono versus os valores médios de ambos os métodos	70
Figura 19 - Distribuição de frequências de PaCO ₂ (mmHg) mensurada pela Gasometria Arterial	71
Figura 20 - Distribuição de frequência de PetCO ₂ (mmHg) mensurada pela Capnometria	71
Figura 21 - Valores correspondentes à diferença entre a média de pressão arterial e expirada de dióxido de carbono	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência das Cardiopatias Congênitas na Infância	19
Tabela 2 - Descrição das vantagens e desvantagens dos métodos utilizados para mensuração da pressão de dióxido de carbono	35
Tabela 3 - Parâmetros fornecidos pela Gasometria Arterial	38
Tabela 4 - Causas de aumento da PetCO ₂	48
Tabela 5 - Causas de diminuição da PetCO ₂	49
Tabela 6 - Avaliação dos resultados referentes as UTIs que dispõem de um equipamento de monitorização de PetCO ₂	58
Tabela 7 - Características dos pacientes que permaneceram até 48 horas em VMI	59
Tabela 8 - Comparação das duas técnicas de pressão de dióxido de carbono arterial e expirado obtida através do teste de Bland-Altman	63
Tabela 9 - Média de mensurações da pressão de dióxido de carbono arterial (mensurada e corrigida) e pressão final de dióxido de carbono expirado baseada na temperatura	64
Tabela 10 - Valores mínimos e máximos da diferença entre pressão de dióxido de carbono arterial e a pressão final de dióxido de carbono expirado (Pa-etCO ₂) em mmHg durante variações na temperatura corporal (°C)	66
Tabela 11 - Características dos pacientes em ventilação mecânica prolongada	68
Tabela 12 - Correlação entre PetCO ₂ e PaCO ₂ baseada na condição clínica respiratória	72
Tabela 13 - Características das UTIs que participaram do estudo	75
Tabela 14 - Descrição das UTIs quanto à disponibilidade de monitorização de PetCO ₂	75
Tabela 15 - Distribuição da frequência da aplicação da monitorização de PetCO ₂ em UTIs de Curitiba, segundo as situações clínicas	77
Tabela 16 - Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEC	Circulação Extracorpórea
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPU	Central Processing Unit (Unidade de Processamento Central)
FiO ₂	Fração Inspirada de Oxigênio
I:E	Fases Inspiratória e Expiratória
FR	Frequência Respiratória
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
PaCO ₂	Pressão Parcial de Dióxido de Carbono Arterial
PACO ₂	Pressão Alveolar de Dióxido de Carbono
P(a-et)CO ₂	Diferença entre a pressão parcial de dióxido de carbono arterial e pressão final de dióxido de carbono exalado
PAO ₂	Pressão Alveolar de Oxigênio
PB	Pressão Barométrica
PCO ₂	Pressão de Dióxido de Carbono
PEEP	Pressão Positiva Expiratória Final
PetCO ₂	Pressão Final de Dióxido de Carbono Exalado
PIP	Pico Inspiratório de Pressão
PtcCO ₂	Pressão Transcutânea de Dióxido de Carbono
O ₂	Oxigênio
SaO ₂	Saturação Arterial de Oxigênio
SIMV	Spontaneous Intermittent Mandatory Ventilation (Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada)
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
VA	Ventilação Alveolar
VC	Volume Corrente
VCO ₂	Produção de Dióxido de Carbono
VEM	Volume de Espaço Morto
VMI	Ventilação Mecânica Invasiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÕES	13
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 CARDIOPATIA CONGÊNITA	18
2.1.2 Cirurgia Cardíaca com Circulação Extracorpórea	20
2.1.3 Alterações Pulmonares no Pós-Operatório de Cirurgia Cardíaca	22
2.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA EM PEDIATRIA	23
2.2.1 Modos Convencionais Pediátricos	26
2.2.2 Parâmetros Ventilatórios Pediátricos	28
2.2.3 Complicações Associadas com Ventilação Mecânica Invasiva	30
2.2.4 Monitorização Respiratória Durante a Assistência Ventilatória	32
2.2.5 Monitorização Ventilatória	33
2.3 MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO	34
2.3.1 Análise de Gás Sanguíneo Arterial (Gasometria Arterial)	35
2.3.1.1 Componentes da Gasometria Arterial	37
2.3.1.2 Pressão Parcial de Gás Carbônico	38
2.3.1.3 Mensuração e Estrutura do Eletrodo de PCO ₂	40
2.3.1.4 Técnica	42
2.3.2 Capnometria	43
2.3.2.1 Técnicas	44
2.3.2.2 Classificação	47
2.3.3 Pressão Transcutânea de CO ₂	49
3 METODOLOGIA	51
3.1 ESTUDO COMPARATIVO	52
3.1.1 Temperatura Corporal	54
3.1.2 Ventilação Mecânica Invasiva Prolongada	56
3.1.3 Análise Estatística	57

3.2 PESQUISA DE CAMPO	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 TEMPERATURA CORPORAL	59
4.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA PROLONGADA	68
4.3 QUESTIONÁRIOS	74
5 CONCLUSÃO	79
5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	80
5.2 TRABALHOS FUTUROS	81
5.3 PUBLICAÇÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICES	92
APÊNDICE A - Questionário sobre Monitoração de gás carbônico expirado (PetCO ₂) através de Capnômetros e Capnógrafos em Unidade de Terapia Intensiva (UTI)	93
APÊNDICE B - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	95
APÊNDICE C - Ficha de avaliação para o estudo comparativo em relação a diferentes temperaturas corporais	97
APÊNDICE D - Ficha de avaliação para o estudo comparativo em pacientes sob ventilação mecânica prolongada com complicações respiratórias	98
ANEXOS	100
ANEXO A - Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos	101
ANEXO B - Coeficiente de Correlação de <i>Pearson</i>	102
ANEXO C - Regressão Linear Simples	104
ANEXO D - Análise de Bland-Altman	106

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÕES

A Engenharia Biomédica é uma área polivalente que aplica os princípios, métodos e ferramentas das ciências, da tecnologia e da engenharia para analisar e resolver problemas em medicina e biologia, no sentido de desenvolver abordagens inovadoras para a instrumentação na prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, fornecendo assim uma melhoria geral nos cuidados de saúde e no próprio conhecimento do corpo humano (GUIA UNL, 2009).

O objetivo da utilização de tecnologia biomédica é o de prolongar a vida, além de melhorar a sua qualidade. Às vezes, em determinadas situações, esta mesma tecnologia de prolongamento da vida é incapaz de produzir melhoria de qualidade. O ventilador artificial congrega as vantagens e desvantagens da atual tecnologia biomédica em sua aplicação nas Unidades de Terapia Intensiva (UTIs). Sem ele, inúmeros pacientes iriam a óbito após cirurgias cardíacas a cada ano, incapazes de manter a interface necessária para as trocas gasosas. Por outro lado, muitos pacientes mecanicamente ventilados são expostos a riscos desnecessários pela não adoção de um protocolo rígido de monitorização de suas funções vitais (EMMERICH, 1996, p. 7).

A assistência ventilatória mecânica corresponde a uma das intervenções mais comuns dentro das UTIs, onde aproximadamente 96% dos pacientes internados fazem uso da ventilação mecânica invasiva (VMI) durante o período de hospitalização. Um terço desses pacientes apresentam dificuldades no estabelecimento e manutenção adequados ao suporte ventilatório e aproximadamente 30% dos pacientes em assistência ventilatória invasiva experimentam dificuldades na descontinuidade do suporte ventilatório (FRAZIER *et al.*, 2006).

O sucesso da prótese ventilatória é definido conforme a monitoração da condição clínica dos pacientes e análise das variáveis que garantem esta condição. Porém, se observa na prática que os equipamentos dificilmente são empregados ou não estão disponíveis na maioria dos serviços de terapia intensiva, quer por razões de limitação financeira, quer por razões de deficiência técnica, o que resulta em uma queda da qualidade de atendimento ao paciente, tornando o desmame um processo

demasiadamente longo e com riscos de resultados imprevisíveis (EMMERICH, 1996; RIELLA, 2007).

As complicações respiratórias são a principal causa de morbidade e mortalidade no pós-operatório de cirurgia cardíaca, principalmente em lactentes e crianças, que possuem pulmões imaturos, vias aéreas estreitas e uma pequena reserva respiratória (BARBERO-MARCIAL, 1979; LENZ, HEIPERTZ e EPPLE, 1991; COSTA, 2006). Para prevenir e reduzir a incidência de complicações pós-operatórias deve-se avaliar cuidadosamente as condições clínicas dos pacientes e promover intervenções capazes de reduzir o impacto delas na ocorrência das complicações pulmonares (AULER *et al.*, 2007, p. 394).

O conhecimento do estado do paciente após uma cirurgia cardíaca é fundamental para a evolução dos pacientes críticos, sobretudo naqueles submetidos a VMI (RIELLA, 2007). Nos lactentes e crianças as alterações na condição clínica respiratória em UTI pediátrica podem ocorrer com uma velocidade alarmante, isto é, de maneira súbita, resultado tanto da doença de base como da própria assistência ventilatória. Por esse motivo a monitorização respiratória adequada, com qualidade e a beira do leito se faz necessária, principalmente em pacientes após a correção cirúrgica de diferentes tipos de defeitos cardíacos (PIVA e GARCIA, 1992; TROSTER, FARIA e TALERMAN, 1998).

Infelizmente na prática hospitalar, a monitorização de variáveis respiratórias não toma lugar na UTI pois, muitas vezes, o equipamento necessário é encontrado apenas no laboratório de provas funcionais ou no centro cirúrgico. Desta forma, o clínico baseia-se unicamente no exame físico, na análise dos gases arteriais e em dados indiretos de mecânica calculados a partir de variáveis oferecidas pelo ventilador artificial, com todas as suas limitações em termos de reprodução destes parâmetros (EMMERICH, 1996, p. 6).

A monitoração da função ventilatória é essencial para qualquer forma de suporte ventilatório e deve indicar a adequação da ventilação alveolar e a quantidade de trabalho respiratório necessária para sustentá-lo (RASANEN, 1994). A pressão parcial arterial de dióxido de carbono (PaCO_2) consiste na melhor forma de avaliar a ventilação (RASANEN, 1994; CARVALHO, 1996; CARVALHO *et al.*, 2000), e pode ser mensurada através da gasometria arterial, um método de monitorização considerado padrão-ouro e essencial para o acompanhamento da

adequação da ventilação e oxigenação em bebês ventilados (SINGH e SINGHAL, 2006; BHAT e ABHISHEK, 2008).

Com os avanços da tecnologia relacionados a Terapia Intensiva, tanto nos dispositivos de monitoração como nos equipamentos disponíveis para a assistência ventilatória, como meio de reduzir o emprego rotineiro da análise dos gases sanguíneos (procedimento invasivo), vários outros métodos de monitoração do paciente têm sido escolhidos nos últimos anos, para que seja possível tratar de forma adequada os pacientes que se servem deste procedimento terapêutico (SIBBALD, 1990; AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002), entre eles, a capnometria que fornece a medida da concentração de dióxido de carbono no ar exalado ao final da expiração (PetCO₂).

A PetCO₂ é um parâmetro de grande importância clínica, visto que pode ser empregado de maneira indireta para determinar a PaCO₂ e inferir na ventilação alveolar (EMMERICH, 1998, p. 8). A análise do dióxido de carbono (CO₂) exalado através da capnometria é um método rápido e preciso e permite avaliar o gás exalado durante todo o período respiratório, permitindo seu registro de forma contínua, facilitando a avaliação da ventilação aplicada (BRAZ, 1996; AVENA, 1996, p. 101; EMMERICH, 1998).

O acompanhamento da PetCO₂ tem provado ser eficaz em diversas áreas clínicas. Atualmente, a capnometria é uma obrigação em salas de operação e em unidades de anestesia onde a PetCO₂ assume constante relação com a PaCO₂ permitindo ajustes de parâmetros do ventilador (RUSSEL, GRAYBEAL e STROUT, 1990; VRIES, PLOTZ e VAN VUGHT, 2002; BELPOMME *et al.*, 2005). Da mesma forma, a monitorização de PetCO₂ tornou-se essencial em unidade de emergência móvel (WAHLEN e WOLKE, 2003; BELPOMME *et al.*, 2005), serviços de emergência (KARCIOGLU e KARCIOGLU, 2000; LANGHAN e CHEN, 2008), e unidades de cuidados críticos (SINGH e SINGHAL, 2006), confirmando o correto posicionamento do tubo endotraqueal (ESCHERTZHUBER *et al.*, 2005; VARGESE, 2007) e controlando a integridade dos equipamentos de ventilação mecânica (HILLIER *et al.*, 1990). Este equipamento biomédico é também muito útil na ressuscitação cardíaca, alguns estudos recentes têm mostrado que valores de PetCO₂ são uma boa indicação da adequação da massagem cardíaca, melhorando assim a probabilidade de sobrevivência do paciente (ASPLIN e WHITE, 1995; GRMEC, LAH e TUSEK-BUNC, 2003; POKORNA, ANDRLIK e NECAS, 2006).

Ainda que existam numerosas indicações da necessidade de mensuração de PetCO_2 , o capnômetro não é utilizado tão frequentemente como o indicado. Acredita-se que isto ocorre devido a três razões: a capnometria em pacientes pediátricos é vista com ceticismo, devido às limitações na obtenção de medições precisas de CO_2 no ar expirado. Em segundo lugar, as informações sobre a utilização da capnometria na prática em pacientes neonatais e crianças são raras e não conclusivas na literatura pediátrica. E em terceiro lugar, o avanço técnico em curto prazo no equipamento referente ao desempenho e segurança dos mesmos e ao correspondente aumento de preço, tornam praticamente impossível na América Latina manter uma renovação e atualização constante dos monitores (AVENA, 1996, p. 98; KODALI, 2008).

1.2 JUSTIFICATIVA

Pacientes em UTI necessitam de monitoração contínua e à beira do leito dos parâmetros respiratórios, principalmente os pacientes sob VMI. A determinação da PaCO_2 tem grande importância clínica durante a ventilação mecânica e pode ser monitorada através da gasometria arterial ou de forma indireta através do método não invasivo da capnometria.

A capnometria permite a monitorização constante do CO_2 exalado, correlacionado estreitamente com a PaCO_2 , indicada na prática para orientar as modificações dos parâmetros de ventilação mecânica, controle da intubação endotraqueal e no seguimento da retirada da ventilação mecânica. Na teoria, este método é eficaz apenas em pacientes com parênquima pulmonar normal e circulação estável, portanto pouco fidedigno em pacientes com doenças pulmonares e alterações respiratórias e hemodinâmicas, não refletindo de modo confiável a PaCO_2 (BELPOMME *et al.*, 2005).

Assim, as informações sobre capnometria em lactentes e crianças são raras e não conclusivas na literatura pediátrica, existindo uma falta de estudos amplos descrevendo as aplicações e limitações sobre o uso de monitoração de pressão de CO_2 através da capnometria, em pacientes sob ventilação mecânica, na prática pediátrica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação consiste em investigar e avaliar a correlação e o nível de concordância entre a mensuração da pressão de dióxido de carbono sanguíneo pela técnica de Gasometria Arterial e a mensuração de pressão final de dióxido de carbono exalado através da Capnometria em pacientes neonatos e pediátricos sob ventilação mecânica invasiva, internados em Unidade de Terapia Intensiva Cardíaca de um Hospital Infantil na cidade de Curitiba/PR.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Determinar se a PaCO_2 mensurada a 37 °C de temperatura corporal ou a PaCO_2 corrigida à temperatura real do paciente apresenta uma maior correlação com a PetCO_2 .
- Avaliar de que forma a hipotermia ou hipertermia podem influenciar nos resultados de PetCO_2 e PaCO_2 em pacientes nos pós-operatório de cirurgia cardíaca.
- Avaliar a PetCO_2 como uma estimativa de PaCO_2 em pacientes com diagnóstico associado de alterações respiratórias e sob ventilação mecânica invasiva prolongada.
- Investigar a disponibilidade de monitorização contínua da pressão de dióxido de carbono expirado em pacientes sob ventilação mecânica e espontânea internados em Unidades de Terapia Intensiva na cidade de Curitiba.
- Investigar e determinar a frequência com que essa tecnologia está sendo usada para uma variedade de indicações clínicas em Unidades de Terapia Intensiva em Curitiba.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Apresentam-se neste capítulo, tópicos importantes para o entendimento e compreensão do estudo em questão. Temas relacionados à cardiopatia congênita, ventilação mecânica invasiva e monitoração respiratória são tratados na estrutura deste trabalho. Gasometria Arterial e Capnometria, métodos utilizados para a mensuração de dióxido de carbono (CO₂) do paciente durante a assistência ventilatória invasiva compõem os tópicos pertinentes à tecnologia do estudo.

2.1 CARDIOPATIA CONGÊNITA

Cardiopatias congênitas são problemas estruturais decorrentes da formação anormal do coração ou dos vasos sanguíneos principais, que apresentam amplo espectro clínico, compreendendo desde defeitos que evoluem de forma assintomática até aqueles que determinam sintomas importantes, com graves alterações no funcionamento da bomba cardíaca e alta taxa de mortalidade (RIVERA *et al.*, 2007; AHA, 2009; DAMAS, RAMOS e REZENDE, 2009, p. 103).

As cardiopatias congênitas são classificadas em função de apresentarem ou não cianose. Os *shunts* direito-esquerdos¹ em geral manifestam-se com cianose, e os esquerdo-direitos² com insuficiência cardíaca, via de regra (tabela 1). Pelo menos 18 diferentes tipos de defeitos cardíacos congênitos são reconhecidos, com muitas outras variações anatômicas (RIVERA *et al.*, 2007; AHA, 2009).

Atualmente, as cardiopatias congênitas acometem de oito a dez recém-nascidos em 1.000 nascidos vivos (McCOLLOUGH e SHARIEFF, 2002, p. 39; AHA, 2009). Segundo Hoffman e Kaplan (2002) a incidência de doença cardíaca congênita grave, que requer atendimento cardiológico especialista, é estável em

¹ O shunt direito-esquerdo significa que o sangue é desviado da câmara cardíaca direita para a esquerda (misturando o sangue oxigenado com o não oxigenado) manifestando, em geral, a cianose, um sintoma caracterizado pela coloração azul-arroxeadada da pele e das membranas mucosas, resultado do excesso de concentração de hemoglobina reduzida, ou seja, falta de oxigênio no sangue (SILVA *et al.*, 2003; MANO, 2004).

² O shunt esquerdo-direito significa o desvio do sangue vascular central da esquerda (sistêmica) para a direita (pulmonar), denominado arteriovenoso. Caracterizado pelo hiperfluxo pulmonar. Apresenta-se na criança com característica principal de insuficiência cardíaca (SOUZA, FREITA e LINS, 2005).

cerca de 2,5 a 3 para cada 1.000 nascidos vivos. As formas moderadamente graves da doença cardíaca congênita ficam em torno de 5 para cada 1.000 nascidos vivos e, a maioria das formas menos graves da doença cardíaca congênita não necessitam de cuidados cardiológicos especializados, podendo tanto fechar espontaneamente como não causar intercorrências médicas.

Tabela 1 – Frequência das Cardiopatias Congênitas na infância.

Acianogênicas		Cianogênicas	
Cardiopatias	%	Cardiopatias	%
Comunicação Interventricular – CIV	15 a 20 *	Tetralogia de Fallot – TOF	10
Persistência do Canal Arterial – PCA	5 a 10	Transposição de Grandes Artérias – TGA	5
Comunicação Interatrial – CIA	5 a 10 *	Atresia Tricúspide	< 1
Coarctação de Aorta – Coa	8 a 10		
Estenose Pulmonar – EP	8 a 12		
Estenose Aórtica – EA	8 a 12		
Defeito do Septo Atrioventricular	< 1 **		

Fonte: Kobinger (2003, p. 88).

Notas:

* CIV e CIA ocorrem em associação com outras cardiopatias congênitas em 30% a 50% dos casos.

** Ocorre em 30% dos pacientes com Síndrome de Down.

Pode-se encontrar na literatura dois tipos de cirurgias para o tratamento das cardiopatias congênitas, as cirurgias corretivas quando a cardiopatia congênita é reparada de forma definitiva durante o procedimento cirúrgico e as cirurgias paliativas, um procedimento cirúrgico com intenção de proporcionar alívio ao paciente, para facilitar outras formas de tratamento ou para aliviar sintomas ou complicações da evolução da doença de base e não para atingir a cura definitiva (ALCANTARA, 2008, p. 309).

De um modo simplificado, considera-se que o tratamento cirúrgico (corretivo ou paliativo) das cardiopatias congênitas possui os seguintes objetivos: assegurar as melhores chances de sobrevivência para a criança, tornar a função cardíaca normal ou a mais próxima possível e criar condições para a reversão de alterações secundárias pulmonares ou cardíacas (SOUZA e ELIAS, 2006, p. 552).

2.1.2 Cirurgia Cardíaca com Circulação Extracorpórea

A introdução da circulação extracorpórea (CEC) na prática clínica ocorreu na década de 50 e foi o apogeu dos estudos que se iniciaram no século XIX. Em 1951 foi realizada a primeira operação com auxílio de uma máquina de CEC no mundo e em 1953, John Gibbon realizou o primeiro procedimento cirúrgico bem sucedido, para a correção de um defeito do septo atrial. Apenas em 1956, Hugo Felipozzi realizou a primeira operação com CEC no Brasil. O desenvolvimento de técnicas, equipamentos e o conhecimento adquirido com a utilização da CEC possibilitaram grandes avanços na cirurgia cardíaca (NASCIMENTO, BERNARDES e MEDEIROS, 2002; SOUZA e ELIAS, 2006).

A CEC para cirurgia cardíaca é um recurso conceitualmente simples, seguro e de fácil manuseio. Através dela, o sangue proveniente das veias sistêmicas, geralmente das cavas, é drenado para um oxigenador que fornece oxigênio, retira gás carbônico e reduz a temperatura sanguínea. Na sequência, o sangue arterializado retorna até a raiz da aorta, através de um sistema de roletes que gera um fluxo contínuo da CEC até o paciente (figura 1) (ABELLAN e AULER, 1996, p. 294; SOUZA e ELIAS, 2006).

A CEC moderna não apenas substitui as funções cardiopulmonares, mas ao mesmo tempo, preserva a integridade celular, a estrutura, a função e o metabolismo dos órgãos e sistemas do indivíduo, enquanto operações mais complexas e prolongadas são realizadas pela equipe cirúrgica (SOUZA e ELIAS, 2006, p. 33).

Antes do início da CEC, a criança é submetida a um procedimento de anticoagulação para neutralizar a ativação da cascata de coagulação pelo contato sanguíneo com tubos e circuitos não endotelizados. Isto é possível através da administração intravenosa de heparina, geralmente na dose de 300 a 400 unidade/kg (3 a 4 mg/kg). Após o término da operação, a heparina é neutralizada pela administração de protamina em dose similar à de heparina (ABELLAN e AULER, 1996, p. 294).

De modo geral, os recursos necessários à utilização da CEC alteram todos os processos fisiológicos do organismo, podendo levar a disfunções orgânicas de diferentes magnitudes. Tudo se processa de modo simultâneo e inter relacionado, mas, de maneira didática, podem ser resumidas e enumeradas algumas destas principais alterações: hipotermia, hemodiluição, coagulopatia, alteração do padrão

de fluxo vascular pulsátil para contínuo, reação inflamatória sistêmica e retenção hídrica intersticial (ABELLAN e AULER, 1996, p. 294).

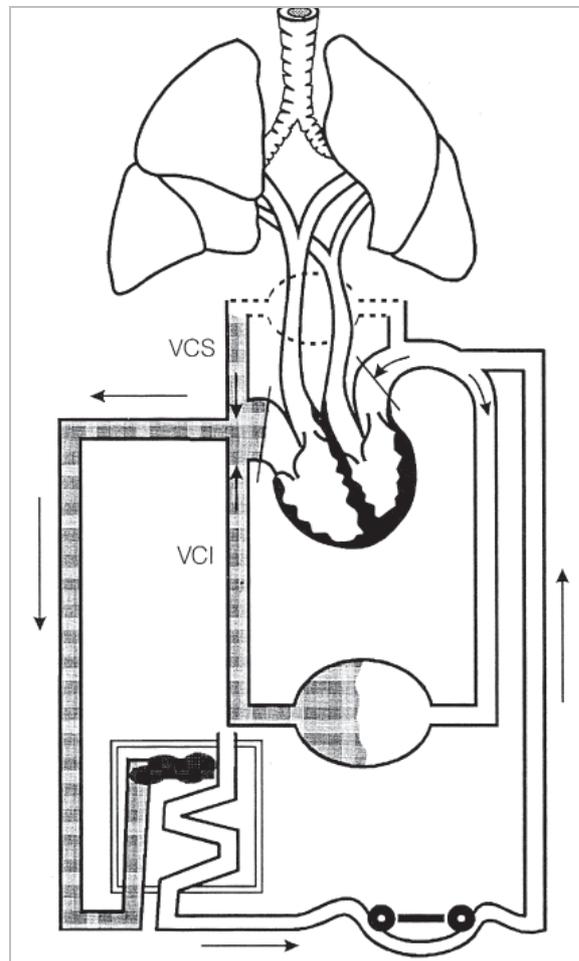


Figura 1 - Representação esquemática da circulação extracorpórea. O sangue é recolhido das veias cava superior e inferior e drenado para o oxigenador, onde é arterializado. Em seguida, a bomba arterial impulsiona o sangue oxigenado para o sistema arterial do paciente.

Fonte: Souza e Elias (2006, p. 34).

Notas:

VCS – Veia Cava Superior.

VCI – Veia Cava Inferior.

O tempo de CEC é um dos principais fatores que retarda o desmame da ventilação mecânica em cirurgia cardíaca, devido ao importante distúrbio fisiológico causado pela resposta inflamatória ao circuito extracorpóreo. Este distúrbio provoca prejuízo na membrana dos capilares pulmonares, levando a um aumento do *shunt* fisiológico e alterando as trocas gasosas, além disso, fica evidente que o tempo

prolongado da CEC aumenta os efeitos deletérios e impõe uma sobrecarga ao sistema cardiocirculatório, muitas vezes já comprometido pela cardiopatia ou pela própria cirurgia (WESTABY *et al.*, 1993; ABELLAN e AULER, 1996, p. 294; NOZAWA *et al.*, 2003).

2.1.3 Alterações Pulmonares no Pós-Operatório de Cirurgia Cardíaca

Atualmente, com a melhoria e o aperfeiçoamento das UTIs, as crianças portadoras de cardiopatias congênitas, mesmo as mais complexas, têm uma melhor sobrevida (JOÃO e FARIA, 2003).

A cirurgia cardíaca, em função do trauma cirúrgico, do procedimento anestésico e de fatores restritivos, como drenos e incisões, que levam à dor e à alteração da dinâmica torácica, compromete a fisiologia normal do sistema respiratório e reflete diretamente na função pulmonar do paciente (SENRA, IASBECH e OLIVEIRA, 1998; PAIVA e PITT, 2003).

Segundo Irwin e Tecklin (1996) e Schwan, Darwin e Duarte (2006) as principais alterações ocorridas no sistema respiratório após a cirurgia cardíaca incluem:

- (1) redução dos volumes e capacidades pulmonares;
- (2) modificação do padrão ventilatório;
- (3) alteração da relação ventilação-perfusão, causando uma redução da captação de oxigênio (O₂) e da eliminação de CO₂ do pulmão.

Desta forma, o pulmão se torna menos eficiente para troca de gases, e este desequilíbrio causa, ao mesmo tempo, hipoxemia e hipercapnia (PAZZIANOTTO-FORTI, NALETO e GIGLIOLI, 2002). Além disso, a ocorrência de queda da pressão parcial arterial de oxigênio (PaO₂), bem como as atelectasias pulmonares³, são consequências comuns a esses pacientes (IRWIN e TECKLIN, 1996; PAIVA e PITT, 2003; MENDES *et al.*, 2005).

³ Atelectasia pulmonar significa o colapso das unidades pulmonares periféricas, produzindo uma diminuição do volume pulmonar. O colapso pulmonar é uma consequência de um obstáculo à penetração de ar nos espaços alveolares. Pode-se tratar de microatelectasias, que dizem respeito às unidades periféricas ou de atelectasia acinar, lobular, segmentar, lobar e até pulmonar total, segundo a geração brônquica implicada (POSTIAUX, 2004, p. 191; JOHNSTON e CARVALHO, 2008).

Além das alterações no sistema respiratório, comuns no período pós-operatório, o quadro clínico pode ser agravado pelas características próprias da função pulmonar em neonatos e crianças (POSTIAUX, 2004), tais como:

- (1) vias aéreas estreitas;
- (2) espaço morto aumentado;
- (3) menor tolerância à fadiga muscular;
- (4) baixa complacência pulmonar;
- (5) maior facilidade no acúmulo e drenagem de secreções traqueobrônquicas, o que gera uma maior instabilidade nos pacientes com cardiopatias congênitas.

Mesmo após a correção cirúrgica os pacientes pediátricos são mantidos intubados sob VMI por um período prolongado, até a completa estabilização do quadro cardiorrespiratório (PIVA e GARCIA, 1992).

Outro fator considerado importante em pacientes sob VMI são os agentes sedativos. Durante a permanência do paciente crítico em UTI o uso adequado de agentes sedativos é de fundamental importância, especialmente naqueles sob suporte ventilatório. Além de proporcionar o bem-estar do paciente, aumentar a chance de sua recuperação e eliminar a dor, as drogas sedativas aumentam a tolerância a intubação traqueal e o manejo dos pacientes em ventilação mecânica, melhorando o sincronismo entre respirador e paciente, permitindo um melhor desempenho da interface paciente ventilador (NACUL, 1996, p. 257; EMMERICH, 1996, p. 139). Entretanto, o principal efeito adverso da maioria dos agentes sedativos consiste na depressão respiratória, que depende da dose utilizada, da associação com outras drogas e da velocidade da infusão. Outro efeito pulmonar significativo que essas drogas promovem é o aumento de secreções das vias aéreas. Ambos os efeitos são importantes considerando o quadro clínico do paciente (MIYAKE, REIS e GRISI, 1998).

2.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA EM PEDIATRIA

Durante as primeiras horas após a cirurgia cardíaca os pacientes apresentam insuficiência ventilatória secundária à persistência da ação de drogas anestésicas e analgésicas, necessitando do suporte ventilatório mecânico. O tempo habitual de ventilação mecânica para a maioria dos pacientes, é de 8 a 12 horas (SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005, p. 55).

Os pacientes em pós-operatório de cirurgia cardíaca são, geralmente, extubados tão logo cesse o efeito anestésico, tendo a modalidade ventilatória pouco impacto na decisão da extubação. Entretanto, aproximadamente 3 a 6% dos pacientes podem necessitar de VMI prolongada devido à complexidade das doenças cardíacas, pulmonares ou por outros problemas sistêmicos (ABELLAN e AULER, 1996; CARSON *et al.*, 1999; SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005).

O ventilador mecânico pode ajudar o paciente a realizar as suas funções de ventilação e respiração, sendo este considerado convencionalmente como um importante sistema de suporte de vida (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 1).

Os principais objetivos clínicos a serem alcançados com o emprego da ventilação mecânica são descritos na literatura como sendo: conservar a função respiratória do paciente, evitar ou corrigir a retenção de CO₂, corrigir a hipoxemia, melhorar o transporte de O₂ e diminuir o trabalho respiratório (FARIA, TROSTER e BAENINGER, 1998, p. 114; AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002).

O emprego da VMI implica riscos próprios, devendo sua indicação ser prudente e criteriosa e sua aplicação cercada por cuidados específicos (BARRETO *et al.*, 2000). De acordo com o perfil clínico do paciente, ou da sua patologia a ser tratada, a ventilação mecânica pode estar indicada nas seguintes condições clínicas: eletiva em pós-operatório, depressão respiratória por anestesia, insuficiência ventilatória pós-operatória, infecção pulmonar, hiperventilação controlada, entre outras (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 2).

Conectando-se o ventilador ao paciente, este passa a ser controlado pelos painéis de controle e monitorado pelos transdutores de pressão e fluxo. As válvulas de fluxo e exalação são controladas pelas CPU (unidade de processamento central) do ventilador, e, conectadas aos ramos inspiratório e expiratório, responsáveis pela inalação e exalação. Assim, na fase inspiratória do paciente, a válvula de fluxo se abre, ocorrendo o enchimento dos pulmões com o ventilador exercendo a pressão necessária para vencer o atrito nas vias aéreas e expandir os pulmões. Consecutivamente, o ventilador fecha a válvula de fluxo e abre a de exalação, nessa fase ocorre o esvaziamento dos pulmões, sendo que a força motriz é a própria pressão no interior dos pulmões, ou seja, via de regra, a exalação é passiva (BONASSA, 2000, p. 70).

A representação esquemática do funcionamento de um ventilador conectado ao paciente está mostrada na figura 2.

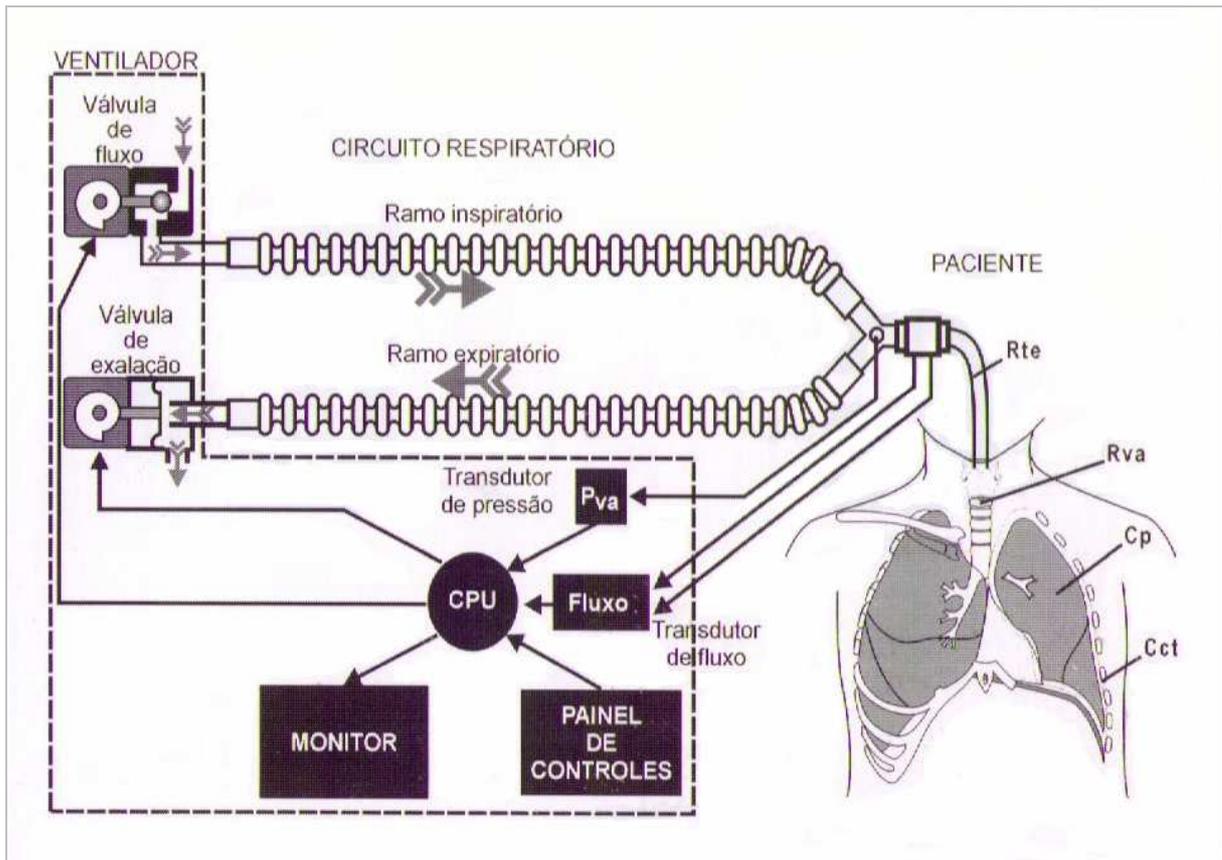


Figura 2 - Representação esquemática de um ventilador conectado ao paciente. A partir dos controles efetuados através do painel de controles e da monitorização realizada pelos transdutores de pressão e fluxo, é realizado o controle das válvulas de fluxo e exalação através do circuito de controle do ventilador. O ventilador inicia a fase inspiratória abrindo a válvula de fluxo e fechando a válvula de exalação. O paciente é representado através das vias aéreas, dos pulmões e da caixa torácica.

Fonte: Bonassa (2000, p. 71).

Notas:

Rte – Resistência do tubo endotraqueal. Representa a resistência que o paciente intubado deve vencer, ou seja, resistência esta, exercida pelo tubo do ventilador.

Rva – Resistência da via aérea do paciente.

Cct – Complacência estática do pulmão do paciente. É a medida da elasticidade do pulmão e da caixa torácica em situação de repouso.

Cp - Complacência dinâmica do pulmão do paciente. É a medida da elasticidade do pulmão e da parede torácica mais a resistência das vias aéreas.

A grande maioria dos ventiladores usados no período neonatal e em pediatria (preconizada para crianças com peso < 15 kg e < 3 anos) é de aparelhos

de fluxo contínuo, ciclados a tempo e limitados à pressão (CABRAL, 1991, p. 222; FARIA, TROSTER e BAENINGER, p. 114).

Na ventilação limitada à pressão e ciclada a tempo, o respirador gera uma pressão pré-fixada durante a inspiração. Desta forma o pico inspiratório de pressão (PIP) e o tempo inspiratório são pré-determinados pelo operador. O volume corrente fornecido ao paciente depende do gradiente de pressão gerado, do tempo inspiratório, da complacência e da resistência do pulmão do paciente. A vantagem deste tipo de ventilação é que pequenos escapes de gás, que geralmente ocorrem ao redor de cânulas sem balonetes, usadas em crianças com idade inferior a 8 anos, são compensados; além disso, a possibilidade de limitar o PIP, evitando excessivas pressões de insuflação, diminui os riscos de barotrauma e de lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica (BANNER e LAMPOTANG, 1994; PROENÇA, 1996, p. 207).

Em crianças menores de três meses de idade é importante a manutenção em assistência ventilatória durante período mínimo de 18 horas, independente da afecção. Entre três e seis meses é conveniente reduzir esse tempo para um mínimo de 12 horas. Crianças maiores de seis meses portadoras de cardiopatias com hipofluxo pulmonar, dependendo da avaliação geral e respiratória podem ser extubadas dentro das primeiras seis horas (BARBERO-MARCIAL, 1979).

2.2.1 Modos Convencionais Pediátricos

Os pacientes que recebem suporte ventilatório geralmente são ventilados em modos convencionais conhecidos como: controlado, assisto-controlado e ventilação mandatória intermitente sincronizada (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002; RIELLA, 2007, p. 21).

No modo controlado, o ventilador inicia um ciclo controlado a cada janela de tempo, dada uma frequência respiratória já programada, as respirações espontâneas estão ausentes ou não contribuem para o volume-minuto do paciente (OLIVEIRA e LEE, 1996, p. 209; BONASSA, 2000, p. 97). No período pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca neonatal e pediátrica esta modalidade é comumente utilizada (JOÃO e FARIA, 2003, p. 218).

Na modalidade assisto-controlada o ventilador pode ser acionado pelo esforço respiratório espontâneo do paciente ou por um mecanismo de tempo, pelo

que ocorrer primeiro, ou seja, o paciente pode acionar o ventilador a qualquer momento, mas o dispositivo de tempo manterá uma frequência mínima pré-determinada (BANNER e LAMPOTANG, 1994, p. 11).

Dessa forma, o ventilador oferece ciclos controlados e assistidos, já que na ausência de esforço inspiratório do paciente, o ventilador pode manter os ciclos controlados na frequência programada (BONASSA, 2000, p. 98).

Um aspecto importante deste modo ventilatório é que se faz necessária uma frequência respiratória e a programação do nível de sensibilidade assistida ou "*trigger*" do ventilador para que seja possível o reconhecimento do esforço inspiratório do paciente (BONASSA, 2000, p. 98).

A ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV) permite ao paciente respirar espontaneamente entre respirações mecânicas. A intervalos regulares, a respiração mandatória é sincronizada para ter início quando da inspiração espontânea seguinte, de maneira semelhante à ventilação mecânica assistida. Essa técnica foi introduzida para evitar que uma insuflação mecânica se sobrepusesse a uma inspiração espontânea ("respiração empilhada"), o que poderia aumentar a pressão no pico da insuflação, na via aérea e nas pressões interpleurais. O mesmo poderia acontecer se o aparelho ciclasse no início da expiração espontânea (BANNER e LAMPOTANG, 1994, p. 13).

Neste modo o ventilador disponibiliza ciclos controlados, assistidos e espontâneos, também fazendo uso de janelas de tempo. A diferença do modo assistido para o controlado é que a janela de tempo não é reiniciada a cada ciclo, assim as janelas de tempo mantêm-se fixas (BONASSA, 2000, p. 100).

A representação gráfica de cada modo ventilatório, de forma geral, bem como as curvas de pressão exercidas em cada modalidade ventilatória são mostradas na figura 3.

Nota-se na figura 3, que no modo controlado, a cada janela de tempo pré-definida a partir de uma frequência respiratória programada (janela = frequência/60s), o ventilador inicia um ciclo respiratório (inspiração e expiração) controlado. No modo assistido-controlado, o ventilador inicia um ciclo assistido na ocorrência de esforço respiratório do paciente, apresentando janelas variáveis; na ausência de esforço, é iniciado um ciclo controlado. No modo SIMV, o ventilador mantém as janelas fixas, e permite apenas um ciclo assistido por janela, atendendo aos demais esforços inspiratórios com ciclos espontâneos. Um ciclo controlado só

ocorre após uma janela de apnéia, ou após uma janela onde só ocorreu um ciclo controlado (BONASSA, 2000, p. 98).

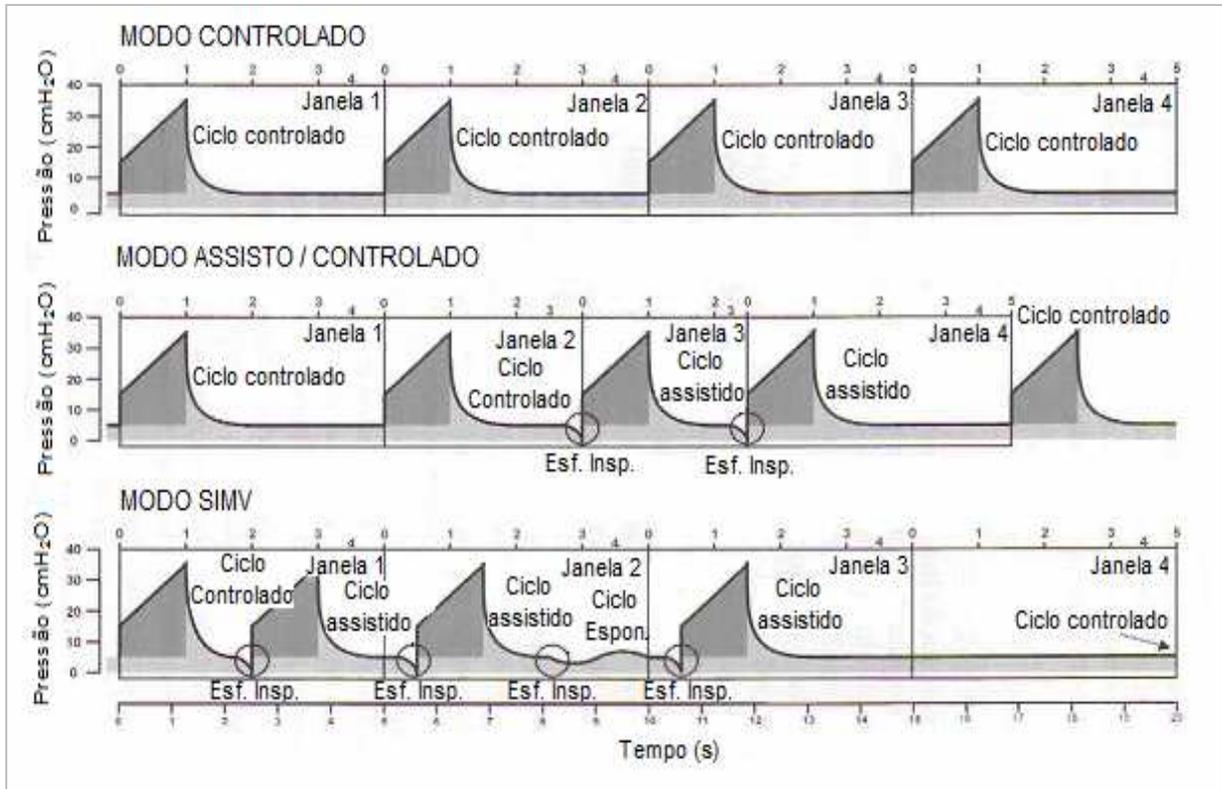


Figura 3 - Representação dos modos ventilatórios. Vide explanação no texto acima.

Fonte: Bonassa (2000).

Notas:

Ciclo Espon. – Ciclo Espontâneo.

Esf. Insp. – Esforço Inspiratório.

2.2.2 Parâmetros Ventilatórios Pediátricos

Durante a manutenção da assistência ventilatória, é imprescindível que seja promovida inicialmente à adequada sincronia do paciente com o ventilador mecânico, sendo importante para tal, a adaptação dos diversos parâmetros de controle da ventilação de acordo com o grau de esforço do paciente e do estado da sua mecânica ventilatória (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 9).

A seguir são apresentados alguns parâmetros considerados determinantes no controle básico de pacientes em VMI.

É recomendado que se inicie a ventilação mecânica com uma fração inspirada de oxigênio (FiO_2) = 1,0, procurando-se reduzir progressivamente este valor a concentrações mais seguras, objetivando uma $FiO_2 < 0,5$. O ideal é manter uma FiO_2 suficiente para obter uma saturação arterial de oxigênio (SaO_2) > 90% sem expor o paciente ao risco de toxicidade pelo O_2 (ANGELO *et al.*, 2000, p. 7). Uma das maneiras de se aumentar a pressão de oxigênio de um paciente em VMI é aumentar a FiO_2 , um incremento de 0,1 na FiO_2 , de uma maneira geral, deveria aumentar a pressão de O_2 em mais ou menos 50 mmHg (PIVA e GARCIA, 1992, p. 247).

Recomenda-se que a pressão de platô seja menor do que 25,7 mmHg e o pico de pressão inspiratória positiva menor do que 29,4 mmHg no adulto, na criança por falta de trabalhos adequadamente controlados, ainda não se podem determinar com segurança os valores ideais, provavelmente devem ser menores, principalmente em lactentes e recém-nascidos (PIVA e PROENÇA, 2000, p. 10).

A frequência respiratória deve ser ajustada de acordo com a $PaCO_2$ e pH desejados, e dependerá do modo ventilatório escolhido, da taxa metabólica, do nível de ventilação espontânea e do espaço morto. Em geral, recomenda-se a frequência respiratória em torno de 8 a 12 inspirações por minuto (ANGELO *et al.*, 2000, p. 7).

Recomenda-se iniciar a pressão positiva expiratória final (PEEP) ao redor de 4,4 mmHg e aumentar progressivamente 2,2 mmHg a cada vez, para manter uma SaO_2 acima de 85%, com a menor FiO_2 possível (PIVA e PROENÇA, 2000, p. 10).

Em pediatria, um volume corrente inicial de 3-8 ml/kg (baseando-se no peso ideal) é, geralmente, adequado. Ajustes subsequentes devem ser considerados, baseando-se inicialmente na $PaCO_2$ (ANGELO *et al.*, 2000, p. 7; PIVA e PROENÇA, 2000, p. 10).

Recomenda-se inicialmente o tempo inspiratório normal para a idade. Variando de 0,3 a 1,2 segundos, com uma relação I:E (duração das fases inspiratória e expiratória) normal de 1:2 a 1:3. A relação I:E durante a VMI dependerá do volume corrente, da frequência respiratória, do fluxo inspiratório e da pausa inspiratória (ANGELO *et al.*, 2000, p. 7; PIVA e PROENÇA, 2000, p. 10).

2.2.3 Complicações Associadas com Ventilação Mecânica Invasiva

A VMI é um procedimento terapêutico que ajuda a diminuir a taxa de mortalidade, porém, com características de grande invasibilidade para o paciente, podendo ocorrer durante o seu manuseio algumas complicações ao nível da sua operação funcional, com conseqüente repercussão na clínica do paciente, como por exemplo: erro no ajuste ou falha na ciclagem do respirador, mau posicionamento do tubo, obstruções e vazamentos, trauma e infecções. Além disso, alterações pulmonares, cardiovasculares e no transporte mucociliar podem ocorrer em decorrência de uma assistência ventilatória prolongada e mal conduzida (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 4; SULDOSKI, 2003).

Existem outras complicações clínicas bastante frequentes que são inerentes a qualquer tipo de assistência ventilatória, seja ela do tipo convencional ou não. As principais e mais comuns complicações clínicas descritas na literatura são: hipocapnia, hiperoxemia, hipercapnia não intencional, atelectasias e hiperinsuflação pulmonar. Estas complicações clínicas estão relacionadas quase sempre com a inadequada regulagem de alguns parâmetros do ventilador mecânico, a saber: volume corrente, frequência respiratória, volume minuto, fração inspirada de oxigênio, nível da PEEP e pressão de pico (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 5).

A hipocapnia (PaCO_2 entre 30 e 35 mmHg), por exemplo, é aceitável após cirurgia cardíaca, tendo inclusive efeitos benéficos. Já a hipocapnia intensa, isto é, PaCO_2 menor que 30 mmHg é uma complicação perigosa e bastante frequente durante a ventilação mecânica mandatária controlada, podendo ser evitada pela diminuição do volume minuto do paciente, bastando para tal, que sejam feitos ajustes nos controles do volume corrente ou da frequência respiratória (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 6; SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005, p. 58).

A hipercapnia (PaCO_2 acima de 45 mmHg) se não for produzida intencionalmente, ocorre geralmente pela ventilação mecânica inadequada associada ou não a alguma alteração pulmonar ou devido ao aumento da atividade metabólica por reaquecimento ou tremores, mau funcionamento do tubo endotraqueal, secreção no tubo ou pneumotórax. A correção dessas alterações melhora os níveis de PaCO_2 , exceto quando há insuficiência ventilatória terminal. A adoção na terapia de pequenos volumes correntes sem a adoção de suspiros

fisiológicos ou PEEP intermitente pode levar o paciente a desenvolver um quadro de atelectasia pulmonar e prolongar o período de ventilação mecânica (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 6; SCHERER, GURAGNA e BERLEZE, 2005, p. 58).

Aproximadamente 8% das crianças em VMI desenvolvem atelectasia pulmonar com aumento concomitante da morbidade e tempo de permanência hospitalar (JOHNSTON e CARVALHO, 2008). Segundo Monte *et al.* (2005) a presença de diferentes tipos de atelectasias é a complicação mais frequente observada no período pós-operatório imediato das cirurgias cardíacas ou que envolvem o andar superior do abdome, frequentemente causada pela instabilidade alveolar induzida pela VMI, nestes casos os pacientes necessitam de oxigenoterapia para a manutenção da SaO₂ em níveis normais. A ventilação mecânica, com adição de PEEP, previne ou diminui a incidência de atelectasias (AULER *et al.*, 2000, p. 14).

Algumas complicações diretas são geralmente atribuídas ao emprego do ventilador artificial, sendo suas principais apresentações o Baro/Volutrauma⁴ e alterações hemodinâmicas. Devido às limitações inerentes ao projeto da máquina e a prefixação dos parâmetros ventilatórios, pode haver a geração de pressões alveolares excessivas, que culminarão em pneumotórax, enfisema do mediastino e subcutâneo. A incidência de Baro/Volutrauma é dependente também do estado clínico do paciente e do tempo de duração do suporte ventilatório (EMMERICH, 1996, p. 4).

A VMI promove uma grande alteração na fisiologia cardiopulmonar do paciente, afetando não apenas a excreção pulmonar de CO₂, mas também a oxigenação do sangue capilar pulmonar, a hemodinâmica central e o fluxo periférico do sangue. Para auxiliar na avaliação dos efeitos cardiopulmonares favoráveis e

⁴ Barotrauma é uma lesão pulmonar provocada pelo uso de altas pressões durante a ventilação mecânica e decorre da ruptura alveolar, devido à hiperinsuflação pulmonar, mais comum na ventilação assistido-controlada (SILVA *et al.* 2005; MONTE *et al.*, 2005).

Volutrauma é a lesão associada a hiperdistensão das estruturas pulmonares provocada pelo uso de grandes volumes correntes durante a ventilação mecânica. Tal fato causa dano pulmonar por "estiramento" dos alvéolos, vias aéreas, membrana basal e até do endotélio capilar pulmonar (MONTE *et al.*, 2005).

adversos, deve-se fazer monitoração adequada da ventilação, da oxigenação e da circulação sempre que se emprega ventilação mecânica para suporte ventilatório (RASANEN, 1994, p. 37). É reconhecido que o correto manejo clínico e operacional da assistência ventilatória associado a uma monitorização respiratória adequada, podem minimizar os riscos do aparecimento das complicações pulmonares (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 7).

2.2.4 Monitorização Respiratória Durante a Assistência Ventilatória

O controle do paciente em VMI, ou seja, a monitorização respiratória à beira do leito, é fundamental para um adequado tratamento do paciente grave ventilado artificialmente. Assim, pode-se definir monitorização como sendo: “o conjunto de métodos que objetiva a demonstração das alterações funcionais, de uma maneira idealmente contínua e precoce, assegurando que os objetivos da VMI estão sendo atendidos, fornecendo parâmetros para o seu reajuste e prevenindo complicações” (CARVALHO *et al.*, 2000).

O ato de monitorar o paciente é um processo sistemático de observação e interpretação da evolução das suas condições, com o intuito de manter a condição atual ou modificá-la com base nos achados clínicos considerados ótimos para o paciente (BLOM, 2004).

A monitorização respiratória durante a ventilação pulmonar mecânica é capaz de otimizar a assistência ventilatória, acompanhar diretamente a evolução da doença, avaliar a terapia utilizada, orientar no processo de extubação e prevenir o risco de complicações agudas bem como fazer profilaxia das que possam surgir na evolução do paciente, o que determinaria uma piora de seu estado geral. Desta maneira, é aumentada a segurança do paciente sem, entretanto, dificultar o tratamento e comprometer a assepsia (CAT e GIRALDI, 1983, p. 18; AVENA, 1996, p. 98).

A monitoração respiratória constitui um dos principais aspectos do cuidado a criança sob suporte ventilatório, considerada uma tarefa árdua e cansativa. Sendo um processo dinâmico, requer a integração de algumas habilidades clínicas, como o correto manuseio de aparelhos sofisticados, capacidade de observação e, o principal, a integração de dados, gerando decisões rápidas e acertadas, que, com

toda certeza, irão influenciar no curso e no prognóstico da patologia clínica (EMMERICH, 1996; TROSTER, FARIA e TALERMAN, 1998, p. 126).

O sistema de monitoração deve preencher os seguintes requisitos: ser de fácil utilização com um grau importante de segurança na aplicação ao paciente, de manejo seguro e simples e desempenho vantajoso. A monitoração poderá ser contínua, semicontínua e intermitente. A argumentação a favor da monitoração adequada nas UTIs tem sido baseada em evitar duplicação dos equipamentos, permitir a observação mais frequente dos pacientes individualmente e reduzir os incômodos ao paciente permitindo ao profissional responsável mais tempo para outras atividades (AVENA, 1996, p. 98).

2.2.5 Monitorização Ventilatória

A monitoração da função ventilatória é essencial para qualquer forma de suporte ventilatório e deve indicar a adequação da ventilação alveolar e a quantidade de trabalho respiratório necessária para sustentá-lo (RASANEN, 1994). A $PaCO_2$ consiste na melhor forma de avaliar a ventilação, uma vez que a $PaCO_2$ é determinada pelo nível de ventilação alveolar (VA) para um dado nível de produção de CO_2 (VCO_2), de acordo com a equação 1 (RASANEN, 1994; CARVALHO, 1996; CARVALHO *et al.*, 2000).

$$VCO_2 = VA \times PaCO_2 \quad (1)$$

Assim, nota-se uma relação direta entre a produção de gás carbônico e a $PaCO_2$, e considerando uma determinada VCO_2 uma relação inversa entre a efetiva VA e a $PaCO_2$. Portanto, pode-se dizer que, quando a $PaCO_2$ se eleva, o paciente está hipoventilando e vice-versa (CARVALHO, 1996; CARVALHO *et al.*, 2000).

Como o CO_2 se difunde facilmente do sangue para dentro dos alvéolos, sua eliminação depende, em grande parte, da quantidade total de ar que passa para dentro e para fora dos alvéolos (FARIA, TROSTER e BAENINGER, 1998). Deste modo, a VA depende de vários fatores (volume corrente, espaço morto e frequência respiratória). Pode-se através da análise dos parâmetros da equação 2 definir a melhor forma de intervir na ventilação com um paciente em respiração artificial (CARVALHO, 1996; CARVALHO *et al.*, 2000).

$$VA = (VC - VEM) \times FR \quad (2)$$

onde: VC é o volume corrente, VEM é o volume de espaço morto e FR é a frequência respiratória.

Portanto, a VA pode ser alterada com a avaliação e alteração dos seguintes parâmetros: FR (aumentando-se a FR, aumenta-se a eliminação de CO₂) e VC (a diminuição do VC leva à retenção de CO₂) (FARIA, TROSTER e BAENINGER, 1998).

A incapacidade do bebê de realizar testes funcionais e a alta tecnicidade de determinados testes reservados a alguns raros laboratórios especializados tornam a rotineira monitoração respiratória difícil (POSTIAUX, 2004, p. 121). Em UTI pediátrica a ventilação pulmonar normalmente é monitorizada indiretamente através do exame físico, raios-X, ajuste do volume corrente e frequência respiratória (adequados ao paciente) e parâmetros semiológicos, intermitentemente realiza-se a coleta de sangue arterial para análise da pressão parcial de CO₂. Além disso, algumas UTIs disponibilizam de equipamentos para a avaliação não invasiva do CO₂, através da capnometria e da mensuração transcutânea (AULER e CARVALHO, 1992; BRAZ, 1996).

2.3 MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO

No que diz respeito aos equipamentos de monitorização da ventilação pulmonar, a coleta intermitente de sangue arterial para análise da pressão parcial de CO₂ ainda é um dos instrumentos mais utilizados. No entanto, nas últimas décadas, houve a incorporação de equipamentos para avaliação não invasiva do CO₂, através da capnometria e da medida transcutânea. A seguir, na tabela 2, uma breve descrição das vantagens e desvantagens destes métodos de mensuração de CO₂, segundo a literatura (BRAZ, 1996; EMMERICH, 1998; BHAT e ABHISHEK, 2008).

Tabela 2 - Descrição das vantagens e desvantagens dos métodos utilizados para mensuração da pressão de dióxido de carbono.

Método	Vantagens	Desvantagens	Mensuração	
Análise de Gás Sanguíneo Arterial (Gasometria)	- Padrão Ouro - Controle da ventilação e oxigenação - Controle metabólico	- Método invasivo - Resultado lento - Condição do momento - Imprópria repetição	- pH - PaO ₂ - PaCO ₂	- SaO ₂ - HCO ₃ ⁻ - BE
Capnometria	- Método contínuo - Não Invasivo - Rápido resultado - Fácil calibração	- Falta de precisão - Falta de literatura - Financeiro em curto prazo	- PetCO ₂	
Monitorização Transcutânea	- Método contínuo - Não Invasivo	- Preparo complexo - Calibração constante dos eletrodos - Comportamento adesivo errático - Resposta lenta - Mudança periódica dos eletrodos	- PtcCO ₂	

Fonte: Braz (1996); Avena (1996); Emmerich (1998); Bhat e Abhishek (2008); Kodali (2008).

Notas:

PaCO₂ - Pressão parcial de dióxido de carbono arterial.

PetCO₂ - Pressão final de dióxido de carbono exalado.

PtcCO₂ - Pressão transcutânea de dióxido de carbono.

2.3.1 Análise de Gás Sanguíneo Arterial (Gasometria Arterial)

O processo de troca gasosa intrapulmonar, embora contínuo, envolve várias fases: ventilação, perfusão, relação ventilação/perfusão e difusão. Cada uma destas fases pode, isolada ou associadamente, alterar o processo de troca gasosa em magnitude suficiente para provocar o aparecimento de valores anormais da tensão dos gases no sangue arterial. Assim sendo, isoladamente, a tensão parcial dos gases (O₂ e CO₂), no sangue arterial, reflete apenas quão adequadamente o pulmão tem cumprido sua principal função: fazer trocas gasosas entre o gás alveolar e o capilar sanguíneo pulmonar. Em contraposição aos métodos lentos e tediosos (métodos manométricos de Van Slyke e Scholander) a partir dos meados da década de cinquenta, com o desenvolvimento dos eletrodos de O₂ por Clark e colaboradores e de CO₂ por Severinghaus e Bradley, a análise dos gases sanguíneos passou a ser

praticada rapidamente e em pequenas amostras de sangue arterial. Estes fatos modificaram de tal forma o uso clínico da gasometria arterial, que, nas décadas que se sucederam, a avaliação diagnóstica e o tratamento de pacientes portadores de disfunção pulmonar/equilíbrio ácido-básico se tornaram tão dependentes da análise gasométrica do sangue arterial que a coleta de amostras deste sangue tornou-se procedimento praticamente fundamental e rotineiro na prática clínica (TERRA, 1998).

A gasometria arterial é um exame indispensável e insubstituível na determinação do estado respiratório global de pacientes críticos. Ao longo dos anos a gasometria arterial tem sido considerada o padrão ouro, dando informações relativas também ao estado ventilatório e metabólico destes pacientes. Suas principais vantagens são: um exame relativamente de baixo custo, de fácil execução e processamento (EMMERICH, 1998, p. 9).

Segundo Braz (1996) e Prasad *et al.* (2007) a gasometria arterial é uma importante investigação de rotina e permanece como o método mais utilizado na monitorização da oxigenação e da ventilação em pacientes sob VMI em UTI, principalmente nos que apresentam disfunções respiratórias, com o objetivo de conhecer o estado ácido-base e decidir sobre a necessidade de intervenção. A utilidade desta ferramenta de diagnóstico é dependente da capacidade de interpretar corretamente os resultados.

As principais desvantagens da análise de gás sanguíneo arterial relacionam-se a necessidade de um procedimento invasivo, como a colocação de cateter intra-arterial ou punção arterial, portanto, não isento de riscos (hematomas e infecções), além da possibilidade de perdas sanguíneas, que são sempre problemáticas em recém-nascidos e em pacientes hemodinamicamente instáveis. Pode haver também um grande intervalo de tempo entre a coleta da amostra e a obtenção dos resultados, atrasando o início do tratamento em caso de eventuais alterações nos parâmetros ventilatórios e não menos importante o fato de exprimir apenas condições do momento (BRAZ, 1996; EMMERICH, 1998; TERRA, 1998, p. 200).

O número de gasometrias necessárias após a cirurgia cardíaca em adultos ou crianças é muito divergente na literatura. Barbero-Marcial (1979) sugeriu que nas primeiras seis horas, após cirurgia cardíaca, as dosagens de gases deveriam ser realizadas a cada hora, após as primeiras seis horas a cada duas horas e após 24 horas a cada seis horas. Strachman, Madureira e Eggers (1992) propuseram a

tomada de amostras a cada três horas no primeiro dia de cirurgia e a cada seis horas no segundo dia, ou a critério de acordo com a evolução de cada paciente. Abbelan e Auler (1996) descreveram que o controle laboratorial rotineiro deve ser efetuado de tal forma a monitorizar a adequação eletrolítica, metabólica e ventilatória da criança sendo realizado a cada seis horas no primeiro dia de pós-operatório e uma vez ao dia a partir do segundo dia de pós-operatório.

Mais recentemente, Carvalho *et al.* (2000) relataram no II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica que o número de gasometrias necessárias depende das condições de cada paciente e das manipulações feitas no respirador mecânico, não existindo qualquer rotina recomendada. Entretanto, eles afirmaram que ao menos uma gasometria por dia deveria ser realizada.

2.3.1.1 Componentes da Gasometria Arterial

Na amostra de sangue são medidas diretamente por meio dos eletrodos as pressões parciais de oxigênio (PaO_2), de dióxido de carbono ($PaCO_2$) e o pH. A partir destes resultados, são calculados indiretamente os valores do bicarbonato (HCO_3^-), CO_2 total, saturação da hemoglobina e excesso de base (tabela 3). Em casos específicos, também podem ser calculadas a diferença alveoloarterial de oxigênio - $P(A-a)O_2$ e a magnitude do curto-circuito venoarterial (MARINO, BRIEN e LORE, 1995; TERRA, 1998).

Tradicionalmente utiliza-se a gasometria arterial como instrumento de avaliação da habilidade do pulmão para realizar as trocas gasosas. As alterações da PaO_2 e da $PaCO_2$ verificadas em paciente no estado de repouso e respirando ar ambiente refletem o grau de participação da ventilação alveolar e das trocas alvéolo-capilares. A relação linear inversa existente entre o comportamento da PaO_2 e da $PaCO_2$ permite avaliar facilmente se um determinado grau de hipoxemia arterial pode corresponder ao grau de hipoventilação alveolar revelado pelos níveis de retenção de CO_2 , enquanto informação mais específica a respeito da função alvéolo-capilar, como identificação da presença de *shunt*, pode ser obtida com a análise do comportamento da PaO_2 após inalação de oxigênio a 100% por 15-20 minutos (RIBEIRO-SILVA e SILVA, 2004).

A gasometria arterial fornece informações relativas ao estado ventilatório e metabólico dos pacientes, na tabela 3 estão definidos os parâmetros e os intervalos

de cada componente do analisador gasométrico (EMMERICH, 1998; PRASAD *et al.*, 2007, p. 84).

Tabela 3 – Parâmetros fornecidos pela Gasometria Arterial.

Componentes	Definição	Intervalo Normal
pH	medição da acidez ou alcalinidade, com base nos íons de hidrogênio presentes	7,35-7,45
PaO ₂	pressão parcial de oxigênio dissolvido em sangue arterial	80 a 100 mmHg
PaCO ₂	pressão parcial de dióxido de carbono dissolvido em sangue arterial	35 a 45 mmHg
SaO ₂	saturação de oxigênio arterial	95 a 100%
HCO ₃ ⁻	valor calculado da quantidade de bicarbonato no sangue	19 – 23 mEq / litro
Excesso de base	quantidade de excesso ou insuficiente nível de bicarbonato no sistema	-2 a +2 mEq / litro

Fonte: Barbero-Marcial (1979); Emmerich (1998); Prasad *et al.* (2007, p. 84).

Notas:

PaCO₂ - Quando a mudança ocorre na PaCO₂, então a condição é chamada de distúrbio base-ácido respiratório: um aumento da PaCO₂ é acidose respiratória e diminuição da PaCO₂ é chamado alcalose respiratória. Para os neonatos, valores de 60 mmHg podem ser frequentes sem isto significar grave insuficiência respiratória. O mesmo não acontece em crianças maiores de três meses, onde valores de mais de 50 mmHg já indicam importante deficiência da ventilação alveolar.

HCO₃⁻ - Quando a mudança ocorre em HCO₃⁻, então a condição é chamada de distúrbio ácido-base metabólico: a diminuição do HCO₃⁻ é acidose metabólica e o aumento no HCO₃⁻ é chamado alcalose metabólica.

Excesso de base - O excesso de base negativo indica um déficit de base no sangue.

2.3.1.2 Pressão Parcial de Gás Carbônico (PaCO₂)

Seus valores normais variam de 35 a 45 mmHg. Valores abaixo de 35 mmHg e acima de 45 mmHg representam hipocapnia e hipercapnia, respectivamente. As alterações da PaCO₂, no sentido da hipocapnia ou da hipercapnia, são decorrentes, do ponto de vista clínico, de distúrbios na ventilação alveolar. A concentração alveolar de CO₂ é reflexo do desempenho da ventilação alveolar. Em condições normais de equilíbrio, todo o CO₂ resultante da atividade metabólica é eliminado pelos pulmões através da ventilação alveolar, e a PaCO₂ é resultado do estreito equilíbrio entre o CO₂ alveolar e o CO₂ dos capilares

pulmonares, visto que, em decorrência de sua maior difusibilidade e de características de sua curva de dissociação, o CO₂ quase não é retido por distúrbios de outra natureza. Assim da equação 1 tem-se que a PaCO₂ é diretamente proporcional ao CO₂ produzido pelo organismo e inversamente proporcional à efetiva ventilação alveolar, de acordo com a equação 3 (TERRA, 1998, p. 201).

$$PaCO_2 = K \times \frac{VCO_2}{VA} \quad (3)$$

onde: VA é a ventilação alveolar, VCO₂ é o volume de CO₂ produzido (ml/minuto em condições normais de temperatura e pressão) e K vale 0,863 constante de proporcionalidade para pressão barométrica de 760 mmHg.

Os fatores que alteram a ventilação alveolar também alteram o valor da PaCO₂, e a sua elevação tem sido utilizada clinicamente para diagnóstico laboratorial de hipoventilação alveolar. Paralelamente, a ventilação alveolar reduzida também está associada à queda da PaO₂ (hipoxemia), isto em respiração de ar atmosférico. Segundo a equação 4 e 5, esta hipoxemia resulta da menor oferta de O₂ e dos efeitos da elevação da pressão alveolar de CO₂ (PACO₂) sobre a pressão alveolar de oxigênio (PAO₂) (TERRA, 1998; CARVALHO *et al.*, 2000).

$$PAO_2 = PIO_2 - \frac{PaCO_2}{R} \quad (4)$$

$$PAO_2 = [FiO_2 \times (PB - PH_2O)] - \frac{PaCO_2}{R} \quad (5)$$

Onde: PIO₂ = pressão parcial inspirada de oxigênio, PB = pressão barométrica (760 mmHg ao nível do mar), PH₂O = pressão de vapor de água a 37 °C (47 mmHg), R = coeficiente respiratório (0,8 em repouso) e FiO₂ = fração de oxigênio inspirado (0,21 para o ar atmosférico).

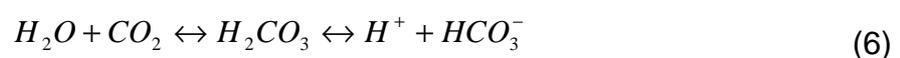
Apesar de severa hipoventilação alveolar, a oxigenação do sangue arterial pode ser incrementada desde que se aumente a FiO₂; entretanto, o CO₂ não pode ser eliminado adequadamente sem melhora da ventilação alveolar. O centro respiratório normal é altamente sensível à elevação da PaCO₂ (hipercapnia) e

responde prontamente com aumento do volume corrente e/ou da frequência respiratória. Esta resposta é obtida por estimulação dos neurônios dos centros respiratórios, provavelmente por variação da concentração de H^+ e menos intensamente pelos quimiorreceptores carotídeos, embora a contribuição relativa destes se intensifique durante hipoxemia. Em situação de doença, pode ocorrer profunda modificação no limiar de resposta destes receptores, fato que os torna tolerantes a altas taxas da $PaCO_2$ (TERRA, 1998).

2.3.1.3 Mensuração e Estrutura do Eletrodo de PCO_2

Antes do desenvolvimento do eletrodo de CO_2 , a medição desse gás era feita usando-se a equação de Henderson – Hasselbach (a partir da medida do pH e do bicarbonato) ou a técnica de nivelamento da bolha (SEVERINGHAUS *et al.*, 1998, p. 117). Em 1954, Richard Stow, fisiologista da universidade de Ohio, relatou o primeiro eletrodo de pressão de dióxido de carbono (PCO_2) numa reunião da Sociedade Americana de Fisiologia. Consistia de um eletrodo padrão de pH, envolto por uma membrana de borracha que permitia a passagem do CO_2 , mas era impermeável a outras substâncias do sangue. Esse primeiro eletrodo concebido por Stow tinha pouca estabilidade; Severinghaus mostrou que a sensibilidade do eletrodo poderia ser duplicada e estabilizada pela adição de $NaHCO_2$ ao eletrólito e projetou a versão que está em uso atualmente (SEVERINGHAUS, ASTRUP e MURRAY, 1998; SEVERINGHAUS, 2004, p. 1599).

A mensuração de PCO_2 é baseada no fato de que a relação entre $\log PCO_2$ e pH é linear sobre o intervalo de 10 a 90 mmHg (1,3 a 12 kPa), o qual inclui essencialmente todos os valores de interesse clínico. Esse resultado pode ser estabelecido através do exame de uma relação química fundamental entre H^+ , H_2CO_3 , HCO_3^- e PCO_2 . Os três primeiros elementos estão relacionados pela equação de equilíbrio (WEBSTER, 1998), a seguir:



Além disso, a relação entre PCO_2 e a concentração de CO_2 dissolvido no sangue, $[CO_2]$, é dada por

$$[CO_2] = \alpha(PCO_2) \quad (7)$$

onde $\alpha = 0,0301$ mmol/litro por mmHg PCO_2 . A relação da massa correspondente a equação 6, pode então ser escrita como:

$$k' = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \quad (8)$$

Na equação 9, usa-se o fato de que $[H_2CO_3]$ é proporcional a $[CO_2]$ para obter o resultado:

$$k = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} \quad (9)$$

onde k representa o valor combinado de k' e a constante de proporcionalidade entre $[H_2CO_3]$ e $[CO_2]$. Agora, usando a equação 7, obtêm-se o seguinte resultado:

$$k = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{\alpha PCO_2} \quad (10)$$

Em seguida, tomando o logaritmo de base 10 da equação 10 e rearranjando, obtêm-se:

$$\log[H^+] + \log[HCO_3^-] - \log k - \log \alpha - \log PCO_2 = 0 \quad (11)$$

Usando a definição de pH:

$$pH = \log[HCO_3^-] - \log K - \log \alpha - \log PCO_2 \quad (12)$$

isso mostra que o pH possui uma dependência linear do negativo de $\log PCO_2$.

Esse resultado é usado na construção do eletrodo de PCO_2 mostrado na figura 4. O conjunto de medição inclui duas câmaras, uma para a amostra e uma segunda contendo um eletrodo de pH, em contraste aos eletrodos de medição de pH básico onde o eletrodo de pH é colocado direto na amostra. Neste caso o eletrodo

de pH é banhado por uma solução tamponada de bicarbonato e NaCl (WEBSTER, 1998).

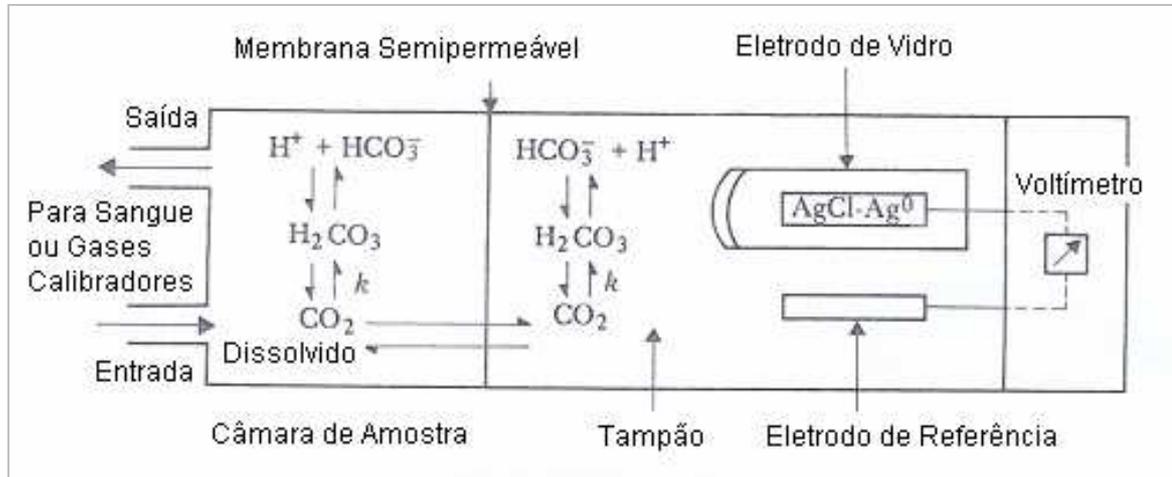


Figura 4 – Eletrodo de PaCO_2 .

Fonte: Webster (1998).

As duas câmaras são separadas por uma membrana relativamente permeável, usualmente feita de teflon ou silicone. Esta membrana permite o CO_2 difundir-se através dela, mas bloqueia a passagem de partículas carregadas, em particular H^+ e HCO_3^- . Quando a amostra é colocada na câmara, o CO_2 se difunde através da membrana para estabelecer a mesma concentração em ambas as câmaras. Existe um movimento de CO_2 para dentro (ou para fora), a câmara contendo o $[\text{H}^+]$ tamponado aumenta (ou decresce), e o medidor de pH detecta esta reação, porque a relação entre pH e o negativo do log de PCO_2 é proporcional (WEBSTER, 1998).

2.3.1.4 Técnica

A correta manipulação da amostra sanguínea arterial por técnico qualificado é tão importante quanto a adequada manutenção técnica dos aparelhos de medição, mesmo que se utilizem aparelhos automatizados (VIEGAS, 2002, p. 237). Os seguintes pontos devem ser considerados antes da obtenção da amostra, para evitar erros na medição de gases sanguíneos:

Entre a coleta da amostra e sua análise não ultrapassar 10-15 minutos em condições normais. Se não há possibilidade de análise no referido tempo, a amostra

arterial deve ser guardada em gelo moído e mantida a 0 °C até a leitura, objetivando diminuir o metabolismo eritrocitário, evitando assim a diminuição da PO₂ e aumento da PCO₂. A presença de bolhas de ar (PO₂ ao redor de 150 mmHg e PCO₂ de zero) na amostra sanguínea também influencia a leitura dos gases (BRAZ, 1996; VIEGAS, 2002; PRASAD *et al.*, 2007, p. 84).

Como anticoagulante para a amostra é utilizada a heparina que, ao mesmo tempo em que previne a coagulação durante o transporte e análise, forma uma barreira líquida entre o êmbolo e a seringa, impedindo trocas gasosas entre o ar ambiente e a amostra (contaminação da amostra por ar), além de preencher o espaço morto entre a agulha e a seringa. Entretanto, um volume excessivo de heparina pode diminuir os valores da PaCO₂ (GONÇALVES, 1991, p. 373; BRAZ, 1996; VIEGAS, 2002, p. 237).

Existem vários outros fatores que podem levar a erro na medida e, em consequência, a uma interpretação incorreta dos valores gasométricos, os quais são listados a seguir: punção arterial dolorosa, punção venosa, exposição da amostra ao calor, falta de calibração adequada do aparelho, falta de controle de qualidade, falta de manutenção preventiva e desconhecimento da temperatura corporal e da FiO₂ respirada pelo paciente (VIEGAS, 2002; BISSON e YOUNKER, 2006).

2.3.2 Capnometria

O metabolismo aeróbico final dos diversos tecidos orgânicos gera CO₂ que é carreado na corrente sanguínea em direção aos pulmões, no pulmão o CO₂ se difunde pelos alvéolos, e é eliminado durante a expiração. Este gás, para ser exalado, depende da qualidade da ventilação, o que torna importante sua análise em pacientes sob ventilação pulmonar mecânica (AVENA, 1996, p. 101; EMMERICH, 1996). Os pulmões mesmo com sobrecarga metabólica, são capazes de eliminar grandes quantidades de CO₂, mantendo o equilíbrio dinâmico entre sua produção e excreção (EMMERICH, 1996, p. 57).

Capnometria é a medida de pressão parcial de dióxido de carbono (mmHg, kPa) na via aérea do paciente durante todo o ciclo respiratório, fornecendo uma medida numérica da concentração de CO₂ no ar exalado ao final da expiração (PetCO₂) (CARVALHO *et al.*, 1996, p. 163; BRAZ, 1996). Este valor representa, com boa aproximação, o CO₂ alveolar; dessa forma, normalmente a diferença entre a

PaCO₂ e a PetCO₂ é mínima, aproximadamente 2 mmHg, porém esse valor pode variar de acordo com o estado clínico do paciente (CARVALHO, 1996).

A análise do CO₂ exalado através da capnometria é um método rápido e preciso e permite avaliar o gás exalado durante todo o período respiratório, permitindo seu registro de forma contínua facilitando a avaliação da ventilação aplicada (AVENA, 1996, p. 101; BRAZ, 1996; EMMERICH, 1998, p. 7).

A PetCO₂ é um parâmetro de grande importância clínica, visto que pode ser empregado de maneira indireta para determinar a PaCO₂ e inferir a ventilação alveolar. Estudos selecionados mostram que a capnometria quando utilizada em conjunto com a oximetria de pulso pode reduzir a frequência de punções arteriais e até mesmo encurtar o período de desmame da prótese ventilatória. Entre outras aplicações, o registro e a medida contínua da PetCO₂ podem ser úteis na detecção e prevenção de eventos como desconexões do paciente do ventilador, vazamento dos circuitos, hipo ou hiperventilação, localização e posicionamento do tubo traqueal, etc. (EMMERICH, 1998, p. 8; MELLO e BUTANI, 2002, p. 269).

Segundo Emmerich (1998) a monitoração da PetCO₂, quando disponível, deveria ser parte integrante da rotina de cuidados oferecidos à maioria dos pacientes sob VMI em UTI e deveria ser executada em conjunto com a obtenção de outros sinais vitais, especialmente quando se alteram parâmetros ventilatórios que possam afetar a condição de estabilidade cardiopulmonar dos pacientes críticos.

As principais vantagens do uso da capnometria são a monitoração não invasiva contínua de pacientes de alto risco, pacientes submetidos à ventilação artificial, desmame, e em anestesiologia. Suas principais desvantagens incluem o custo elevado dos monitores, a necessidade de calibração frequente e sua não confiabilidade em pacientes com instabilidade hemodinâmica (EMMERICH, 1998, p. 9).

2.3.2.1 Técnicas

As técnicas empregadas na capnometria são: espectrofotometria por luz infravermelha, espectrometria de massa e espectrofotometria Raman (CARVALHO *et al.*, 1996, p. 163; BRAZ, 1996).

A maioria dos capnômetros utiliza a espectrofotometria por luz infravermelha (figura 5). A medição de CO₂ na mistura de gases respiratórios se baseia no fato de que diferentes componentes do gás absorvem luz infravermelha em comprimentos

de onda específicos. Um feixe de luz infravermelha é direcionado através do fluxo de gás respiratório no adaptador de via aérea. Quando o feixe passa através do adaptador de via aérea, parte da luz é absorvida pela mistura de gases. Nesse método é feita uma comparação entre a quantidade de energia infravermelha absorvida e o referencial zero (amostra sem CO_2). A absorção é feita por todos os gases com átomos diferentes na molécula, o CO_2 é absorvido pela luz infravermelha de comprimento de onda de 4.260 nm. A quantidade de luz absorvida é então mensurada por um espectrofotômetro com dois filtros posicionados para receber o feixe de luz infravermelha (AULER e CARVALHO, 1992; LEVINE, 2000, p. 1595; EMMA, 2006).

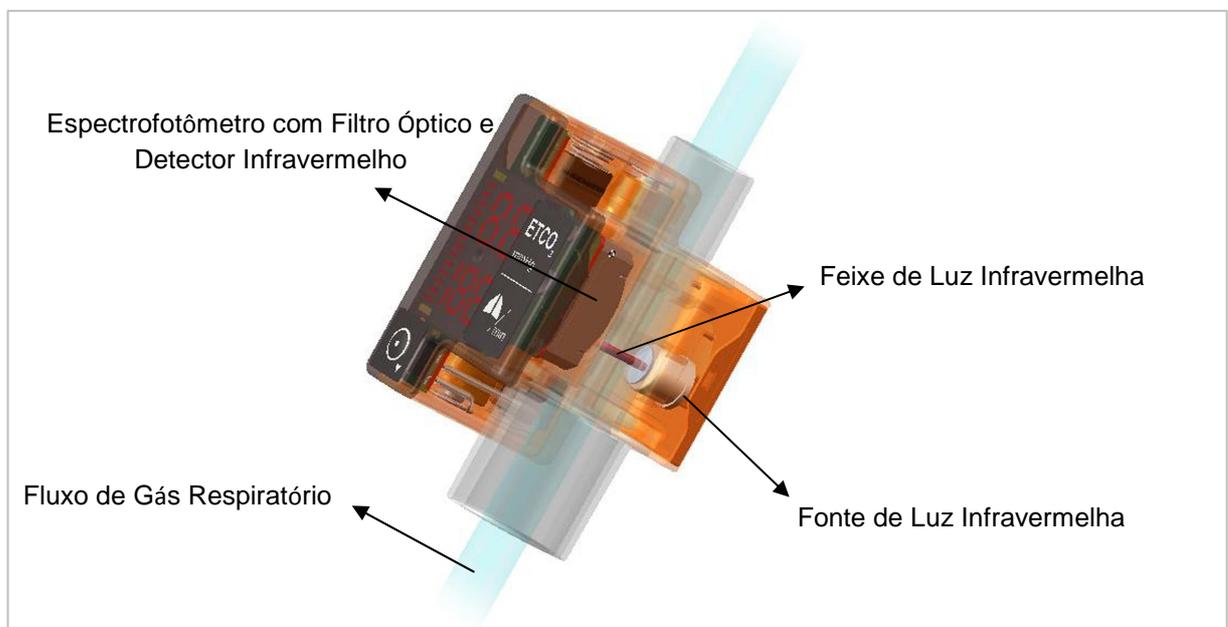


Figura 5 - Princípio de operação do Capnômetro por luz infravermelha.

Fonte: Emma (2006).

O espectrômetro também incorpora um detector infravermelho que converte o feixe de luz em um sinal elétrico. O sinal elétrico é convertido para um valor digital, que é processado por um microprocessador. A relação da luz, medida através dos dois filtros é usada pelo microprocessador para calcular a concentração de CO_2 na mistura de gases respiratórios, mostrando instantaneamente a concentração do gás como pressão parcial em um *display* digital ou na forma de escala analógica (EMMERICH, 1998, p. 8; EMMA, 2006).

O adaptador de via aérea infantil (figura 6) é encaixado entre o tubo endotraqueal e o circuito do equipamento de ventilação mecânica. As mensurações do CO₂, conforme descrito acima, são obtidas por medição contínua da absorção de luz infravermelha através do adaptador de via aérea, equipado com janelas ópticas que são transparentes a luz em intervalos de comprimento de onda de interesse (EMMA, 2006).

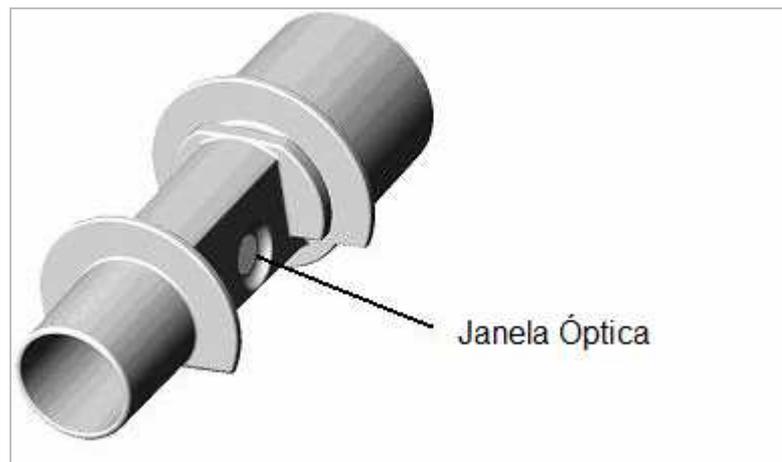


Figura 6 - Adaptador de via aérea EMMA com janela óptica.

Fonte: Emma (2006).

Na espectrometria de massa, há aspiração constante de uma pequena amostra do gás para uma câmara a vácuo, no interior da qual o gás é bombardeado por um feixe ionizante; os fragmentos resultantes (íons) são então expostos a um campo eletrostático e separados de acordo com a relação massa/carga. Devido a seu elevado custo, o espectrômetro de massa é colocado em local central do centro cirúrgico, de modo a permitir a análise de amostras de várias salas. Nesse método existe interferência do óxido nitroso na leitura do CO₂, pois ambos compostos apresentam a mesma massa atômica. Por outro lado, o método apresenta a vantagem de realizar análise também dos gases anestésicos (BRAZ, 1996).

No capnômetro que utiliza a espectrofotometria Raman, há também a aspiração de uma amostra do gás, a qual é iluminada primeiramente por um laser e em seguida por luzes de diferentes comprimentos de onda, que permitem a determinação da composição do gás (BRAZ, 1996).

2.3.2.2 Classificação

Os capnômetros são classificados conforme a localização do sensor no circuito respiratório em: aspirativos (*sidestream*) e não-aspirativos (*mainstream*) (figura 7).

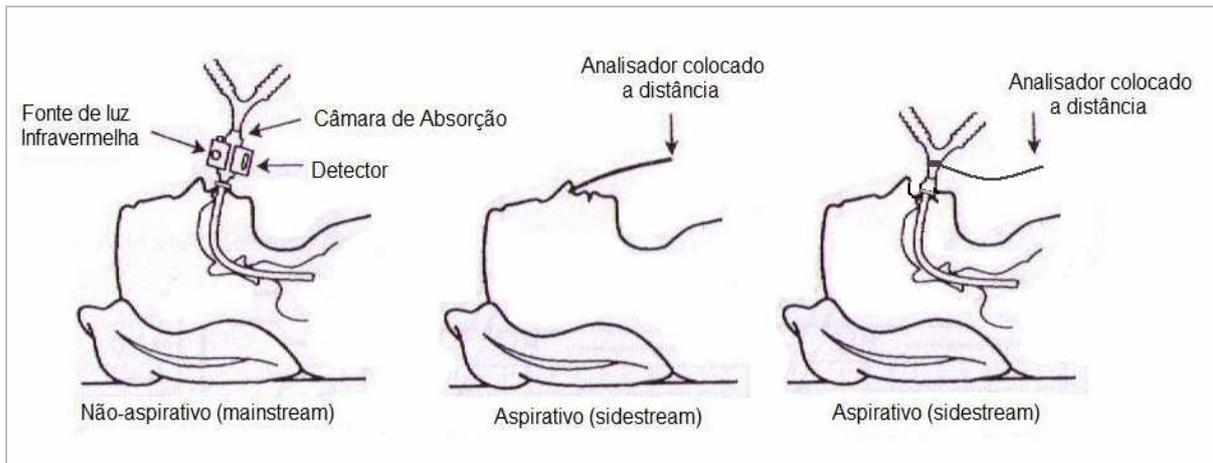


Figura 7 - Sensores aspirativos e não-aspirativos para a medida da concentração do CO₂ expirado (PetCO₂). O sensor não aspirativo está intercalado entre o tubo traqueal e o circuito do respirador. A amostra do capnômetro aspirativo é aspirada da via aérea conduzida por um tubo capilar para uma câmara de absorção de luz infravermelha colocada à distância.

Fonte: Carvalho *et al.* (1996, p. 163).

No aspirativo, uma amostra de gás é continuamente aspirada das vias aéreas através de um tubo coletor e transportada para o corpo do aparelho, onde é analisada. O tubo coletor deve ter no máximo 2 metros de comprimento, 2 milímetros de diâmetro interno e ser impermeável ao CO₂ (teflon ou nafion). Um dos maiores problemas deste sistema é a condensação de H₂O e muco que podem ocluir o tubo e ocasionar medidas incorretas, o nafion tem a vantagem de permitir a passagem seletiva de vapor d'água do interior para o exterior do tubo, evitando alterações na leitura do aparelho (BRAZ *et al.*, 1995; CARVALHO *et al.*, 1996, p. 163; BRAZ, 1996).

O sistema aspirativo pode ser aplicado tanto na presença de intubação traqueal como em pacientes sem prótese respiratória com o tubo coletor conectado à cânulas nasais modificadas, além disso, o sistema pode ser adaptado em anestesia sob circuito fechado, com a reinjeção do gás aspirado (AMARAL *et al.*, 1992; BRAZ *et al.*, 1995; BRAZ, 1996).

No sistema não-aspirativo, o sensor de CO₂ que contém a fonte de luz infravermelha e o fotodetector são posicionados junto às vias aéreas, geralmente entre o tubo traqueal e o circuito do ventilador; por isso, não há necessidade de se remover gás das vias aéreas, pois o CO₂ será medido durante a passagem pelo sensor. A principal vantagem do analisador de *mainstream* é a sua resposta rápida, pois a câmara de medição faz parte do circuito de respiração. Atualmente, os adaptadores das vias aéreas são menores e mais leves facilitando a sua utilização em neonatos e crianças (BRAZ, 1996; ANDERSON e BREEN, 2000).

Quando a concentração do CO₂ expiratório é medida com o propósito de avaliar a ventilação alveolar, o que se pretende é que ela reflita a PaCO₂. Uma vez que o CO₂ difunde rapidamente através da membrana alveolocapilar, a sua pressão parcial no alvéolo e no capilar terminal é aproximadamente igual na unidade pulmonar bem ventilada e bem perfundida. Quando os pulmões esvaziam-se, a composição do gás exalado inicialmente é igual à do espaço morto e, no final do volume corrente, equipara-se à composição do ar alveolar. A concentração de PetCO₂ reflete melhor a concentração no alvéolo e no final do capilar pulmonar. Entretanto, mesmo o gás expirado no final do volume corrente é contaminado pelo ar dos alvéolos mal perfundidos, que constituem o espaço morto alveolar. Portanto, existe um gradiente médio maior que 5 mmHg entre a PaCO₂ e a PetCO₂; assim, a PetCO₂ subestima a PaCO₂. O gradiente depende do tamanho do espaço morto alveolar em relação à ventilação alveolar (RASANEN, 1994, p. 42).

Nas tabelas 4 e 5 estão descritas as principais condições clínicas associadas com o aumento ou a diminuição da PetCO₂ em função da produção de CO₂, ventilação alveolar e do equipamento.

Tabela 4 - Causas de aumento da PetCO₂.

Aumento da Produção de CO₂	Diminuição da Ventilação Alveolar	Equipamento
Febre, hipertermia maligna	Depressão respiratória	Reinalação
Sepse	Paralisia muscular	Mau funcionamento da válvula de exalação
Infusão de bicarbonato	Hipoventilação	Vazamento no circuito do respirador
Aumento da taxa metabólica	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica	Diminuição do volume minuto predeterminado

Fonte: Troster, Faria e Talerma (1998).

Tabela 5 - Causas de diminuição da PetCO₂.

Diminuição da Produção de CO ₂	Aumento da Ventilação Alveolar	Equipamento
Hipotermia	Hiperventilação	Desconexão do ventilador
Hipoperfusão pulmonar	Broncoespasmo	Intubação esofágica
Parada cardíaca	Aumento do volume minuto	Obstrução da via aérea
Hipotensão		Escape ao redor do tubo traqueal

Fonte: Troster, Faria e Talerman (1998).

2.3.3 Pressão Transcutânea de CO₂

Logo após a introdução clínica da monitorização transcutânea do oxigênio, no início da década de 70, foi introduzida também a monitorização transcutânea de CO₂ (PtcCO₂) (BRAZ, 1996).

A monitoração transcutânea fornece uma medida não-invasiva, contínua e indireta da PaCO₂ em tempo real, um método útil para monitorização da ventilação. Os valores da PtcCO₂ são relativamente insensíveis às alterações da perfusão e não se alteram significativamente com a idade (RASANEN, 1994, p. 44; BRAZ, 1996).

A medida de PtcCO₂ é feita com um eletrodo modificado de Severinghaus, que ao ser aquecido (acima de 40°C) e entrar em contato com a superfície da pele, provoca aumento do fluxo sanguíneo local e liberação de CO₂, que atravessa a membrana permeável que cobre o eletrodo imerso em solução eletrolítica, produzindo ácido carbônico. Quando o gás carbônico difunde-se através da membrana, reage quimicamente liberando hidrogênio e bicarbonato. A produção de hidrogênio altera o pH da solução e esta variação é proporcional à variação do CO₂ do sangue. Os valores da PtcCO₂ são normalmente mais elevados do que os da PaCO₂ porque o tecido, ao ser aquecido, produz mais CO₂ (AULER e CARVALHO, 1992; BRAZ, 1996; CARVALHO *et al.*, 1996).

Em pacientes hemodinamicamente estáveis e com a perfusão da pele normal, a diferença entre o CO₂ transcutâneo e o expirado é constante (AULER e CARVALHO, 1992). Contudo, essa técnica não é muito utilizada nas salas de cirurgia e nas UTIs, algumas das razões práticas da utilização infrequente da monitoração transcutânea são: o preparo relativamente complexo, a calibração constante dos eletrodos, comportamento adesivo errático na presença de acidose, apresentar tempo de resposta lento e a necessidade de mudanças periódicas na localização dos eletrodos, para evitar trauma causado pelo calor na pele. Além

disso, os valores transcutâneos dos gases são afetados pelo fluxo de sangue sob os eletrodos. Desta forma, podem ocorrer dificuldades na interpretação das leituras quando o débito cardíaco está baixo e o fluxo sanguíneo cutâneo diminui (BRAZ, 1996; CARVALHO *et al.*, 1996; BHAT e ABHISHEK, 2008).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se a sequência de passos para o desenvolvimento deste trabalho. Com o intuito de facilitar a compreensão da metodologia, um esquema foi criado para descrever as etapas percorridas durante o estudo (figura 8). São apresentados os estudos comparativos realizados em uma UTI cardíaca de um Hospital Infantil em Curitiba e apresenta-se se também os procedimentos de criação e desenvolvimento do questionário para posterior pesquisa de campo.

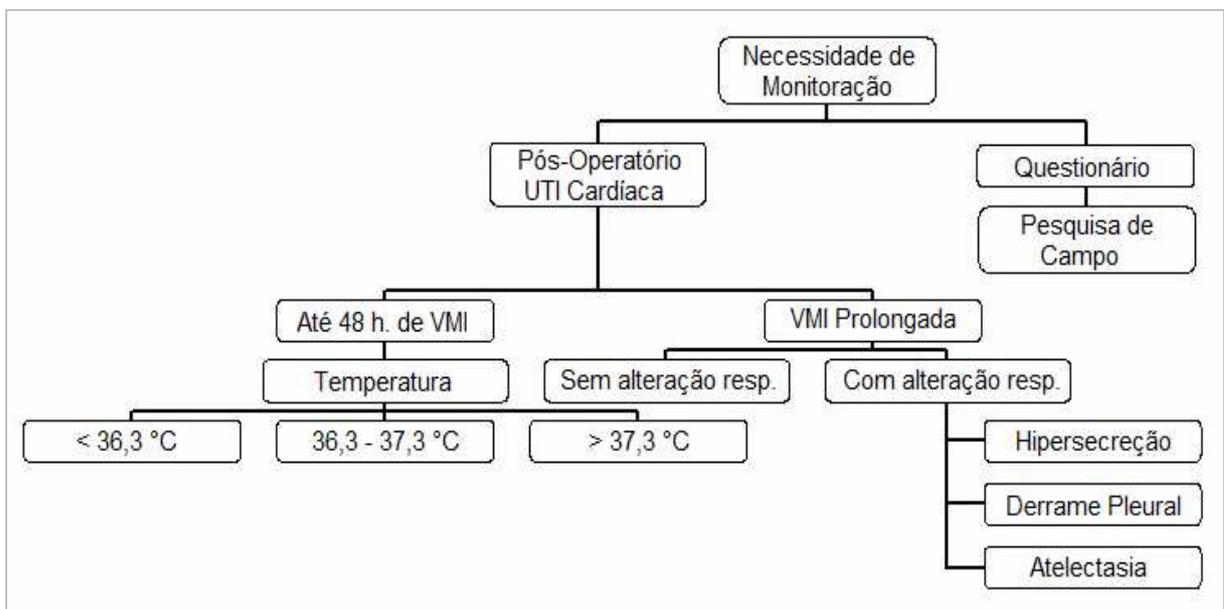


Figura 8 - Representação esquemática do desenvolvimento da metodologia deste trabalho.

Fonte: Própria.

A partir da prática clínica em UTI cardíaca neonatal e pediátrica, nota-se uma necessidade de monitorização contínua e não invasiva de parâmetros respiratórios, entre eles o CO_2 , por se tratar do parâmetro que melhor define a ventilação pulmonar.

Em um primeiro momento um estudo observacional descritivo comparativo entre PaCO_2 e PetCO_2 foi realizado com pacientes neonatais e pediátricos internados em UTI cardíaca do Hospital Infantil Pequeno Príncipe após cirurgia cardíaca. Foi escolhido este hospital por se tratar de um hospital referência em cirurgias cardíacas no estado do Paraná e por reunir uma população homogênea de pacientes em sua UTI, sendo que esta dispõe de 18 leitos para internação. Esta fase foi dividida em duas etapas distintas conforme abaixo:

(a) Pacientes neonatais e pediátricos avaliados nas primeiras 48 horas do período pós-operatório de cirurgia cardíaca sob VMI. Nestes pacientes foi realizado um estudo comparativo entre PetCO₂ e a PaCO₂ mensurada a 37 °C, conforme a rotina de análise gasométrica em UTI e a PaCO₂ corrigida de acordo com a temperatura corporal real do paciente.

(b) Pacientes neonatais e pediátricos avaliados no período pós-operatório de cirurgia cardíaca sob VMI prolongada e com diagnóstico clínico de complicações respiratórias associadas. Nestes pacientes foi realizado um estudo comparativo entre PetCO₂ e a PaCO₂ corrigida de acordo com a temperatura corporal do paciente em toda a amostra e nos pacientes reunidos segundo a condição clínica respiratória.

Em um segundo momento, com o intuito de analisar a disponibilidade e a forma de uso dos equipamentos de monitoração de CO₂ expirado em UTIs de hospitais na cidade de Curitiba, um questionário (APÊNDICE A) foi elaborado e enviado a médicos responsáveis por diferentes UTIs.

3.1 ESTUDO COMPARATIVO

A primeira fase do trabalho trata de dois estudos descritivos comparativos, realizados na UTI cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe, no período de agosto de 2008 a março de 2009. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos do Hospital (ANEXO A). Antes do início do estudo os responsáveis pelos pacientes autorizaram expressamente a participação, mediante um termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE B).

A amostra de conveniência foi definida pela disponibilidade de pacientes entre 2 dias e 4 anos de idade de ambos os sexos internados na UTI cardíaca, submetidos à cirurgia cardíaca com necessidade de VMI.

Os pacientes foram ventilados pelo Ventilador Infantil Sechrist (modelo IV-100B) ou Ventilador Intermed (Inter 5), usando pressão limitada, tempo ciclado no modo controlado, assisto-controlado ou ventilação mandatória intermitente sincronizada (modo SIMV). Os dados vitais e os parâmetros ventilatórios foram monitorizados continuamente.

PetCO₂ foi monitorizada diariamente no período da manhã com os pacientes posicionados em decúbito dorsal com a inclinação da cabeça entre 0 a 15°, através

de um capnômetro portátil *mainstream* (Capnômetro de emergência EMMA, Phasein AB, Suécia) encaixado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador através do adaptador de via aérea infantil EMMA (figura 9). O monitoramento de CO₂ começou imediatamente após a calibração realizada de acordo com as recomendações do fabricante.



Figura 9 - Arranjo do equipamento de Capnometria adaptado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador mecânico. O valor 28 refere-se à concentração de dióxido de carbono no ar exalado e o valor 19 a frequência respiratória do paciente.

Fonte: Própria.

A amostragem para a gasometria arterial foi derivada do cateter arterial localizado na artéria radial em uma seringa heparinizada (Monovette® LH; Sarstedt, Nümbrecht, Alemanha - 0,1 a 2 ml de sangue total), no período da manhã e em conformidade com a prescrição do médico (figura 10). Os pacientes foram mantidos em decúbito dorsal com a inclinação da cabeça entre 0 a 15°. Todas as amostras de sangue foram mantidas em local adequado e avaliadas entre no máximo 10 a 15 minutos após a coleta. As pressões parciais dos gases sanguíneos foram medidas a 37 °C, com equipamento Cobas sistema B121 (Roche Diagnostics, Mannheim, Alemanha), calibrado diariamente pela equipe terceirizada do laboratório, localizado dentro do hospital. Esta fase do estudo comparativo foi dividida em duas etapas com amostras distintas, a primeira correlacionando os valores da PetCO₂ com a PaCO₂ mensurada e corrigida em relação à variação térmica corporal e a segunda etapa

avaliando a $PetCO_2$ como uma estimativa de $PaCO_2$ em pacientes sob VMI prolongada com associação de complicações respiratórias. Ambas as fases estão descritas na próxima seção.



Figura 10 - Momento da coleta sanguínea do cateter arterial localizado na artéria radial em uma seringa heparinizada.

Fonte: Própria.

3.1.1 Temperatura Corporal

A temperatura corporal foi mensurada por um termômetro infravermelho digital (IncoTerm, Termo Med, com uma precisão de $\pm 0,01$ °C na faixa de 32-42,2 °C) na região axilar. Após a mensuração dos valores de $PaCO_2$ a uma temperatura de 37 °C pelo analisador de gasometria e da temperatura corporal do paciente pelo termômetro infravermelho, a equação 13, foi utilizada para obter o valor corrigido de $PaCO_2$ pela temperatura real do paciente. De acordo com estudos da década de 80 sobre correção da temperatura nos parâmetros de mensuração do gás sanguíneo arterial, o uso desta equação é a forma mais adequada para obter a correção do

valor de PaCO_2 pela temperatura corporal do paciente (ANDRITSCH, MURAVCHICK e GOLD, 1981; ASHWOOD, KOST e KENNY, 1983).

$$(\text{PaCO}_2)_{\text{corr.}} = (\text{PaCO}_2)_{\text{med.}} \times 10^{[f \times (T-37)]} \quad (13)$$

onde $(\text{PaCO}_2)_{\text{corr.}}$ e $(\text{PaCO}_2)_{\text{med.}}$ se referem a PaCO_2 com a temperatura corrigida e PaCO_2 medida a 37 °C de temperatura corporal, respectivamente, f é o fator de correção de CO_2 e T é a temperatura corporal real (°C) de cada paciente. Estimativas de f variam entre 0,019 e 0,023, um valor de 0,021 foi utilizado nos cálculos de acordo com trabalhos anteriores (DONATI *et al.*, 1985; HANSEN *et al.*, 1999).

Durante a coleta de sangue, o valor da PetCO_2 mostrada no visor do *display* foi registrado em três momentos: 30 segundos antes da coleta de sangue, no momento da coleta e 30 segundos após a coleta de sangue, a média entre os três valores foi calculada e utilizada para os cálculos estatísticos (figura 11). Simultaneamente PetCO_2 , PaCO_2 e medidas da temperatura corporal foram anotadas em uma ficha com dados adicionais, incluindo os ajustes do ventilador e os dados vitais (APÊNDICE C).

Durante o primeiro e segundo dia após a cirurgia cardíaca, os pacientes apresentaram algumas alterações na temperatura corporal. Baseado em um estudo de Bisson e Younker (2006), os lactentes e as crianças foram divididos em grupos de acordo com a temperatura: 1) temperaturas abaixo de 36,3 °C, 2) temperaturas entre 36,3 e 37,3 °C e 3) temperaturas superiores a 37,3 °C. As correlações entre PetCO_2 e PaCO_2 para esses grupos foram também avaliadas.

Os dados para os dois métodos foram coletados uma vez ao dia, iniciando no primeiro dia após a cirurgia cardíaca até o desmame dos pacientes da prótese ventilatória, não excedendo dois dias de VMI, pois a partir do terceiro dia grande parte dos pacientes começavam a apresentar algumas alterações respiratórias e hemodinâmicas que poderiam influenciar os resultados da PetCO_2 em relação a PaCO_2 . Ao todo 110 mensurações de PetCO_2 , PaCO_2 medida e corrigida foram analisadas, cada paciente ventilado providenciou uma média de 1,48 mensurações (alguns pacientes foram monitorados, por ambos os métodos, apenas um dia

enquanto outros foram monitorados durante dois dias, de acordo com o período que permaneceram em VMI).



Figura 11 - Ambos os métodos foram realizados simultaneamente com o paciente em ventilação mecânica invasiva.

Fonte: Própria.

3.1.2 Ventilação Mecânica Invasiva Prolongada

Simultaneamente medições de PetCO_2 e PaCO_2 foram anotadas em uma ficha de avaliação (APÊNDICE D) com dados adicionais, incluindo os parâmetros do ventilador e os dados vitais.

Durante o período de ventilação prolongada os pacientes apresentaram algumas complicações respiratórias como: hipersecreção, derrame pleural e atelectasias. As correlações entre PetCO_2 e PaCO_2 para tais casos, também foram avaliadas.

Os dados para ambos os métodos foram coletados uma vez por dia, com início no primeiro dia após a cirurgia cardíaca até o desmame dos pacientes da prótese ventilatória, cada paciente permaneceu em VMI durante seis dias, em média, totalizando 246 pares de PetCO_2 e PaCO_2 , cada paciente ventilado forneceu

uma média de seis pares de mensurações (alguns pacientes foram monitorados, por ambos os métodos durante quatro dias, enquanto outros foram monitorados por 8 dias, de acordo com o período que permaneceram em VMI).

3.1.3 Análise Estatística

Foi dado inicialmente um enfoque estatístico tradicional para o conjunto de variáveis aleatórias, empregando-se uma análise descritiva para identificar e avaliar parâmetros de locação e escala, parâmetros de homogeneidade, normalidade, pontos discrepantes e tendências. As principais medidas empregadas foram: média, mediana, desvio padrão, coeficiente de correlação de *Pearson*, mínimo e máximo. O comportamento das variáveis está representado por gráficos como: histograma, diagrama de dispersão e análise gráfica de Bland-Altman visando representar o comportamento das variáveis do estudo. A análise estatística foi realizada utilizando o *software* comercial MedCalc Statistical versão 10.4.5 (MEDCALC, 2009).

Os dados registrados foram analisados estatisticamente, a relação entre os valores de PetCO_2 e PaCO_2 , seja mensurada ou corrigida, foram analisadas utilizando o coeficiente de correlação de *Pearson* e a regressão linear simples. A análise de Bland-Altman é um método estatístico de referência utilizado para a representação gráfica de concordância entre dois métodos e foi realizada para determinar o nível de combinação entre os valores da PaCO_2 e PetCO_2 .

3.2 PESQUISA DE CAMPO

Entre junho de 2008 e março de 2009, um contato inicial foi realizado com médicos responsáveis por UTIs na cidade de Curitiba. Após uma resposta positiva do médico para participar desta pesquisa, um questionário (APÊNDICE A) com perguntas de múltipla escolha foi enviado por *e-mail* com o prazo de 30 dias para o retorno. Os entrevistados foram questionados sobre o número de leitos em sua unidade de cuidados intensivos, a disponibilidade de monitorização contínua de PetCO_2 , tanto para pacientes em ventilação mecânica quanto para pacientes em ventilação espontânea, as vantagens e desvantagens do equipamento, e interesse em aprender mais sobre o controle e as aplicações deste dispositivo.

A partir da primeira pergunta, o questionário foi dividido em duas partes de acordo com a resposta dos entrevistados em relação à disponibilidade do equipamento de monitoração contínua de PetCO₂ na UTI, totalizando 10 perguntas para a UTI com equipamento de PetCO₂ disponível e 8 perguntas para a UTI sem a disponibilidade do dispositivo de monitoração.

De um total de 10 perguntas para as UTIs com disponibilidade de monitorização de PetCO₂, 80% foram classificadas segundo a escala tipo Likert de 4 pontos, nesse caso as respostas foram classificadas como "sempre", "frequentemente", "às vezes" e "nunca" (FERGUSON, 1941).

Para uma melhor análise dos resultados desta parte do questionário, foi realizada uma abordagem quantitativa para estabelecer um valor somatório total para as UTIs que dispõem de monitorização de PetCO₂, a escala tipo Likert de 4 pontos foi utilizada para mensurar o grau de correlação e concordância entre as questões e para avaliar a utilização contínua de PetCO₂ no acompanhamento de pacientes em diferentes aplicações clínicas. Através de critérios definidos pelo pesquisador, cada item das quatro possibilidades de resposta correspondeu a um valor, exemplo: sempre (4), frequentemente (3), às vezes (2) e nunca (1), desta forma os valores correspondentes de cada resposta foram somados e avaliados individualmente para cada UTI. A somatória dos valores referente às respostas são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Avaliação dos resultados referentes as UTIs que dispõem de um equipamento de monitorização de PetCO₂.

Monitorização de CO₂	Valores	Descrição
Adequada	21 – 28	Frequente monitorização de PetCO ₂ em pacientes sob ventilação mecânica e/ou espontânea em diferentes situações clínicas.
Aceitável	14 – 21	Ocasional monitorização de PetCO ₂ em pacientes sob ventilação mecânica e/ou espontânea em diferentes situações clínicas.
Inadequada	7 – 14	Nenhuma monitorização de PetCO ₂ em pacientes sob ventilação mecânica e/ou espontânea em diferentes situações clínicas.

Fonte: Própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos pelo estudo comparativo de dois métodos de mensuração de pressão de CO₂ em lactentes e crianças sob VMI em dois momentos distintos no período pós-operatório de cirurgia cardíaca, sendo eles: durante instabilidade térmica comum nos primeiros dias de pós-operatório e durante algumas complicações respiratórias decorrentes da cirurgia cardíaca ou da VMI prolongada, bem como os resultados obtidos através do questionário entregue a médicos responsáveis por UTIs na cidade de Curitiba. Também se apresentam neste capítulo as discussões referentes aos resultados obtidos para cada etapa deste trabalho.

4.1 TEMPERATURA CORPORAL

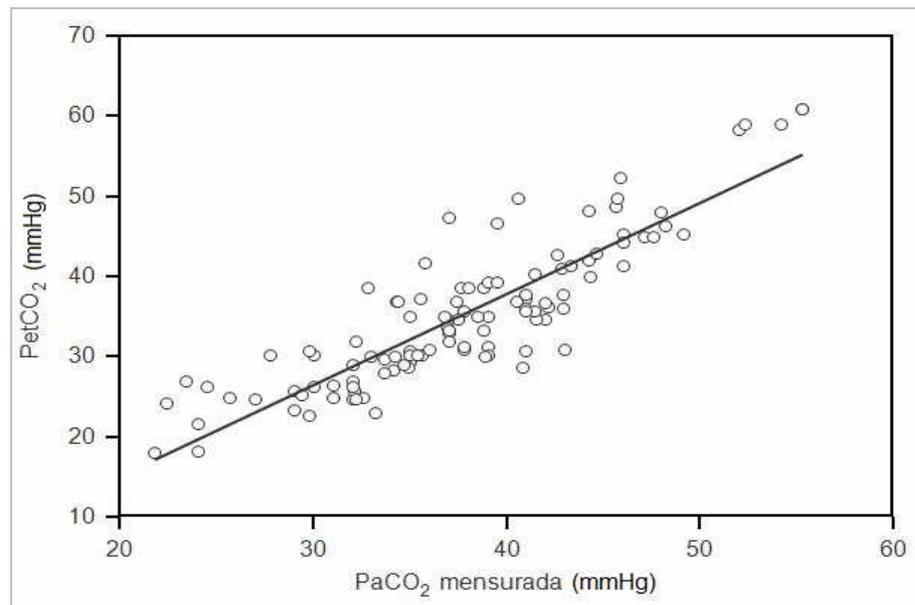
Foram avaliadas um total de 74 lactentes e crianças com idade a partir de 5 dias a 4 anos, ambos os sexos, sob VMI e no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. As características dos pacientes estão presentes na tabela 7. Pacientes sem prescrição de análise de gasometria arterial, aqueles que permaneceram em ventilação mecânica por período prolongado (acima de 2 dias) e aqueles com complicações respiratórias foram excluídos.

Tabela 7 - Características dos pacientes que permaneceram até 48 horas em VMI.

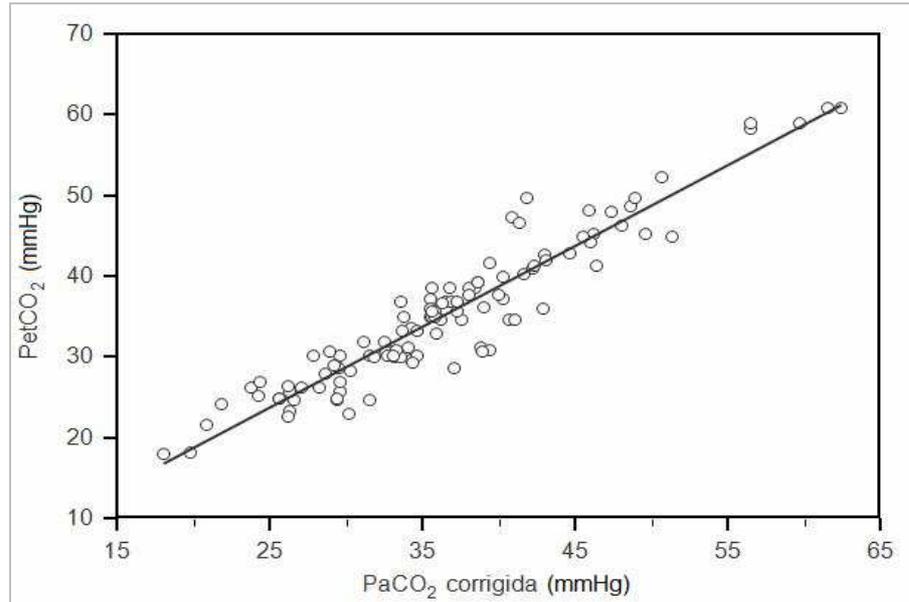
Pacientes (n = 74)	Valores
Idade (anos) – média ± DP	2,32 ± 1,7
Sexo (masculino / feminino)	35 / 39
Peso (kg) – média ± DP	10,1 ± 1,82
Temperatura corporal – n (%)	
< 36,3 °C	43 (39%)
36,3 – 37,3 °C	50 (45,5%)
> 37,3 °C	17 (15,5%)
Diagnóstico Cardíaco – n (%)	
Persistência do Canal Arterial	19 (26%)
Comunicação Interatrial	16 (22%)
Comunicação Interventricular	15 (20%)
Tetralogia de Fallot	10 (13%)
Transposição das Grandes Artérias	8 (11%)
Outras	6 (8%)

Fonte: Própria.

De um total de 110 determinações, a média e o desvio padrão para a PaCO₂ medida e corrigida foi de 39,7 ± 7,03 mmHg e 36,4 ± 5,63 mmHg, respectivamente. A PetCO₂ apresentou média de 35,3 ± 6,10 mmHg. Nas figuras 12 e 13 apresenta-se a PetCO₂ correlacionada com a PaCO₂ mensurada e corrigida para todos os pacientes, independente da instabilidade térmica. Para toda a população, a correlação foi mais significativa com a PaCO₂ corrigida (r = 0,92, p < 0,001) do que com a PaCO₂ medida (r = 0,78), durante todo o período do estudo.



**Figura 12 - Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado e a pressão de dióxido de carbono arterial mensurada a uma temperatura corporal de 37 °C (n = 110; r = 0,78; p < 0,001).
Fonte: Própria.**



**Figura 13 - Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado e a pressão de dióxido de carbono arterial corrigida pela temperatura corporal real do paciente (n = 110; r = 0,92; p < 0,001).
Fonte: Própria.**

A figura 14 apresenta a análise gráfica de Bland-Altman entre os valores de PaCO₂ mensurada a 37°C e a PetCO₂. É possível verificar uma concordância média de diferença entre os resultados correspondente a 4,42 mmHg. Os limites de 95% superior e inferior (linhas tracejadas) correspondem a 11,24 e -6,38 mmHg, respectivamente.

Em relação a PaCO₂ corrigida pela temperatura real do paciente, adotando-se o procedimento descrito por Bland-Altman, observa-se na figura 15, que a diferença de médias entre os valores de PaCO₂ corrigida e a PetCO₂ é 1,12 mmHg, o desvio padrão é 2,93 mmHg e os limites de 95% de concordância (linhas tracejadas) entre PaCO₂ corrigida e PetCO₂ varia de -4,62 a 6,87 mmHg.

Comparando as duas técnicas de PaCO₂ (tabela 8) a média da diferença obtida no teste de Bland-Altman para a PaCO₂ corrigida foi mais próxima a zero que PaCO₂ mensurada, bem como os valores de variações dos limites de aceitação para PaCO₂ corrigida foi menor que PaCO₂ mensurada, 5% e 9% respectivamente.

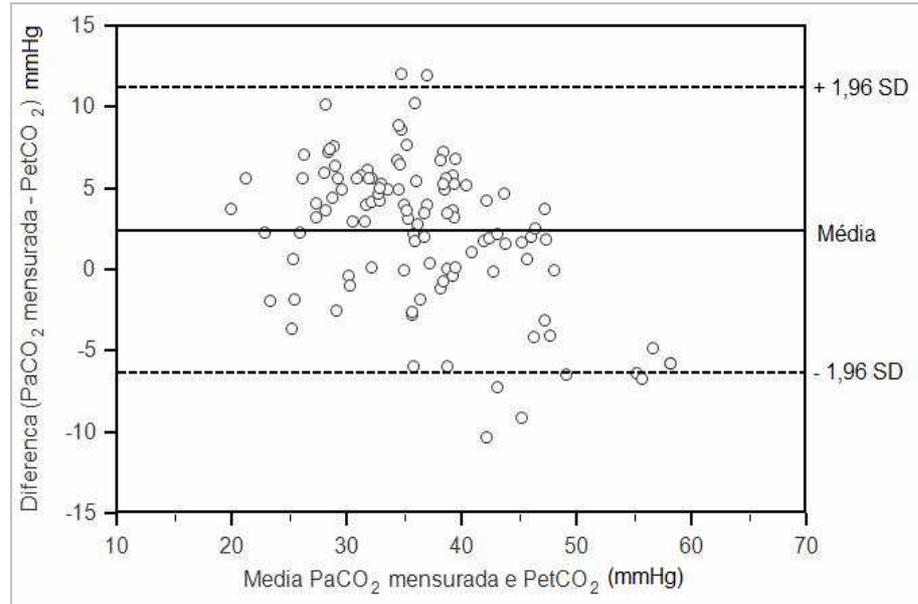


Figura 14 - Análise gráfica de Bland-Altman entre os métodos de mensuração de dióxido de carbono arterial mensurada a 37°C e a pressão final de dióxido de carbono expirado (n = 110).

Fonte: Própria.

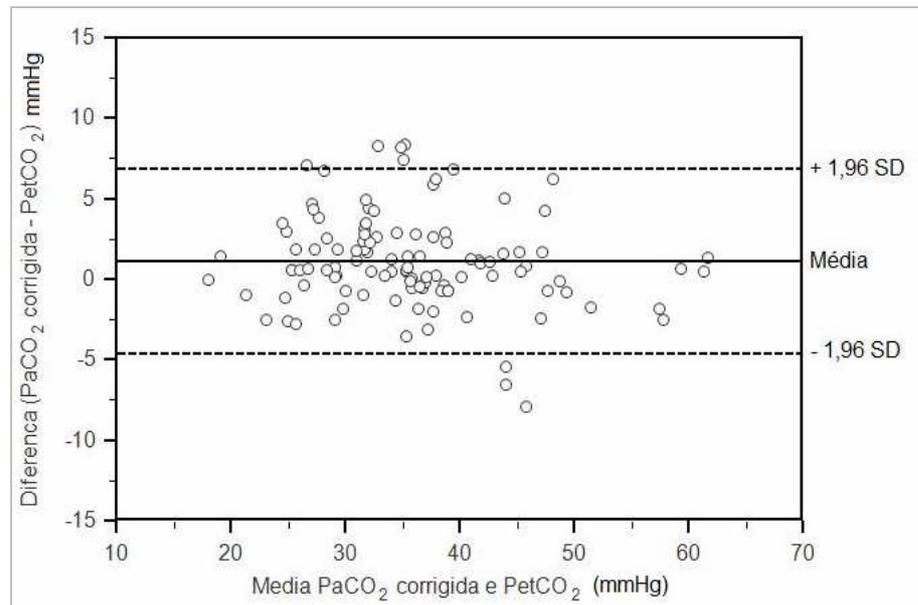


Figura 15 - Análise gráfica de concordância entre a pressão de dióxido de carbono arterial corrigida pela temperatura corporal real do paciente e a pressão final de dióxido de carbono expirado (n = 110).

Fonte: Própria.

Tabela 8 – Comparação das duas técnicas de pressão de dióxido de carbono arterial e expirado obtida através do teste de Bland-Altman.

	PaCO₂ mensurada e PetCO₂	PaCO₂ corrigida e PetCO₂
Proximidade de Zero	Menos Próximo	Mais Próximo
Média (mmHg)	4,42	1,12
Limites		
Superior (mmHg)	11,24	6,87
Inferior (mmHg)	-6,38	-4,62
Variação dos Limites	9%	5%
Pontos Fora do Limite de Aceitação	6	7

Fonte: Própria.

No período pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca alguns pacientes apresentam instabilidade hemodinâmica e metabólica e alterações na temperatura corporal (AULER *et al.*, 1990). Pacientes criticamente enfermos frequentemente apresentam diferentes níveis de hipotermia ou hipertermia, o que afeta a solubilidade de gases no sangue e posteriores alterações no pH (GUYTON e HALL, 2000; BISSON e YOUNKER, 2006).

Conforme a metodologia descrita no item 3.1.1, em um prazo de 48 horas após a cirurgia cardíaca a temperatura corporal dos pacientes variou entre 32 e 39 °C por motivos distintos. Das 110 mensurações de Pa CO₂ e PetCO₂ coletadas, 43 (39%) demonstraram hipotermia e 17 (15,5%) hipertermia durante o procedimento. O valor de hipotermia média foi de 34,5 ± 1,03 °C, variando de 32 a 35,9 °C e o valor de hipertermia média foi de 38,5 ± 0,55 °C e variou entre 37,6 e 39,5 °C.

Analisando os efeitos da temperatura sobre a PaCO₂ e PetCO₂ neste estudo, foi possível observar que quando os resultados dos gases sanguíneos são corrigidos para uma temperatura corporal inferior a 36,3 °C as mensurações de ambos os métodos são diminuídos. Inversamente, se os resultados dos gases sanguíneos são corrigidos para uma temperatura superior a 37,3 °C, as mensurações de PaCO₂ e PetCO₂ são aumentadas (tabela 9).

Vários estudos têm mostrado que mesmo pequenas mudanças de temperatura (1-3 °C) abaixo do normal no período pós-operatório estão associadas a distúrbios fisiológicos múltiplos que podem levar a resultados adversos (KONGSAYREEPONG *et al.*, 2003). Vigue *et al.* (2000) observaram que uma diminuição induzida de apenas 3 °C na temperatura corporal provoca uma diminuição de 9 ± 3 mmHg na PetCO₂, sem modificação dos parâmetros

ventilatórios e concluíram que essa diminuição na $P_{et}CO_2$ está relacionada, em parte, a uma redução total do corpo da produção de CO_2 .

Tabela 9 – Média de mensurações da pressão de dióxido de carbono arterial (mensurada e corrigida) e pressão final de dióxido de carbono expirado baseada na temperatura.

	< 36,3 °C	36,3-37,3 °C	> 37,3 °C
Mensuração (%)	43 (39)	50 (45,5)	17 (15,5)
$PaCO_2$ mensurada (mmHg)	36,1 ± 5,4	37,9 ± 6,3	42,6 ± 10,3
$PaCO_2$ corrigida (mmHg)	31,2 ± 5,3	37,2 ± 6,4	47,2 ± 9,1
$P_{et}CO_2$ (mmHg)	29,2 ± 5,1	35,8 ± 6,1	48,8 ± 9,3

Fonte: Própria.

Vigue *et al.* (2000) constataram que a $PaCO_2$ corrigida varia de $3,4 \pm 2,0$ mmHg / °C no intervalo de temperatura de 34 a 37,1 °C, o que lhes permitiu estimar o aumento da $PaCO_2$ durante uma elevação da temperatura por aquecimento do paciente.

O grande aumento de $P_{et}CO_2$, que coincide com o aumento da temperatura, teoricamente, pode ocorrer devido a três fatores: uma diminuição da ventilação, um aumento na produção de CO_2 ou um aumento do espaço morto. Além disso, é razoável supor que os pacientes responderam à hipotermia, gerando calor, que é realizado com a utilização de mais oxigênio, aumentando assim a produção de CO_2 (DONATI *et al.*, 1985).

Calculando a diferença entre a $PaCO_2$ e $P_{et}CO_2$ ($P(a-et)CO_2$) utilizando os valores de $PaCO_2$ medida, houve um aumento da $|P(a-et)CO_2|$ em todos os pacientes durante a instabilidade da temperatura corporal. Em contraste, $|P(a-et)CO_2|$ não modificou significativamente quando os valores de $PaCO_2$ corrigida foi utilizada para o cálculo (figura 16).

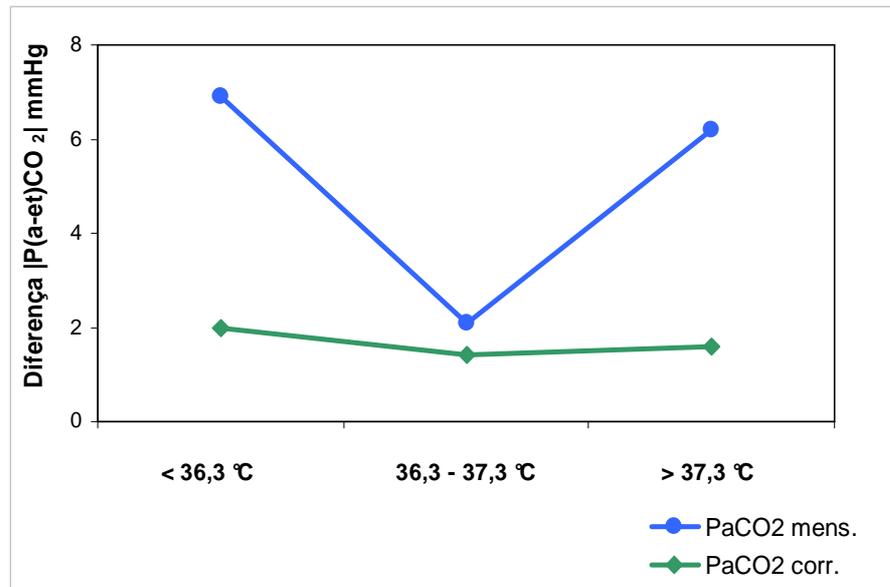


Figura 16 - Diferença entre a pressão de dióxido de carbono arterial e a pressão final de dióxido de carbono expirado para cada grupo de pacientes segundo a temperatura corporal. PaCO₂ mens.= diferença entre a PaCO₂ mensurada a 37 °C e PetCO₂, PaCO₂ corr. = diferença entre a PaCO₂ calculada em relação à temperatura corporal real do paciente e PetCO₂.

Fonte: Própria.

A interpretação da temperatura corrigida na gasometria arterial é controversa na literatura. Convém salientar, contudo, que PetCO₂ como medida por um analisador de CO₂ exige correção de temperatura pequena, da ordem de 0,3% por °C para explicar as mudanças na pressão do vapor de água com a temperatura. Por outro lado, PCO₂ no sangue arterial varia de 5% por °C e não fazer a correção pode resultar em diferenças significativas em pacientes com hipo ou hipertermia moderada (WHITESELL *et al.*, 1981), assim o uso de PetCO₂ em pacientes com instabilidade térmica é melhor do que PaCO₂ quando não corrigida. Hansen *et al.* (1999) estudaram oito adultos durante o reaquecimento da hipotermia de 32 °C e eles observaram que P(a-et)CO₂ não foi afetada pela hipotermia moderada quando PaCO₂ foi corrigida para a temperatura corporal real do paciente. Donati *et al.* (1985) também relataram um resultado semelhante em 20 adultos, avaliando a temperatura nas primeiras seis horas após a CEC coronária. Através dos resultados obtidos por esta pesquisa, é possível observar que a PetCO₂ segue de perto a PCO₂ arterial quando corrigida para todas as faixas de temperatura, seguindo os resultados obtidos nos estudos de Hansen e Donati.

Ainda assim, a variabilidade inter-individual de $P(a-et)CO_2$ foi grande, se $PaCO_2$ medida ou corrigida foi utilizada para o cálculo (tabela 10). Uma explicação para essa variação é a dificuldade de obter um grupo totalmente homogêneo dentro de uma UTI para estudo, visto que, cada paciente responde de uma maneira diferente a cirurgia, aos medicamentos, a VMI e outros fatores inerentes a um ambiente de cuidados críticos e isto pode influenciar alguns resultados, tornando a diferença mínima e máxima entre $PaCO_2$ e $PetCO_2$ instável.

Tabela 10 - Valores mínimos e máximos da diferença entre pressão de dióxido de carbono arterial e a pressão final de dióxido de carbono expirado ($P(a-et)CO_2$) em mmHg durante variações na temperatura corporal ($^{\circ}C$).

	$P(a-et)CO_2$ Mensurada			$P(a-et)CO_2$ Corrigida		
	< 36,3	36,3 - 37,3	> 37,3	< 36,3	36,3 - 37,3	> 37,3
Média	6,9	2,1	-6,2	2	1,4	-1,6
Mínimo	2,1	-3,7	-10,3	-1,07	-1,52	-7,9
Máximo	12,1	5,67	5,6	6,42	3,48	6,3
Valor de r^2	0,55	0,85	0,69	0,88	0,91	0,90

Fonte: Própria.

Não houve aumento no tempo previsto para desmame da prótese ventilatória associados a hipotermia ou hipertermia, todos os pacientes desta fase permaneceram em VMI por um período máximo de dois dias.

Nesta pesquisa, 39% dos pacientes submetidos à cirurgia cardíaca apresentaram quadro de hipotermia variando de 32 a 35,9 $^{\circ}C$. Abelha (2005) descreve a hipotermia como uma ocorrência comum no período pós-operatório e pode ocorrer devido à administração de sedativos, exposição prolongada ao ambiente, trauma, durante e após a CEC ou outras cirurgias, com possibilidade de impor riscos aos pacientes após cirurgia cardíaca (HOHN *et al.*, 1998; BISSON e YOUNKER, 2006).

A hipotermia aumenta a solubilidade de CO_2 e de ligação de CO_2 para a hemoglobina, diminuindo assim a $PaCO_2$, para um determinado conteúdo arterial de CO_2 (WEINGER e BRIMM, 1987). Sitzwohl *et al.* (1998) analisaram 19 adultos submetidos à cirurgia intracraniana eletiva durante hipotermia e concluíram que quando os pacientes estão com a temperatura corporal alterada a $PetCO_2$ pode prever a $PaCO_2$ segundo o cálculo de correção da temperatura, mas não a $PaCO_2$

mensurada a 37°C, semelhante aos resultados encontrados em lactentes e crianças nesta pesquisa.

Dos pacientes no período pós-operatório antes do desmame da VMI, 15,5% apresentaram hipertermia. A etiologia exata da hipertermia após a cirurgia cardíaca é desconhecida. Certamente, os procedimentos realizados com CEC envolvem maior perturbação térmica do que outros tipos de cirurgia, com grande alteração resultante no teor de calor do tecido e de distribuição regional de calor (SESSLER, 2000; THONG *et al.*, 2002). No entanto, após a operação, uma provável causa da hipertermia pós-operatória pode ser a resposta inflamatória a CEC, que afeta o centro regulador da temperatura (ASCIONE *et al.*, 2000; KONGSAYREEPONG *et al.*, 2003). Uma resposta similar ocorre, no entanto, mesmo durante as operações cardíacas sem CEC, embora em menor grau e, provavelmente, durante todas as operações associadas com lesão tecidual significativa (LAHAT *et al.*, 1992; ASCIONE *et al.*, 2000).

Segundo estudo de Bisson e Younker (2006) com equipes de UTI na Austrália existem inconsistências e variações na forma com que os gases sanguíneos são analisados em UTIs. Alguns acreditam que a PaCO₂ só deve ser corrigida quando os pacientes estão hipo ou hipertérmicos, outros profissionais sempre registram os valores corrigidos do gás, independente da temperatura do paciente, e alguns só documentam os valores não corrigidos.

Através dos resultados desta pesquisa é possível verificar que quando o paciente está perto da normotermia (36,3 - 37,3 °C) não existe necessidade da correção das mensurações de PaCO₂ pela temperatura corporal do paciente, pois a diferença é nominal e insignificante. No entanto, se a temperatura do paciente for inferior a 36,3 °C ou superior a 37,3 °C, o ideal é colocar o valor real da temperatura no analisador e utilizar os valores corrigidos, evitando assim que os pacientes recebam cuidados de qualidade inferior ou sejam ventilados por mais tempo em UTI, o que poderia aumentar os riscos de uma infecção adquirida no ventilador, bem como a morbidade e mortalidade, não excluindo outros riscos e complicações por se tratar de um paciente em estado crítico.

4.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA PROLONGADA

Tendo em vista os resultados mais significativos da $PetCO_2$ quando comparado a $PaCO_2$ corrigida pela temperatura corporal real do paciente no item anterior, nessa próxima etapa do estudo com pacientes sob ventilação mecânica prolongada, utilizam-se apenas os valores de $PaCO_2$ corrigida para comparar com as mensurações de $PetCO_2$ em pacientes com complicações respiratórias.

Um total de 42 lactentes e crianças foram avaliados a partir de 2 dias a 3 anos de idade, de ambos os sexos, após cirurgia cardíaca sob VMI prolongada. As características dos pacientes estão presentes na tabela 11. Pacientes sem prescrição de análise de gasometria arterial e aqueles que permaneceram em ventilação mecânica por apenas um ou dois dias foram excluídos.

Tabela 11 - Características dos pacientes em ventilação mecânica prolongada.

Pacientes (n = 42)	Valores
Idade (anos)	1,5 ± 1,41
Lactentes / Crianças	34 / 8
Sexo (masculino / feminino)	17 / 25
Peso (kg)	5,32 ± 2,58
Temperatura corporal (°C)	36,8 ± 0,81
Sedação (Dimorf / Dormonid and Fentanyl)	16 / 26
Diagnóstico Cardíaco – n (%)	
Persistência do Canal Arterial	15 (36%)
Comunicação Interatrial	10 (24%)
Comunicação Interventricular	9 (21%)
Tetralogia de Fallot	3 (7%)
Transposição das Grandes Artérias	2 (5%)
Outras	3 (7%)
Modo Ventilatório – n = 110 mensurações (%)	
Controlado	38 (35%)
Assisto-controlado	19 (17%)
Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada	53 (48%)

Os valores estão expressos como média ± desvio padrão, número de mensurações e pacientes.

Fonte: Própria.

Os resultados obtidos segundo as condições descritas no item 3.2.2, através da correlação entre os dois métodos para os 246 pares de amostra, em 42 lactentes e crianças, estão apresentados na figura 17. A média ± desvio padrão para $PetCO_2$

e PaCO_2 foi $39,5 \pm 5,6$ mmHg e $38,8 \pm 5,4$ mmHg, respectivamente. As mensurações de PetCO_2 e PaCO_2 foram altamente correlacionadas ($r=0,94, p<0,001$).

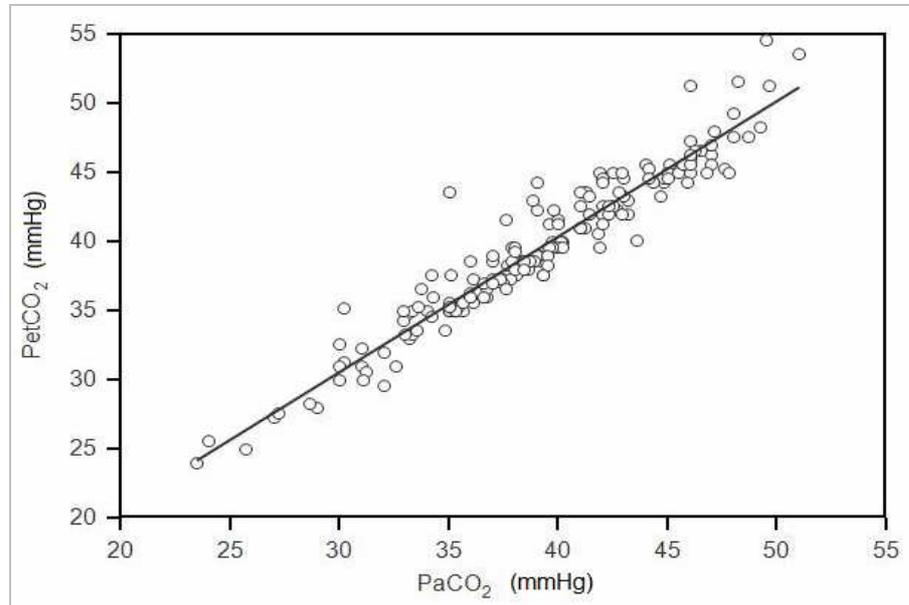


Figura 17 - Relação entre a pressão de dióxido de carbono expirado versus à pressão arterial de dióxido de carbono corrigida (n = 246, r = 0,94, p < 0,001).

Fonte: Própria.

A média \pm desvio padrão entre as mensurações de PaCO_2 e PetCO_2 em relação à análise de Bland-Altman (figura 18) foi de $-0,71 \pm 1,51$ mmHg. Os limites de 95% de concordância entre ambos os métodos variou de $-3,37$ para $2,55$ mmHg.

O resultado obtido através do teste de análise gráfica de Bland-Altman foi significativo, visto que, a média de diferença foi muito próxima a zero, apresenta apenas nove pontos fora dos limites de aceitação (*outliers*) e as variações dos limites superior e inferior de aceitação foram de aproximadamente 3 mmHg.

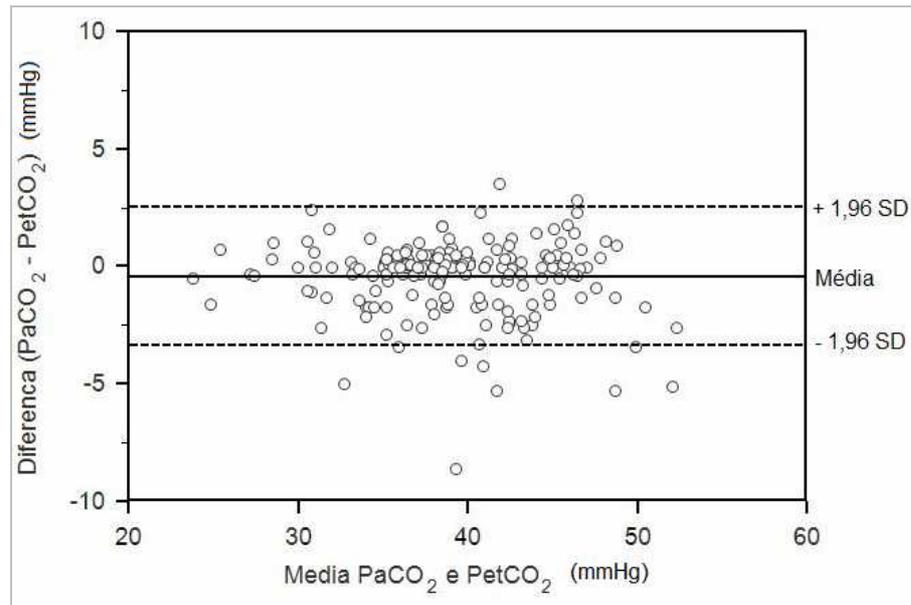


Figura 18 - Análise gráfica de Bland-Altman mostra a diferença entre a pressão arterial e expirada de dióxido de carbono versus os valores médios de ambos os métodos (n = 246).

Fonte: Própria.

Os histogramas com a distribuição de frequências para as variáveis em estudo, pelos dois métodos, gasometria arterial e capnometria, estão apresentados nas figuras 19 e 20.

Observa-se nessas figuras uma simetria (tipo distribuição normal), a frequência é mais alta no centro e decresce gradualmente para as caudas de maneira simétrica, ou seja, os dados se distribuem (aproximadamente) em torno de um valor central. A média e a mediana são aproximadamente iguais e localizam-se no centro do histograma (ponto de pico), nos dois métodos de coleta de informações adotados.

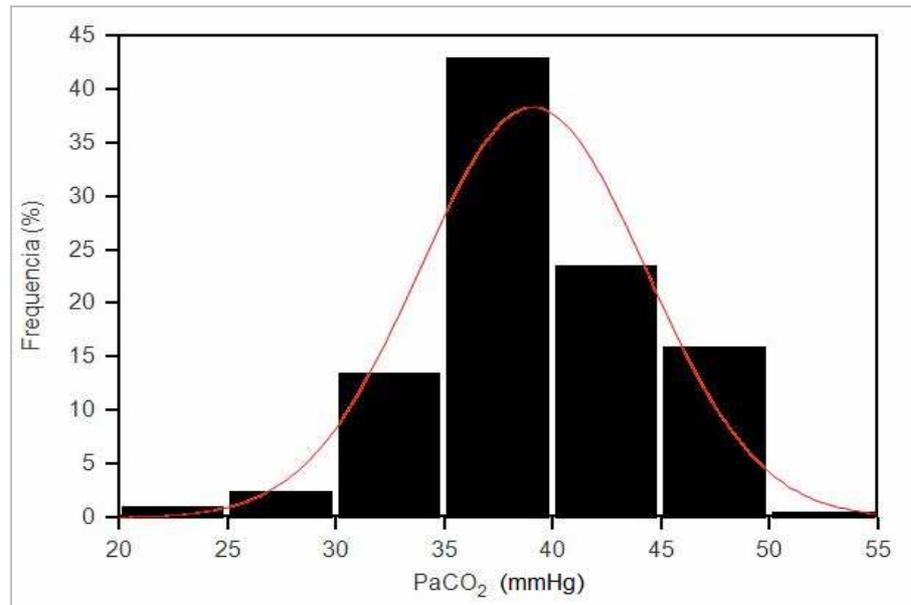


Figura 19 - Distribuição de frequências de PaCO₂ (mmHg) mensurada pela Gasometria Arterial.
Fonte: Própria.

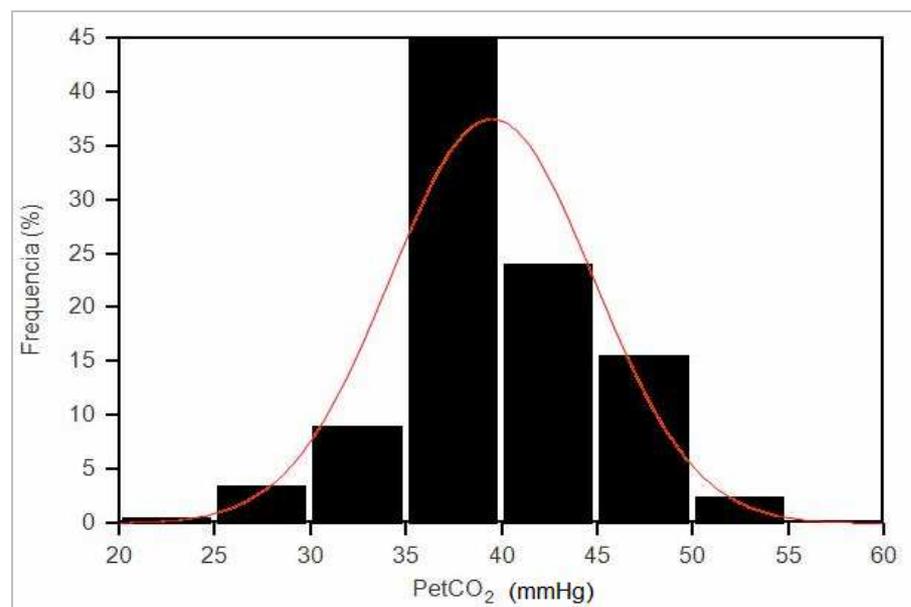


Figura 20 - Distribuição de frequência de PetCO₂ (mmHg) mensurada pela Capnometria.
Fonte: Própria.

Durante o período de ventilação prolongada os pacientes foram divididos em grupos, de acordo com a condição clínica respiratória: sem alteração respiratória, hipersecretivo, derrame pleural e atelectasia. As correlações entre PetCO₂ e PaCO₂ em pacientes ventilados de acordo com estes grupos são mostradas na tabela 12.

Tabela 12 - Correlação entre PetCO₂ e PaCO₂ baseada na condição clínica respiratória.

Condição	Sem alteração respiratória	Hipersecretivo	Derrame Pleural	Atelectasia
Mensuração (%)	124 (50,4)	53 (21,55)	26 (10,57)	43 (17,48)
PetCO ₂ (mmHg)				
- Limites	24 - 47,6	28 - 51,3	28,6 - 49,6	28,6 - 54,6
- Média ± SD	38,2 ± 4,7	40,8 ± 5,7	37,3 ± 5,5	43 ± 5,9
PaCO ₂ (mmHg)				
- Limites	23,5 - 48	28,6 - 49,6	28 - 48	24 - 52
- Média ± SD	38,1 ± 4,7	41 ± 5,8	36,9 ± 5,2	39,3 ± 6,1
Valor de r	0,98	0,96	0,91	0,86

Fonte: Própria.

Considerando todos os pacientes, 24,4% (60/246) dos pares as mensurações de PetCO₂ foram iguais às mensurações de PaCO₂, com média de 38,7 ± 4,15 mmHg. O valor de PetCO₂ foi inferior ao valor correspondente de PaCO₂ em 30,48% (75/246) dos pares, com um pequeno desvio médio de -0,9 ± 0,74 mmHg (PetCO₂ = 38,6 ± 5,28 mmHg e PaCO₂ = 39,5 ± 5,32 mmHg). Em 45,12% (111/178) dos pares as mensurações de PetCO₂ foram superiores à correspondente PaCO₂ com uma diferença média de 2,13 ± 1,84 mmHg (PetCO₂ = 40,53 ± 6,3 mmHg e PaCO₂ = 38,4 ± 5,98 mmHg).

As mensurações de PetCO₂ estavam dentro de 2 mmHg da correspondente PaCO₂ em 80,49% (198/246) dos pares, indicando uma forte relação. Valores entre 2 e 5 mmHg de diferença apareceu em 15,04% (37/246) dos casos (26 desses pacientes no grupo de atelectasia) no entanto, este resultado é considerado aceitável. Segundo estudos de Berkenbosh *et al.* (2001), um valor estimado de CO₂ em torno de 3-5 mmHg de diferença para PaCO₂ deve ser aceitável para a tomada de decisões clínicas. Mensurações acima de 5 mmHg de diferença ocorreram em 4,47% (11/246) dos pares, destes 10 casos pertenceram ao grupo de pacientes com atelectasia (figura 21).

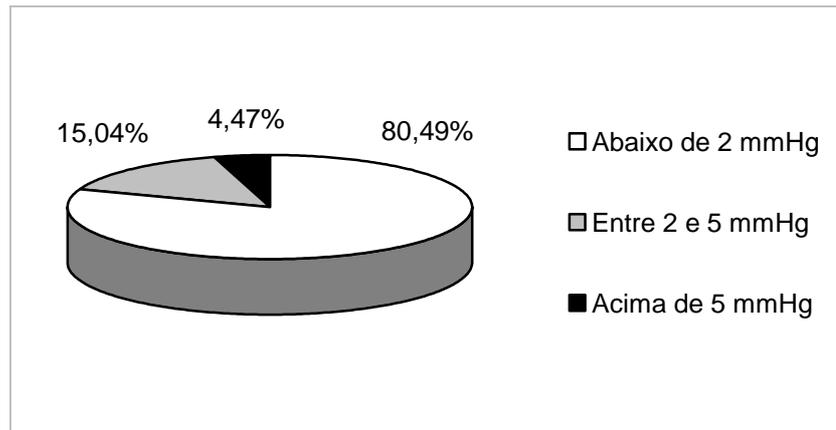


Figura 21 – Valores correspondentes à diferença entre a média de pressão arterial e expirada de dióxido de carbono.

Fonte: Própria.

Segundo King (2007), essa diferença superior a 5 mmHg em 10 dos 43 casos com atelectasia podem ter ocorrido pois nessa patologia o pulmão tem perfusão adequada, mas ventilação inadequada, condições que reduzem a ventilação alveolar, ou aumentam a produção de CO_2 , para este caso PetCO_2 pode subestimar PaCO_2 . Ainda assim, a diferença dos dois métodos para esse grupo foi pequena (5 mmHg) em grande parte dos pacientes. Apenas em 10 casos as diferenças dos valores foram superiores a 5 mmHg.

Uma razão para esses pacientes que apresentaram diferença entre ambos os métodos, superior a 5 mmHg, é o fato de apresentarem diagnóstico clínico de atelectasia lobar ou pulmonar total, diferentes dos outros casos de atelectasias menos graves. A atelectasia pulmonar gera um colapso de partes do pulmão ou, em alguns casos, de todo o pulmão, o que afeta gravemente a ventilação alveolar. Foi ainda observado, nesses pacientes, instabilidade nos dados vitais.

Em um adulto, essa atelectasia geralmente não é uma situação ameaçadora à vida, já que as partes do pulmão que não foram comprometidas fazem uma compensação da perda de função da área afetada. Por outro lado, a mesma situação em um lactente ou em uma criança pequena pode representar uma ameaça à vida (JOHNSTON e CARVALHO, 2008).

De acordo com Rasanen (1994) a utilização da PetCO_2 para monitorar a função ventilatória em pacientes em terapia ventilatória prolongada apresenta alguns problemas. As técnicas de ventilação usadas na UTI frequentemente combinam a ventilação espontânea e a mecânica em proporções variáveis, o que altera a razão

entre o espaço morto e o volume corrente, o qual, por sua vez, altera a relação entre PaCO_2 e a PetCO_2 , as alterações patológicas pulmonares dos pacientes geralmente têm efeitos similares. Quando se usa frequência do ventilador alta e pequeno volume corrente, como em lactentes e crianças pequenas, pode ser difícil colher corretamente uma amostra do gás ao final da expiração. Em consequência, a PetCO_2 pode subestimar a PaCO_2 consideravelmente.

Apesar de todas essas deficiências, acredita-se através desta pesquisa que a capnometria pode ser um método útil na UTI, particularmente em pacientes muito dependentes da ventilação mecânica. Através da calibração e manuseio adequado do equipamento e comparação com os valores da gasometria arterial, sua medida contínua e *on-line* constitui um método rápido para detectar o estado respiratório do paciente.

A PetCO_2 foi capaz de identificar 82% dos casos (68/83) em que a PaCO_2 estava abaixo de 35 mmHg, indicando hipocarbúria e acima de 45 mmHg (hipercarbúria). O método de capnometria foi capaz de identificar 39/47 dos casos de $\text{PaCO}_2 < 35$ mmHg e 29/36 dos casos de $\text{PaCO}_2 > 45$ mmHg.

O capnômetro não pode substituir totalmente a avaliação de gases no sangue, visto que a gasometria arterial fornece outros dados importantes que não podem ser avaliados pela capnometria, como: pressão arterial de oxigênio, bicarbonato, excesso de bases e a saturação de oxigênio da hemoglobina (GAMBAROTO, 2006). Ainda assim, este estudo mostra que a capnometria associada ou não com a oximetria de pulso pode reduzir as amostras de sangue que se repetem durante o dia apenas para manter a PaO_2 e PaCO_2 dentro do intervalo desejado, principalmente após o ajuste dos parâmetros no ventilador mecânico.

4.3 QUESTIONÁRIOS

Os resultados aqui descritos foram obtidos mediante livres respostas ao questionário por parte dos médicos responsáveis por UTIs (APÊNDICE A). Posteriormente ao recebimento do questionário respondido, uma seleção e apuração das respostas foi efetuada que permitiu elaborar esta seção do estudo.

Ao todo 17 hospitais abrangendo 26 UTIs, na região de Curitiba, foram contatados, destes 22 médicos responsáveis por UTIs de 13 hospitais concordaram

em participar da pesquisa. As características das UTIs que fazem parte do estudo estão presentes na tabela 13.

Tabela 13 - Características das UTIs que participaram do estudo.

Características (n = 22)	Valor
Médicos / Residentes	19 / 3
Público / Particular	10 / 12
UTI	
- Neonatal	8
- Pediátrica	4
- Adulto	7
- Mista	3
Média de leitos	14,2

Fonte: Própria.

De 22 médicos responsáveis por UTIs que concordaram em participar do estudo, apenas três não encaminharam o questionário respondido dentro do prazo. Assim, 19 (86,3%) de 22 médicos relacionados completaram todas as questões, finalizando este estudo com 19 questionários respondidos.

As características das UTIs quanto à disponibilidade do equipamento de mensuração de PetCO₂, estão descritas na tabela 14.

Tabela 14 – Descrição das UTIs quanto à disponibilidade de monitorização de PetCO₂.

n = 19	Sim	Não
UTI Neonatal	2 (10,5%)	5 (26,4%)
UTI Pediátrica	2 (10,5%)	1 (5,2%)
UTI Adulto	5 (26,4%)	2 (10,5%)
UTI Mista	-	2 (10,5%)
TOTAL	9 (47,4%)	10 (52,6%)

Fonte: Própria.

Nove (47,4%) dos médicos entrevistados responderam que a UTI na qual trabalham tem disponível algum equipamento de monitorização de PetCO₂, destes cinco (55,5%) possuem equipamentos que são compartilhados entre os leitos da mesma unidade, quatro (44,4%) os equipamentos são compartilhados entre UTIs diferentes e não houve UTI com monitorização de PetCO₂ disponível para os leitos de forma individual.

Em 2004, a Sociedade de Cuidados Críticos em Medicina lançou uma atualização das orientações para equipamentos e qualidade de monitoração no cuidado em UTI pediátrica. Entre as orientações mínimas, a indicação para o acompanhamento de PetCO₂ é essencial e está entre os equipamentos necessários para todos os pacientes atendidos em centros de cuidados intensivo pediátrico, além de ser indicado como um equipamento que deve ser mantido ao lado de cada leito, com o intuito de garantir a adequada assistência ao paciente (ROSENBERG e MOSS, 2004). Observando os resultados obtidos nessa seção, é possível notar que a orientação acima não tem sido cumprida nas UTIs avaliadas por esta pesquisa.

Em relação aos resultados segundo a tabela 6 do item 3.3, das nove UTIs com disponibilidade de monitoração de PetCO₂, 33,3% apresentam a monitorização de forma aceitável e 66,6% de forma inadequada, tendo em vista as orientações sugeridas para o cuidado do paciente em UTI através da utilização frequente do equipamento de mensuração de PetCO₂ tanto em pacientes sob ventilação mecânica quanto em espontânea, em diferentes situações clínicas (CHC, 1993; ROSENBERG e MOSS, 2004). Nenhuma UTI apresentou a somatória dos resultados entre a faixa de 21 – 28 pontos indicando uma monitorização de CO₂ exalado de forma adequada, sendo 12 o valor mais alto obtido nesse estudo.

Todos os nove médicos entrevistados que utilizam PetCO₂ (100%) concordaram que “frequentemente” os equipamentos de PetCO₂ são fáceis de manusear e “frequentemente” os resultados obtidos são fáceis de interpretar. Sete médicos (77,7%) responderam que apenas “às vezes” os resultados são precisos e confiáveis.

44,5% dos entrevistados afirmaram não ter disponível monitorização contínua de PetCO₂ para os pacientes em ventilação espontânea e outros 55,5% relataram que “às vezes” a mensuração é feita em pacientes após a extubação da prótese ventilatória.

Para as UTIs que apresentaram a monitorização de PetCO₂ disponível, a utilização corrente em várias situações clínicas é apresentada na tabela 15. Outra situação clínica em que essa tecnologia tem sido usada pelos entrevistados incluiu a monitorização durante o transporte de pacientes sob VMI dentro do próprio hospital.

Tabela 15 - Distribuição da frequência da aplicação da monitorização de PetCO₂ em UTIs de Curitiba, segundo as situações clínicas.

Situações Clínicas	Sempre	Frequentemente	Às vezes	Nunca
Confirmar a localização do tubo endotraqueal	-	-	-	100%
Ajustar os parâmetros do Ventilador Mecânico	-	-	100%	-
Avaliar Hipercapnia e Hipocapnia	-	-	100%	-
Verificar desordens ácido-base	-	-	77,7%	22,3%
Ressuscitação cardiopulmonar	-	-	-	100%

Fonte: Própria.

Entre os 10 médicos entrevistados (52,6%) que não realizam monitorização de PetCO₂, todos afirmaram que isso ocorre devido à falta de disponibilidade do equipamento, associado ao custo, falta de familiaridade com o método. Ainda cinco responderam ser devido à percepção de pobre evidência. Dos 10 médicos entrevistados, 100% relataram que a monitorização de pressão de CO₂ é efetuada apenas pelo método invasivo de gasometria arterial. Não houve resposta para os itens de mensuração transcutânea ou outros métodos. Oito dos 10 entrevistados afirmam possuir pouco conhecimento sobre os equipamentos de mensuração da PetCO₂, contudo 5 médicos (62,5%) relatam que saberiam manusear o equipamento caso estivesse disponível na UTI.

Dos entrevistados que não possuem equipamento de monitorização de PetCO₂, 80% estavam interessados em aprender mais sobre o método, através da forma preferida de informações *on-line* (60%).

Uma pergunta comum a todos os médicos independente se o equipamento de PetCO₂ está disponível ou não na UTI, foi se eles consideravam que o método possui utilidade na prática em UTI e 79% dos médicos acreditam que apenas “às vezes” os equipamentos de PetCO₂ são úteis e 21% acreditam que “frequentemente” são úteis. Nesta pergunta as respostas “sempre” ou “nunca” não foram assinaladas.

Os resultados obtidos nesta seção da pesquisa mostraram que os equipamentos de monitorização de PetCO₂ são pouco utilizados em UTI na cidade de Curitiba e quando utilizados são compartilhados entre leitos ou entre diferentes UTIs em um mesmo hospital. Este é um retrato diferente do encontrado por uma pesquisadora nos Estados Unidos que realizou um estudo similar com 42 diretores

de programas de cuidado crítico pediátrico e 88% dos entrevistados afirmaram que o acompanhamento contínuo de PetCO₂ para pacientes sob VMI está disponível em cada leito individual e apenas 12% compartilham o equipamento disponível com outras unidades no hospital. Entre os diferentes motivos para a utilização da monitoração de PetCO₂ está a confirmação da localização do tubo endotraqueal em 72,5%, ajuste dos parâmetros ventilatórios em 61,5%, o cuidado com moderada sedação em 40% e na ressuscitação cardiopulmonar em 49%. Segundo esse estudo todas as correspondentes UTIs pediátricas nos hospitais tinham monitores contínuos de PetCO₂ disponíveis como o recomendado nas normas de procedimentos da qualidade de monitorização em uma UTI (LANGHAN, 2009).

Segundo Carvalho *et al.* (2000) a capnometria é uma técnica muito útil, devendo ser aplicada sempre que possível, especialmente em pacientes neurológicos, com hipercapnia e naqueles submetidos a VMI. O II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica recomenda que se disponha de, ao menos, um capnômetro por unidade de serviço.

Auler e Carvalho (1992) afirmaram que a utilização da capnometria tem sido sugerida por aumentar a segurança do ato cirúrgico. É um meio não invasivo de detectar problemas que podem ocorrer durante a assistência respiratória como a desconexão do ventilador, intubação seletiva, embolia pulmonar e hipertermia. Quando utilizada em conjunto com a oximetria de pulso, a monitoração de todos os movimentos respiratórios confere extraordinária segurança ao paciente, melhorando incrivelmente a qualidade da assistência ventilatória.

Ainda que existam numerosas indicações da necessidade de mensuração de PetCO₂, principalmente em pacientes sob VMI e do paciente candidato ao desmame, se observa na prática que os equipamentos dificilmente são empregados ou não estão disponíveis na maioria dos serviços de terapia intensiva, quer por razões de limitação financeira, quer por razões de deficiência técnica ou porque a sua precisão em pacientes com alteração respiratória ainda está incerta, o que resulta em uma queda da qualidade de atendimento ao paciente, tornando o desmame um processo demasiadamente longo e com riscos de resultados imprevisíveis (EMMERICH, 1996; KODALI, 2008).

5 CONCLUSÃO

O estudo comparativo realizado nesta pesquisa mostrou que a correlação entre $P_{et}CO_2$ e $P_{a}CO_2$ mensurada é mais fraca do que com a $P_{a}CO_2$ corrigida. Isto sugere que a variabilidade na $P(a-et)CO_2$, a fraca correlação entre $P_{a}CO_2$ e $P_{et}CO_2$ e as limitações na obtenção de medições precisas de CO_2 no ar expirado, resultado encontrado em vários estudos passados, poderiam ser resultado das flutuações da temperatura, quando a $P_{a}CO_2$ não foi corrigida.

Neste estudo observou-se que o uso de $P_{a}CO_2$ mensurada para o cálculo da $P(a-et)CO_2$, em lactentes e crianças de até 4 anos de idade sob ventilação mecânica no período pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca, resulta em um aumento da $P(a-et)CO_2$. Em contraste, $P(a-et)CO_2$ não muda durante a hipotermia e hipertermia quando a $P_{a}CO_2$ corrigida foi utilizada para o cálculo. Além disso, a correlação de $P_{et}CO_2$ com $P_{a}CO_2$ corrigida foi mais forte do que com a $P_{a}CO_2$ mensurada. Assim, a $P_{et}CO_2$ reflete a $P_{a}CO_2$ corrigida pela temperatura real do paciente de forma mais adequada do que a $P_{a}CO_2$ mensurada a 37 °C, que é o modo em que normalmente a PCO_2 arterial é aferida em UTIs.

Através dos resultados aqui obtidos, sugere-se que as equipes de UTI adotem um protocolo de procedimento de monitorização se a temperatura do paciente for inferior a 36,3 °C ou superior a 37,3 °C, nesses casos colocando o valor real da temperatura no analisador gasométrico e utilizando para tomada de decisões clínicas os valores corrigidos da $P_{a}CO_2$, evitando assim maiores complicações por se tratar de um paciente em estado crítico.

Com o intuito de reduzir o risco de ajustes inadequados nos parâmetros do equipamento de ventilação mecânica, quando não é possível colocar o valor real da temperatura corporal no analisador gasométrico, sugere-se então, a monitorização de $P_{et}CO_2$, visto que a mensuração de pressão de dióxido de carbono exalado em pacientes com instabilidade térmica é mais precisa do que quando $P_{a}CO_2$ não corrigida.

Ainda, através deste estudo foi possível concluir que existe uma grande correlação e nível de concordância entre $P_{et}CO_2$ e $P_{a}CO_2$ em pacientes entre 2 dias e 3 anos de idade no pós-operatório de cirurgia cardíaca sob VMI prolongada, considerando um período máximo de 8 dias em prótese ventilatória.

O nível de correlação entre todos os pacientes, no grupo 2, foi elevado e, mesmo quando os pacientes são separados entre grupos com igualdade de condição clínica respiratória, os valores de comparação entre PetCO₂ e PaCO₂ mantêm-se confiáveis, com exceção dos 10 pares de amostra em pacientes com atelectasia do tipo total, provavelmente pelo comprometimento e gravidade alveolar.

A PetCO₂ forneceu estimativas precisas da PaCO₂ em 198 dos 246 pares de amostras, mantendo os valores de PetCO₂ dentro de 2 mmHg de diferença da correspondente PaCO₂. Mesmo em casos de hipocarbica (abaixo de 35 mmHg) e hipercapnia (acima de 45 mmHg) os métodos foram fortemente correlacionados.

Através do questionário entregue aos médicos responsáveis por UTIs na cidade de Curitiba, foi possível concluir que o método de mensuração de PetCO₂ se encontra disponível em poucos hospitais e quando disponível é compartilhado entre os pacientes ou entre as UTIs do hospital. Além da falta de disponibilidade, o equipamento é restritamente utilizado em situações como ajuste dos parâmetros do ventilador, avaliar hipo e hipercapnia e com menos frequência para verificar as desordens ácido-base. A ampla utilização do equipamento de PetCO₂ em pacientes sob VMI e ventilação espontânea em diversas situações clínicas encontradas na literatura científica não são realizadas na prática hospitalar, seja por motivos financeiros ou falta de familiaridade com o dispositivo.

Conclui-se que o método de Capnometria pode orientar os médicos para o ajuste dos parâmetros da ventilação mecânica, permitindo a manipulação mínima de lactentes e crianças criticamente enfermos e principalmente minimizando a perda sanguínea.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Como limitação do estudo, é pertinente ressaltar que, algumas literaturas indicam a monitorização da temperatura corporal central, através da artéria pulmonar, membrana timpânica, esôfago distal ou nasofaringe, mensurada principalmente através dos termômetros esofageanos, infravermelho timpânico, cateter na artéria pulmonar e outros, com o resultado mais preciso da temperatura do paciente. Acredita-se ainda que a temperatura corporal central possa ser alguns graus Celsius acima da temperatura corporal periférica e que a temperatura retal

seja considerada a mais próxima da temperatura central e a menos influenciada pelas variações da temperatura externa.

Mesmo assim utilizou-se a temperatura corporal periférica, obtida através de um termômetro infravermelho digital que verifica a variação térmica detectada pela pele, como método de mensuração da temperatura. Essa alternativa foi escolhida após análise da rotina de monitorização da temperatura na prática clínica em UTI, especialmente a UTI utilizada nesse estudo, onde a instabilidade térmica é mensurada a cada quatro horas através de um termômetro digital posicionado na região axilar, não existindo termômetros esofágicos ou retais disponíveis para os pacientes de forma individual. Objetivou-se determinar uma metodologia de trabalho no qual os resultados pudessem ser significativos e pudessem ser reproduzidos na prática de monitorização ventilatória, dentro dos limites de equipamentos que a própria UTI apresenta. Outra razão para o uso do termômetro digital axilar, utilizado nessa pesquisa, é a sua precisão de $\pm 0,1$ °C considerado na literatura, como um requisito importante para a exatidão dos valores mensurados.

Apresenta-se como outra limitação do estudo a ampla variedade de doenças de base e correções cirúrgicas, que podem influenciar nos resultados, tendo em vista que todos os pacientes estavam em pós-operatório de cirurgia cardíaca, porém algumas cirurgias eram corretivas e outras paliativas. Para levar em conta tais diferenças e avaliar os pacientes separadamente de acordo com as características acima, se faz necessário a ampliação desta pesquisa, utilizando-se um número maior de pacientes sob ventilação mecânica invasiva.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Os resultados deste estudo sugerem novos trabalhos que incorporem à literatura a prática clínica de uma UTI neonatal e pediátrica.

Sugere-se, sobretudo, acompanhar os pacientes no desmame da prótese ventilatória, fazendo uso do capnômetro em pacientes respirando espontaneamente, tendo em vista que uma monitorização contínua da função ventilatória facilitaria o controle deste paciente no manejo imediato, caso haja uma piora do quadro respiratório, evitando assim o retorno à prótese ventilatória, comum em lactentes na fase de recuperação da cirurgia cardíaca. Nesse caso, existe a necessidade do desenvolvimento de uma técnica capaz de mensurar o dióxido de carbono exalado

em lactentes, pois as técnicas utilizadas atualmente conectam o equipamento ao paciente através de um cateter modificado, e este método possui precisão apenas em crianças maiores e adultos.

Sugere-se observar os valores de $P_{et}CO_2$ e $P_{a}CO_2$ em relação ao modo do suporte ventilatório, visto que em alguns pacientes tratados com a SIMV pode-se observar um efeito da ventilação espontânea e mecânica em proporções variáveis, o que altera a razão entre o espaço morto e o VC, o qual, por sua vez, poderia alterar a relação entre a $P_{a}CO_2$ e a $P_{et}CO_2$.

Sugere-se ainda, para trabalhos futuros, reunir equipes de enfermeiros e médicos responsáveis por UTIs neonatais e pediátricas e repassar todos os resultados obtidos através deste estudo, principalmente em relação ao questionário e exaltar as importâncias e vantagens do método de capnometria e principalmente as aplicações clínicas em que este método pode ser empregado.

5.3 PUBLICAÇÕES

RASERA, Carmen C.; GEWEHR, Pedro M.; DOMINGUES, Adriana M. T.; FARIA Jr., Fernando. Measurement of end-tidal carbon dioxide in spontaneously breathing children after cardiac surgery. Submetido em 01/11/2009 a **American Journal of Critical Care**.

RASERA, Carmen C.; GEWEHR, Pedro M.; DOMINGUES, Adriana M. T.; FARIA Jr., Fernando. The effect of temperature on the accuracy of end-tidal carbon dioxide as a predictor of the arterial carbon dioxide pressure in infants and children after cardiac surgery. Submetido em 05/02/2010 a Revista **Measurement (London)**.

RASERA, Carmen C.; GEWEHR, Pedro M.; DOMINGUES, Adriana M. T. The relationship between the arterial to end-tidal carbon dioxide difference and hemoglobin saturation in infants and children under mechanical ventilation. **ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference**, 2010, Vitória / ES.

RASERA, Carmen C.; GEWEHR, Pedro M.; DOMINGUES, Adriana M. T. Accuracy of end tidal carbon dioxide measurement in infants and children under prolonged mechanic. **Primer Congreso de Bioingeniería**, 2009, Costa Rica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELHA, Fernando *et al.* Hypothermia in a surgical intensive care unit. **BMC Anesthesiology**, v. 5, n. 7, p. 1-10, jun. 2005.
- ABELLAN, Deipara M.; AULER, José O. C. Pós-operatório das cardiopatias congênitas. In: FERREIRA, Antonio C. P.; TROSTER, Eduardo J. **Atualização em Terapia Intensiva Pediátrica**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996. p. 294-313.
- ALCANTARA, Paulo S. M. de. Cirurgia Paliativa. In: OLIVEIRA, Reinaldo A. (coord.) **Cuidado Paliativo**. São Paulo: CREMESP, 2008. p 309-336.
- AMARAL, José L. G. do, *et al.* Monitorização da Respiração: Oximetria e Capnografia. **Rev. Bras. Anest.**, v. 42, n. 1, p. 51-58, jan. 1992.
- AMERICAN HEART ASSOCIATION (AHA). Disponível em: www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=158. Acesso em: 10 dez. 2009.
- AMERICAN HEART ASSOCIATION (AHA). Disponível em: www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=3007586. Acesso em: 10 dez. 2009.
- ANDERSON, Cynthia T.; BREEN, Peter H. Carbon dioxide kinetics and capnography during critical care. **Crit. Care**, v. 4, n. 4, p. 207-215, maio 2000.
- ANDRITSCH, Robert F.; MURAVCHICK, Stanley; GOLD, Martin I. Temperature Correction of Arterial Blood-Gas Parameters. **Anesthesiology**, v. 55, n. 3, p. 311-316, setembro 1981.
- ANGELO, Marco A. F. *et al.* Métodos essenciais de ventilação mecânica. In: _____. II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.
- ASCIONE, Raimondo *et al.* Inflammatory response after coronary revascularization with or without cardiopulmonary bypass. **Ann. Thorac. Surg.**, v. 69, p. 1189-1204, 2000.
- ASHWOOD, Edward R.; KOST, Gerald; KENNY, Margaret. Temperature Correction of blood-gas and pH Measurement. **Clin. Chem.**, v. 29, n. 11, p. 1877-1885, 1983.
- ASPLIN, Brent R.; WHITE, Roger D. Prognostic value of end-tidal carbon dioxide pressures during out-of-hospital cardiac arrest. **Annals of Emergency Medicine**, v. 25, n. 6, p. 767-761, junho 1995.
- AULER Jr, José O. C. *et al.* Estudo comparativo entre CO₂ obtido por Capnografia e Gasometria no pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 40, n. 5, p. 311-318, set. 1990.
- AULER Jr, José O. C.; CARVALHO, Maria J. de. Monitorização Respiratória. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 42, n. 1, p. 41-49, jan. 1992.
- AULER Jr., José O. C. *et al.* Ventilação Mecânica intra e pós-operatória. In: _____. II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.
- AULER Jr., José O. C. *et al.* Ventilação Mecânica no intra-operatório. **RBTI**, v. 19, n. 3, p. 393-398, julho 2007.

AVENA, Marta J. Monitorização Respiratória. In: FERREIRA, Antonio C. P.; TROSTER, Eduardo J. **Atualização em Terapia Intensiva Pediátrica**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996. p. 98-103.

AZEREDO, Carlos A. C.; MOURA, Oseas F. de; GURGEL, Francisco O. Uma abordagem multidisciplinar essencial na assistência ventilatória atual. In: AZEREDO, Carlos A. C. **Técnicas para o desmame do ventilador mecânico**. Barueri: Manole, 2002. p. 1-11.

BANNER, Michael J.; LAMPOTANG, Samsun. Fundamentos dos Ventiladores Mecânicos. In: STOCK, Christine M. **Manual de Mecanismo do Suporte Ventilatório**. Rio de Janeiro: Medsi, 1994. p. 7-25.

BARBERO-MARCIAL, Miguel. Aspectos especiais da cirurgia cardíaca infantil. In: STOLF, Noedir A. G.; ZERBINI, Euclides de J. **Pós-operatório em cirurgia cardíaca**. São Paulo: Sarvier, 1979. p. 151-165.

BARRETO, Sérgio S. M. *et al.* Indicações de ventilação mecânica invasiva com pressão positiva. In: _____. II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.

BELPOMME, Vanessa *et al.* Correlation of arterial PCO₂ and PetCO₂ in prehospital controlled ventilation. **American Journal of Emergency Medicine**, v. 23, p. 852-859, junho 2005.

BERKENBOSH, John W. *et al.* Noninvasive monitoring of carbon dioxide during mechanical ventilation in older children: end-tidal versus transcutaneous techniques. **Pediatric Anesthesia**, v. 92, n. 6, p. 1427-1431, junho 2001.

BHAT, Ramesh Y.; ABHISHEK, N. Mainstream end-tidal carbon dioxide monitoring in ventilated neonates. **Singapore Med. J.**, v. 49, n. 3, p. 199-203, 2008.

BISSON, Jamie; YOUNKER, Jackie. Correcting arterial blood gases for temperature: (when) is it clinically significant? **Nursing in Critical Care**, v. 11, n. 5, p. 232-238, 2006.

BLAND, Martin J.; ALTMAN, Douglas G. Measurement in Medicine: the analysis of method comparison studies. **The Statistician**, v. 32, p. 307-317, 1983.

BLAND, Martin J.; ALTMAN, Douglas G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, v. 32, p. 307-310, 1986.

BLOM, J. A. **Monitoring of Respiration and Circulation**. USA: CRC Press, 2004.

BONASSA, Jorge. Princípios básicos dos ventiladores artificiais. In: Carvalho, Carlos R. R. **Ventilação Mecânica: básico**. São Paulo: Atheneu, 2000. p. 69-124.

BRAZ, J. R. C. *et al.* Capnometria com cateter nasal em pacientes com respiração espontânea. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 45, p. 83-87, 1995.

BRAZ, José R. C. Monitorização da oxigenação. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 46, n. 3, p. 223-249, maio 1996.

CABRAL, Sérgio A. Ventilação Neonatal. In: GONÇALVES, João de L. **Ventilação Artificial**. Curitiba: Lovise, 1991. p. 219-225.

CALLEGARI-JACQUES, Sídia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CARSON, Shannon S. *et al.* Outcomes after long-term acute care. An Analysis of 133 mechanically ventilated patients. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 159, n. 5, p. 1568-1573, maio 1999.

CARVALHO, Carlos R. Controle do Paciente em Ventilação Mecânica. In: DAVID, Cid. **Ventilação Mecânica: da fisiologia ao Consenso Brasileiro**. Rio de Janeiro: Revinter, 1996. p. 179-184.

CARVALHO, Wether B. *et al.* **Manual de Terapia Intensiva Pediátrica**. São Paulo: Atheneu, 1996.

CARVALHO, Carlos R. *et al.* Controle do Paciente em Ventilação Mecânica. In: _____. II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.

CAT, Izrail; GIRALDI, Dinarte J. **Terapia Intensiva e Reanimatologia Pediátrica**. Curitiba: UFPR, 1983.

COMMITTEE ON HOSPITAL CARE (CHC); Pediatric Section of the Society of Critical Care Medicine. Guidelines and Levels of Care for Pediatric Intensive Care Units. **Pediatrics**, v. 92, n. 1, p. 166-175, julho 1993.

COSTA, Joicely M. da. **Importância da ecocardiografia com contraste por microbolhas em imagem fundamental na avaliação de pacientes sob ventilação mecânica no período pós-operatório de cirurgia cardíaca**. 2006. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Medicina da Universidade de SP, São Paulo, 2006.

DAMAS, Bruna G. B.; RAMOS, Carolina A.; REZENDE, Magda A. Necessidade de informação a pais de crianças portadoras de cardiopatia congênita. **Rev. Bras. Crescimento Desenvolvimento Humano**, v. 19, n. 1, p. 103-113, 2009.

DONATI, François *et al.* End-tidal carbon dioxide tension and temperature changes after coronary artery bypass surgery. **Canadian Anaesthetists Society Journal**, v. 32, n. 3, p. 272-277, 1985.

EMMA EMERGENCY. **Manual do Capnômetro**. Sweden: Phaseim Medical Technologies, 2006, 33 p.

EMMERICH, João C. **Monitorização Respiratória: fundamentos**. Rio de Janeiro: Revinter, 1996.

EMMERICH, João C. **Suporte Ventilatório: conceitos atuais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revinter, 1998.

ESCHERTZHUBER, Stephan *et al.* Verifying correct endotracheal intubation by measurement of end-tidal carbon dioxide during an ex utero intrapartum treatment procedure. **Anesth. Analg.**, v. 101, p. 658-660, 2005.

FARIA, Lucilia S.; TROSTER, Eduardo J.; BAENINGER, Rosemary. Ventilação Mecânica. In: STAPE, Adalberto. **Manual de Normas Terapia Intensiva Pediátrica**. São Paulo: Savier, 1998. p. 114-126.

FERGUSON, Leonard W. A study of the Likert Technique of attitude scale construction. **Journal of Social Psychology**, v. 13, p. 51-57, 1941.

FRAZIER, Suzan K. *et al.* Hemodynamic changes during discontinuation of mechanical ventilation in medical intensive care unit patients. **American Journal of Critical Care**, v. 15, n. 6, p. 580-593, 2006.

GAMBAROTO, Gilberto. **Fisioterapia Respiratória: em unidade de terapia intensiva**. São Paulo: Atheneu, 2006.

GONÇALVES, João de L. Gasometria Arterial. In: GONÇALVES, João de L. **Ventilação Artificial**. Curitiba: Lovise, 1991. p. 371-381.

GRMEC, Stefec; LAH Katja; TUSEK-BUNC Ksenija. Difference in end-tidal CO₂ between asphyxia cardiac arrest and ventricular fibrillation/pulseless ventricular tachycardia cardiac arrest in the prehospital setting. **Critical Care**, v. 7, n. 6, p. 139-144, dez. 2003.

GUIA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA (UNL). Disponível em: www.unl.pt/guia/2009. Acesso em: 15 dez. 2009.

GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. **Textbook of Medical Physiology**. Philadelphia: WB Saunders, 2000.

HANSEN, D. *et al.* The alveolar-arterial difference in oxygen tension increases with temperature-corrected determination during moderate hypothermia. **Anesth. Analg.**, v. 88, p. 538-542, 1999.

HILLIER, Simon C. *et al.* Accuracy of end-tidal PCO₂ measurements using a sidestream capnometer in infants and children ventilated with the Sechrist infant ventilator. **Can. J. Anaesth.**, v. 37, n. 3, p. 318-321, abril 1990.

HIRAKATA, Vânia; CAMEY, Suzi A. Análise de concordância entre métodos de Bland-Altman. **Rev. HCPA**, v. 29, n. 3, p. 261-268, 2009.

HOFFMANN, Rodolfo; VIEIRA, Sônia. **Análise de Regressão: Uma introdução à econometria**. São Paulo: Hucitec, 1977.

HOFFMANN, Julien I. E.; KAPLAN, Samuel. The incidence of congenital heart disease. **Journal of the American College of Cardiology**, Califórnia, v. 39, n. 12, p. 1890-1900, junho 2002.

HOHN, L. *et al.* Benefits of intraoperative skin surface warming in cardiac surgical patients. **British Journal of Anaesthesia**, v. 80, p. 318-323, 1998.

IRWIN, Scott; TECKLIN, Jan S. **Fisioterapia Cardiopulmonar**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1996.

JOÃO, Paulo R. D.; FARIA, Jr. Fernando. Cuidados imediatos no pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 2, p. 213-222, 2003.

JOHNSTON, Cíntia; CARVALHO, Werther B. de. Atelectasias em Pediatria: mecanismos, diagnóstico e tratamento. **Rev. Assoc. Med. Bras.**, v. 54, n. 5, p. 455-460, 2008.

KARCIOGLU, Ozgur; KARCIOGLU Yasemin. Role of end-tidal CO₂ monitoring in patients intubated and resuscitated in the emergency department. **Turk. J. Med. Sci.**, v. 30, p. 475-478, 2000.

KING, Christopher. **Pediatric Emergency Procedures**. USA: Lippincott, 2007.

KOBINGER, Maria E. B. A. Avaliação do sopro cardíaco na infância. **J. Pediatr.**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 1, p. 87-96, 2003.

KODALI, Bhavani S. **Capnography in Pediatrics**. Disponível em: www.capnography.com/new. Acesso em: 05 jan. 2008.

KONGSAYREEPONG, Suneerat *et al.* Predictor of core hypothermia and the surgical intensive care unit. **Anesth. Analg.**, v. 96, p. 826-833, 2003.

LAHAT, N. *et al.* Serum levels of IL-1, IL-6, and tumour necrosis factors in patients undergoing coronary artery bypass grafts or cholecystectomy. **Clin. Exp. Immunol.**, v. 89, p. 255-260, 1992.

LANGHAN, Melissa L.; CHEN, Lei. Current utilization of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring in pediatric emergency departments. **Pediatric Emergency Care**, v. 24, p. 211-213, 2008.

LANGHAN, Melissa L. Continuous end-tidal carbon dioxide monitoring in pediatric intensive care units. **Journal of Critical Care**, v. 24, p. 227-230, 2009.

LENZ, Gunther; HEIPERTZ, Wolfram; EPPLE, Erich. Capnometry for continuous postoperative monitoring of nonintubated, spontaneously breathing patients. **J. Clin. Monit. Comput.**, v. 7, p. 245-248, 1991.

LEVINE, R. L. End-tidal CO₂: Physiology in pursuit of clinical applications. **Intensive Care Med.**, v. 26, p. 1595-1597, 2000.

MANO, Reinaldo. Anamnese Cardiológica: A Cianose. **Manuais de Cardiologia**. Rio de Janeiro, nov. 2004. Disponível em: www.manuaisdecardiologia.med.br/Semiologia. Acesso em: 12 mar. 2009.

MARINO, B. L.; BRIEN, P.; LORE, H. Oxigen saturations durin breast and bottle feedings in infants with congenital heart disease. **J. Ped. Nursing**, v. 19, p. 175-179, 1995.

MARTINS, Gilberto A. **Estatística Geral e Aplicada**. São Paulo: Atlas, 2001.

MATIAS, Alberto B.; DAUBERMANN, Elaine C.; RICI, Emerson T.G. Inadimplência não é insolvência: um estudo conceitual e empírico com uma abordagem macrofinanceira. **FACEF Pesquisa**, v. 12, n. 1, p. 52-62, 2009.

McCOLLOUGH, Maureen; SHARIEFF, Ghazala Q. Common complaints in the first 30 days of life. **Emergency medicine clinics of North America**, v. 20, n. 1, p. 27-48, fev. 2002.

MEDCALC STATISTICAL SOFTWARE. Disponível em: www.medcalc.be/index.php. Acesso em: 02 jan. 2009.

MELLO, Jaqueline D.; BUTANI, Manju. Capnography. **Indian Jornal of Anaesthesia**, v. 46, n. 4, p. 269-278, ago. 2002.

MENDES, R. G. *et al.* A influência das técnicas de intervenção fisioterapêutica e da pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP) no pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 297-303, 2005.

MIYAKE, R. S.; REIS, A. G.; GRISI, S. Sedação e Analgesia em crianças. **Rev. Ass. Med. Brasil**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 56-64, 1998.

MONTE, Luciana F. V. *et al.* Displasia Broncopulmonar. **J. Pediatr.**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 2, p. 99-110, março 2005.

NACUL, Flavio E. Analgesia e sedação durante o suporte ventilatório. In: DAVID, Cid. **Ventilação Mecânica: da fisiologia ao consenso brasileiro**. Rio de Janeiro: Revinter, 1996. p. 257-263.

NASCIMENTO, Maurício S.; BERNARDES, Cassiano F.; MEDEIROS, Roberta L. Hipercapnia acentuada durante circulação extracorpórea em cirurgia para revascularização do miocárdio. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 52, n. 2, p. 231-235, março 2002.

NOZAWA, Emilia *et al.* Avaliação de fatores que influenciam no desmame de pacientes em ventilação mecânica prolongada após cirurgia cardíaca. **Arq. Bras. Cardiol.**, São Paulo, v. 80, n. 3, p. 301-305, 2003.

OLIVEIRA, Nilton F.; LEE, June H. Ventilação Pulmonar Mecânica: indicações, complicações e retirada progressiva. In: FERREIRA, Antonio C. P.; TROSTER, Eduardo D. **Atualização em Terapia Intensiva Pediátrica**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996. p. 187-201.

PAIVA, Dulciane N.; PITT, Cíntia. Avaliação da perda da função pulmonar após cirurgia torácica. **Revista de Fisio&terapia**, v. 37, n. VII, p. 9-10, fev. 2003.

PAZZIANOTTO-FORTI, Eli M.; NALETO, Maria C. C.; GIGLIOLI, M. O. A eficácia de pressão contínua nas vias aéreas (CPAP), com utilização do bird mark 7, em pacientes em pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 31-35, jan. 2002.

PENHA, Nárima L. J.; OLIVEIRA, Sandra C.; PEREIRA, Danilo F. Análise de correlação entre comportamentos de matrizes pesadas e variáveis ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 3, p. 209-217, set. 2007.

PIVA, Jefferson P.; GARCIA, Pedro C. R. Ventilação mecânica em pediatria. In: PIVA, Jefferson P.; CARVALHO, Paulo; GARCIA, Pedro C. **Terapia Intensiva em Pediatria**. 3. ed. Rio de Janeiro: Medsi, 1992. p. 235-259.

PIVA, Jefferson P.; PROENÇA, José O. Métodos de ventilação mecânica no paciente pediátrico. In: _____. II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.

POKORNÁ, Milana; ANDRLÍK, Michal; NECAS, E. End tidal CO₂ monitoring in condition of constant ventilation: a useful guide during advanced cardiac life support. **Prague Medical Report**, v. 107, p. 317-326, 2006.

POSTIAUX, Guy. **Fisioterapia Respiratória Pediátrica: o tratamento guiado por ausculta pulmonar**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

PRASAD, Rajnish *et al.* Arterial Blood Gas: Basics and Interpretation. **Pulmon.**, v. 9, n. 3, p. 82-87, 2007.

PROENÇA, José O. Modos de Ventilação Mecânica. In: FERREIRA, Antonio C. P.; TROSTER, Eduardo J. **Atualização em Terapia Intensiva Pediátrica**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996. p. 207-216.

RASANEN, Jukka. Monitorização durante suporte ventilatório. In: Stock, Christiane M. **Manual de Mecanismo do Suporte Ventilatório**. Rio de Janeiro: Medsi, 1994. p. 37-49.

REIS, Cássio P.; TORRES, Rodrigo V.; ALMEIDA, Silvia dos S. O problema da estimação em modelos com erros nas variáveis: estudo do volume de árvores Quaruba. **SPOLM**, Rio de Janeiro, agosto 2009.

RIBEIRO-SILVA, Alfredo; SILVA, Geruza A. Trocas Gasosas Intrapulmonares sob Respiração em ar Ambiente em Pacientes Hipercapneicos. **Rev. Assoc. Med. Bras.**, v. 50, n. 1, p. 32-36, 2004.

RIELLA, Caroline L. **Sistema de apoio à decisão na monitoração do paciente em assistência ventilatória invasiva**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Saúde) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007.

RIVERA, Ivan R. *et al.* Cardiopatia Congênita no Recém-Nascido: da solicitação do pediatra à avaliação do cardiologista. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 89, n. 1, p. 6-10, 2007.

ROSENBERG, David I.; MOSS, Michele M. Seção em Cuidados Críticos e Comitê nos Cuidados Hospitalares. Guidelines and Levels of Care for Pediatric Intensive Care Units. **Pediatrics**, v. 114, n. 4, p. 1114-1125, out. 2004.

RUSSELL, Garfield B.; GRAYBEAL, John M.; STROUT, Jonathon C. Stability of arterial to end-tidal carbon dioxide gradients during postoperative cardiorespiratory support. **Can. J. Anaesth.**, v. 37, n. 5, p. 560-566, 1990.

SCHERER, Leonora; GUARAGNA, João C. V. C.; BERLEZE, Diovanne. Suporte ventilatório e complicações respiratórias no pós-operatório de cirurgia cardíaca. In: GUARAGNA, João C. V. C. **Pós-operatório em cirurgia cardíaca**. Rio de Janeiro: Medsi, 2005. p. 55-65.

SCHWAN, Mariana T.; DALVIN, Raquel P.; DUARTE, Halina. Alteração da função pulmonar e atuação fisioterapêutica em pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Fisiobrasil**, v. 78, n. 10, p. 30-41, julho 2006.

SENRA, Dante F.; IASBECH, José A.; OLIVEIRA, Sérgio A. Pós-operatório em cirurgia cardíaca de adultos, **Rev. Soc. Cardiol.**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 446-454, maio 1998.

SESSLER, Daniel I. Perioperative heat balance. **Anesthesiology**, v. 92, n. 2, p. 578-596, fev. 2000.

SEVERINGHAUS, John W.; ASTRUP, Poul; MURRAY, John F. Blood Gas Analysis and Critical Care Medicine. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 157, p. 114-122, 1998.

SEVERINGHAUS, John W. First electrodes for blood PO₂ and PCO₂ determination. **J. Appl. Physiol.**, v. 97, p. 1599-1600, 2004.

SIBBALD, Willian J. **Compêndio de terapia intensiva**. 3. ed. Rio de Janeiro: Revinter, 1990.

SILVA, Sérgio M. da; *et al.* Resolução do “shunt” direita-esquerda após uso do sildenafil como tratamento de hipertensão pulmonar primária. **J. Pneumologia**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 305-308, set. 2003.

SILVA, Ronaldo A. da; *et al.* Barotrauma durante transporte para o centro cirúrgico. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 123, p. 16-16, 2005.

SILVA, Antonio A. M. **Apostila de Bioestatística**. 2008. 92 f. (Pós-Graduação em Patologia) Fundação Oswaldo Cruz - Centro de Pesquisa Gonçalo Moniz, Salvador (BA), 2008.

SINGH, Soraisham A.; SINGHAL, Nalini. Does end-tidal carbon dioxide measurement correlate with arterial carbon dioxide in extremely low birth weight infants in the first week of life? **Indian. Pediatrics**, v. 43, p. 20-25, jan. 2006.

SITZWOHL, Christian *et al.* The arterial to end-tidal carbon dioxide gradient increases with uncorrected but not with temperature-corrected PaCO₂ determination during mild to moderate hypothermia. **Anesth. Analg.**, v. 86, p. 1131-1136, 1998.

SOUZA, André L.; FREITAS, Poliane C.; LINS, Roberta. Cardiopatias Congênitas: Fisiopatologia e tratamento. **FASEH**, Minas Gerais, 2005. Disponível em: www.faseh.edu.br/publicacoes/trabalhos/fisioterapia. Acesso em: 10 nov. 2009.

SOUZA, Maria H. L.; ELIAS, Décio O. **Fundamentos da Circulação Extracorpórea**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Editorial Alfa Rio, 2006.

STRACHMAN, Ismar; MADUREIRA, José R. A.; EGGERS, Maria V. Pós-Operatório de Cirurgia Cardíaca. In: PIVA, Jefferson P.; CARVALHO, Paulo; GARCIA, Pedro C. **Terapia Intensiva em Pediatria**. 3. ed. Rio de Janeiro: Medsi, 1992. p. 725-749.

SULDOSKI, Mônica T. **Determinação da SO₂ através da Oximetria de pulso e Gasometria arterial em pacientes sob ventilação mecânica**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

TERRA, João. Avaliação Laboratorial da Função Pulmonar. **Medicina**, Ribeirão Preto, v. 31, p. 191-207, abril 1998.

TROSTER, Eduardo J.; FARIA, Lucilia S.; TALERMAN, Claudia. Monitorização Respiratória. In: STAPE, Adalberto. **Manual de Normas Terapia Intensiva Pediátrica**. São Paulo: Sarvier, 1998. p. 126-129.

THONG, Weng Y. *et al.* Hyperthermia in the forty-eight hours after cardiopulmonary bypass. **Anesth. Analg.**, v. 95, p. 1489-1495, 2002.

VARGESE, Jain H. Use of disposable end tidal carbon dioxide detector device for checking endotracheal tube placement. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, v. 1, n. 1, p. 10-16, junho 2007.

VIEGAS, Carlos A. A. Gasometria Arterial. **J. Pneumol.**, v. 28, n. 3, p. 233-238, outubro 2002.

VIGUÉ, Bernard *et al.* Relationship between intracranial pressure, mild hypothermia and temperature-corrected PaCO₂ in patients with traumatic brain injury. **Intensive Care Med.**, v. 26, p. 722-728, 2000.

VRIES, Jaap W.; PLOTZ, Frans B.; VAN VUGHT, Johannes A. Pulse oximeter-enhanced accuracy of capnometry in children with cyanotic heart disease. **Intensive Care Med.**, v. 22, p. 1336-1339, julho 2002.

WAHLEN, B. M.; BEY, T.; WOLKE, B. B. Measurement of end-tidal carbon dioxide in spontaneously breathing patients in the prehospital settings: a prospective evaluation of 350 patients. **Resuscitation**, v. 56, n. 1, p. 35-40, jan. 2003.

WEBSTER, John G. **Medical Instrumentation: Application and design**. 3. ed. United States: John Wiley & Sons, 1998.

WEINGER, Matthew B.; BRIMM, John E. End-tidal carbon dioxide as a measure of arterial carbon dioxide during intermittent mandatory ventilation. **J. Clin. Monit. Comput.**, v. 3, n. 2, p. 73-79, abril 1987.

WESTABY, S. *et al.* Does modern cardiac surgery require conventional intensive care? **European Journal of Cardio-thoracic Surgery**, v. 7, p. 313-318, 1993.

WHITESELL, Robert *et al.* Relationship between arterial and peak expired carbon dioxide pressure during anaesthesia and factors influencing the difference. **Anesth. Analg.**, v. 60, p. 508-512, 1981.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário sobre Monitoração de gás carbônico expirado (PetCO₂) através de Capnômetros e Capnógrafos em Unidade de Terapia Intensiva (UTI).

Nome: _____ Profissão: _____

Hospital onde trabalha: _____ Telefone: _____

UTI: () Neonatal () Pediátrica () Adulto () Mista

Número de leitos: _____

1) Atualmente a UTI tem disponível algum equipamento de monitoração contínua de PetCO₂:

() Sim () Não

Se **sim** responda as questões de 2 a 10, se **não**, responda as questões de 11 a 17.

2) De que forma o equipamento de monitorização contínua de PetCO₂ está disponível:

- () disponível para cada leito individual
 () compartilhado entre os leitos da mesma unidade
 () compartilhado entre unidades de terapia intensiva diferentes

3) Na sua opinião, os equipamentos de monitoração de PetCO₂ são fáceis de manusear:

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

4) Na sua opinião, os resultados dos equipamentos de monitoração de PetCO₂ são precisos:

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

5) Na sua opinião, os resultados dos equipamentos de monitoração de PetCO₂ são fáceis de interpretar:

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

6) Os equipamentos de monitoração de PetCO₂ são utilizados em pacientes sob ventilação mecânica:

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

7) Os equipamentos de monitoração de PetCO₂ são utilizados em pacientes com ventilação espontânea::

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

8) A monitoração contínua de PetCO₂ é utilizada em quais situações clínicas abaixo:

Confirmação da localização do Tubo Endotraqueal

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

Ajuste dos parâmetros do Ventilador Mecânico

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

Avaliar Hipercapnia e Hipocapnia

() Sempre () Frequentemente () Às vezes () Nunca

Verificar desordens acido-base

Sempre Frequentemente Às vezes Nunca
Ressuscitação Cardiopulmonar

Sempre Frequentemente Às vezes Nunca

Outros: _____

9) Em sua opinião, os equipamentos de PetCO₂ são úteis em UTI:

Sempre Frequentemente Às vezes Nunca

10) Em sua opinião, a monitoração de PetCO₂ associado com o Oxímetro de Pulso podem substituir as amostras de sangue pela Gasometria:

Sempre Frequentemente Às vezes Nunca

11) Você possui conhecimento sobre os equipamentos de monitoração de PetCO₂:

Sim Não Pouco

12) Você sabe manusear os equipamentos de monitoração de PetCO₂:

Sim Não Pouco

13) Em sua opinião, os equipamentos de PetCO₂ são úteis em UTI:

Sempre Frequentemente Às vezes Nunca

14) Qual é a razão para a não utilização da monitoração contínua de PetCO₂:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Falta de equipamento | <input type="checkbox"/> Falta de familiaridade |
| <input type="checkbox"/> Falta de necessidade | <input type="checkbox"/> Perceber imprecisas mensurações |
| <input type="checkbox"/> Custo | <input type="checkbox"/> Dificuldade com o uso |
| <input type="checkbox"/> Percepção de pobre evidência para o uso em literatura médica | |

15) De que forma é feita a monitorização de gás carbônico na UTI em que trabalha:

- Gasometria Arterial
 Mensuração Transcutânea
 Outros _____

16) Você possui interesse em aprender mais sobre a monitoração de PetCO₂ e suas aplicações:

Sim Não

17) Em sua opinião, qual é a melhor forma de informação sobre monitoração de PetCO₂:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Através da literatura | <input type="checkbox"/> Informações online |
| <input type="checkbox"/> Participação em Workshop | <input type="checkbox"/> Demonstração ao vivo |

APÊNDICE B - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

- a) Sua criança está sendo convidada a participar de um estudo intitulado “Mensuração da pressão de dióxido de carbono arterial e expirado em lactentes e crianças sob ventilação mecânica invasiva”. É através das pesquisas que ocorrem os avanços na medicina e na área da saúde, e sua participação é de fundamental importância.
- b) O objetivo desta pesquisa é analisar e comparar os valores de pressão de CO₂ obtidos através da Gasometria Arterial Convencional e Capnometria em crianças sob ventilação mecânica invasiva no pós-operatório imediato e prolongado de Cirurgia Cardíaca.
- c) A análise da pressão de CO₂ não oferece riscos ou dano direto à vida dos pacientes.
- d) Para tanto o paciente deverá estar em tratamento na Unidade de Terapia Intensiva Cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe.
- e) Contudo os benefícios esperados são: correlacionar os valores de pressão de CO₂ obtidos pela Gasometria Arterial e pela Capnometria e poder quantificar o real uso da Capnometria em pacientes sob ventilação mecânica.
- f) As Fisioterapeutas Carmen Caroline Rasera (telefone 41-9625-8399) e Adriana M^a Trevisan Barreto Domingues (telefone 41-9186-1462) são as responsáveis pela análise da Pressão de CO₂ e poderão ser contatadas em qualquer horário nos números telefônicos acima relatados.
- g) Estão garantidas todas as informações que você queira, antes durante e depois do estudo.
- h) Neste estudo será utilizado um grupo controle que serão os pacientes em ventilação mecânica com o uso da gasometria arterial, porém todos os pacientes serão avaliados através dos dois métodos.
- i) A participação neste estudo é voluntária. Você tem a liberdade de recusar a participação da criança no estudo, ou se aceitar a participar, retirar seu consentimento a qualquer momento.
- j) Todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa não são da responsabilidade do paciente, ou responsável.
- k) As informações relacionadas ao estudo poderão ser inspecionadas pelas fisioterapeutas que executam a pesquisa e pelas autoridades legais, no entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que a confidencialidade seja mantida.
- l) Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro. Você terá a garantia de que qualquer problema decorrente do estudo será tratado na própria instituição.
- m) Quando os resultados forem publicados, não aparecerá o nome da criança, e sim um código.

Eu, _____, brasileiro, residente em _____,
R.G. _____, pai/ responsável pela criança
_____ li o texto acima e compreendi a natureza e objetivo
do estudo do qual a criança foi convidada a participar. A explicação que recebi menciona os riscos e
benefícios do estudo e o tratamento. Eu entendi que sou livre para interromper a participação da
minha criança no estudo a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem que esta afete o
tratamento dela, sei que qualquer problema relacionado ao tratamento será tratado sem custos para
mim.

Portanto, concordo voluntariamente com a participação no estudo.

Curitiba, ____ de _____ de 2008.

Assinatura dos Pais ou Responsável

Assinaturas da Pesquisadora
Carmen Caroline Rasera
CREFITO: 92.059F

APÊNDICE C - Ficha de avaliação para o estudo comparativo em relação a diferentes temperaturas corporais.

1º Dia Pós-Operatório

Data: _____

Nome: _____	N.ºProntuário: _____	Conv.: _____
Data de Nasc.: _____	Idade: _____	Sexo: _____
Cor: _____	Peso: _____	

Diag. Pré-Operatório: _____
Tipo de Cirurgia: _____
Complicações: _____
Anestesia Droga: _____
Duração Total: _____ Hipotermia: _____ Tempo CE: _____ Clampeio AO: _____ PCT: _____
Intubou dia: _____ Extubou: _____

Ventilador Mecânico: _____	Modo Ventilatório: _____
Parâmetros do VM PEEP: _____	FiO ₂ : _____ Pressão: _____ FR: _____ Fluxo: _____
TI/TE: _____	Outro: _____

Monitoração FC: _____ FR: _____ PA: _____ Med.: _____ Temp.: _____ SpO ₂ : _____	Outro: _____
--	--------------

Gasometria Modelo: _____	Tipo de coleta: _____
pH: _____ PaO ₂ : _____ PaCO ₂ : _____	Bicarb.: _____ BE: _____ SpO ₂ : _____
Outro: _____	

Capnômetro 1ª medida: _____	2ª medida: _____	3ª medida: _____	Média: _____
------------------------------------	------------------	------------------	--------------

2º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico: _____	Modo Ventilatório: _____
Parâmetros do VM PEEP: _____	FiO ₂ : _____ Pressão: _____ FR: _____ Fluxo: _____
TI/TE: _____	Outro: _____

Complicações: _____	
Monitoração FC: _____ FR: _____ PA: _____ Med.: _____ Temp.: _____ SpO ₂ : _____	Outro: _____

Gasometria Modelo: _____	Tipo de coleta: _____
pH: _____ PaO ₂ : _____ PaCO ₂ : _____	Bicarb.: _____ BE: _____ SpO ₂ : _____
Outro: _____	

Capnômetro 1ª medida: _____	2ª medida: _____	3ª medida: _____	Média: _____
------------------------------------	------------------	------------------	--------------

APÊNDICE D - Ficha de avaliação para o estudo comparativo em pacientes sob ventilação mecânica prolongada com complicações respiratórias.

1º Dia Pós-Operatório

Data: _____

Nome: _____	N.ºProntuário: _____	Conv.: _____
Data de Nasc.: _____	Idade: _____	Sexo: _____
Cor: _____	Peso: _____	
Diag. Pré-Operatório: _____		
Tipo de Cirurgia: _____		
Complicações: _____		
Anestesia	Droga: _____	
Duração Total: _____	Hipotermia: _____	Tempo CE: _____
Intubou dia: _____	Extubou: _____	Clampeio AO: _____
	PCT: _____	
Ventilador Mecânico: _____	Modo Ventilatório: _____	
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____
TI/TE: _____	Pressão: _____	FR: _____
	Fluxo: _____	Outro: _____
Monitoração	FC: _____	FR: _____
	PA: _____	Med.: _____
	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____	
Gasometria	Modelo: _____	
	Tipo de coleta: _____	
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____
	Bicarb.: _____	BE: _____
	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____
	3ª medida: _____	Média: _____

2º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico: _____	Modo Ventilatório: _____	
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____
TI/TE: _____	Pressão: _____	FR: _____
	Fluxo: _____	Outro: _____
Complicações: _____		
Monitoração	FC: _____	FR: _____
	PA: _____	Med.: _____
	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____	
Gasometria	Modelo: _____	
	Tipo de coleta: _____	
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____
	Bicarb.: _____	BE: _____
	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____
	3ª medida: _____	Média: _____

3º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico: _____	Modo Ventilatório: _____	
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____
TI/TE: _____	Pressão: _____	FR: _____
	Fluxo: _____	Outro: _____
Complicações: _____		
Monitoração	FC: _____	FR: _____
	PA: _____	Med.: _____
	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____	
Gasometria	Modelo: _____	
	Tipo de coleta: _____	
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____
	Bicarb.: _____	BE: _____
	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____
	3ª medida: _____	Média: _____

4º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico: _____	Modo Ventilatório: _____	
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____
TI/TE: _____	Pressão: _____	FR: _____
	Fluxo: _____	Outro: _____
Complicações: _____		
Monitoração	FC: _____	FR: _____
	PA: _____	Med.: _____
	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____	
Gasometria	Modelo: _____	
	Tipo de coleta: _____	
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____
	Bicarb.: _____	BE: _____
	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____
	3ª medida: _____	Média: _____

5º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico:	_____	Modo Ventilatório:	_____
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____	Pressão: _____
	FR: _____	Fluxo: _____	
TI/TE:	_____	Outro:	_____
Complicações:	_____		
Monitoração	FC: _____	FR: _____	PA: _____
	Med.: _____	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____		
Gasometria	Modelo: _____	Tipo de coleta:	_____
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____	Bicarb.: _____
	BE: _____	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____	3ª medida: _____
			Média: _____

6º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico:	_____	Modo Ventilatório:	_____
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____	Pressão: _____
	FR: _____	Fluxo: _____	
TI/TE:	_____	Outro:	_____
Complicações:	_____		
Monitoração	FC: _____	FR: _____	PA: _____
	Med.: _____	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____		
Gasometria	Modelo: _____	Tipo de coleta:	_____
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____	Bicarb.: _____
	BE: _____	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____	3ª medida: _____
			Média: _____

7º Dia Pós-Operatório

Ventilador Mecânico:	_____	Modo Ventilatório:	_____
Parâmetros do VM	PEEP: _____	FiO ₂ : _____	Pressão: _____
	FR: _____	Fluxo: _____	
TI/TE:	_____	Outro:	_____
Complicações:	_____		
Monitoração	FC: _____	FR: _____	PA: _____
	Med.: _____	Temp.: _____	SpO ₂ : _____
	Outro: _____		
Gasometria	Modelo: _____	Tipo de coleta:	_____
pH: _____	PaO ₂ : _____	PaCO ₂ : _____	Bicarb.: _____
	BE: _____	SpO ₂ : _____	Outro: _____
Capnômetro	1ª medida: _____	2ª medida: _____	3ª medida: _____
			Média: _____

ANEXOS

ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos.



Curitiba, 14 de julho de 2008.

Carmen Caroline Rasera
Pesquisadora Responsável

Prezada Senhora,

Comunicamos que o projeto de pesquisa intitulado **Análise da pressão de CO2 através da gasometria arterial e capnografia em crianças sob ventilação mecânica e ventilação espontânea no pós-operatório de cirurgia cardíaca**, registro no CEP 0582-08, avaliado em reunião plenária em 30 de junho de 2008, chegou-se ao seguinte parecer: **foi aprovado**, e está de acordo com as normas éticas estabelecidas pela Resolução 196/96 do Ministério da Saúde.

Lembramos que conforme as normas da CONEP/MS o pesquisador deverá enviar ao CEP relatórios trimestrais sobre o andamento do estudo, bem como a qualquer tempo e a critério do pesquisador em caso de relevância. Salientamos ainda, a necessidade de relatório completo ao final do estudo.

Atenciosamente

Prof. Dr. Luiz Antonio Munhoz da Cunha
Coordenador do Comitê de Ética em
Pesquisa de Seres Humanos - HPP



ANEXO B – Coeficiente de Correlação de *Pearson*.

A pesquisa empírica busca frequentemente determinar a associação entre variáveis, buscando orientar análises e conclusões. Um indicador da intensidade e forma da relação linear existente entre variáveis observadas simultaneamente é dado pelo coeficiente de correlação do produto de momentos de *Pearson* denotado por r . Este coeficiente mede o quão próximos da reta de ajustes estão os pontos que a determinam. Quanto maior a qualidade da associação linear, mais próximos de 1 ou -1 estará este coeficiente (MARTINS, 2001).

Valores negativos de r indicam uma correlação do tipo inversa, isto é, quando x aumenta, y em média diminui (ou vice-versa). Valores positivos para r ocorrem quando a correlação é direta, isto é, x e y variam no mesmo sentido (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 85).

A interpretação do coeficiente não implica em causalidade, apenas indica um relacionamento entre as variáveis, que pode ser em decorrência da relação de causa e efeito entre si, de um relacionamento de ambas a uma terceira variável ou ainda do acaso (MARTINS, 2001; MATIAS, DAUBERMANN e RICCI, 2009).

A obtenção do coeficiente r é dada pela seguinte expressão (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 86):

$$r = \frac{\text{COV}_{xy}}{s_x \times s_y}, \quad (14)$$

onde: $\text{cov}_{xy} = \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) / (n - 1)$ e s_x e s_y são os desvios padrões de x e y , respectivamente.

Efetuada-se algumas simplificações nesta equação, resulta:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \times \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (15)$$

A equação 16 é uma alternativa mais conveniente para se calcular r , pois, já que não envolve o cálculo de desvios para x e y , exige um número menor de operações aritméticas (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 87).

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right]}} \quad (16)$$

onde n é o número de elementos na amostra; x e y são as variáveis de interesse e r é o coeficiente de correlação ($|r| \leq 1$).

A variação de r é: $-1 \leq r \leq 1$. É testado se o coeficiente de correlação é igual a zero, já que $r = 0$ significa ausência de um relacionamento entre as variáveis (MARTINS, 2001; PENHA, OLIVEIRA e PEREIRA, 2007, p. 212).

Uma vez determinada se existe ou não correlação na população, pode-se avaliá-la qualitativamente quanto à intensidade, usando-se o critério apresentado na tabela 16 (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 90).

Tabela 16 - Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.

$ r $	A correlação é dita
0	Nula
0-0,3	Fraca
0,3-0,6	Regular
0,6-0,9	Forte
0,9-1	Muito Forte
1	Plena ou Perfeita

Fonte: Callegari-Jacques (2003, p. 90).

ANEXO C – Regressão Linear Simples.

As finalidades de uma equação de regressão linear simples são avaliar uma possível dependência de y em relação à x e expressar matematicamente essa relação por meio de uma equação, assumindo que a associação entre x e y é linear, ou seja, descrita adequadamente por uma reta (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 94; SILVA, 2008, p. 65).

Técnicas de regressão são métodos utilizados em análise instrumental para ajustar um modelo teórico que relacione o comportamento conjunto de variáveis. Representam um procedimento importante no desenvolvimento das engenharias, física, química analítica e biologia em experimentos que envolvem a utilização de equipamentos de laboratório para medição e avaliação de reações e propriedades de compostos e materiais (HOFFMANN e VIEIRA, 1977).

O modelo de regressão linear simples é dado pela equação 17 (REIS, TORRES e ALMEIDA, 2009).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (17)$$

onde: Y é a variável que deve ser predita (variável dependente); X é o valor preditor (variável independente); β_0 = coeficiente linear (também chamado de intercepto, é o valor que Y assume quando X for zero); β_1 = coeficiente angular (é a inclinação da reta, mensura o aumento ou redução em Y para cada aumento de uma unidade em X); ε = termo de erro (à diferença entre o valor observado de Y e a reta). Na mecânica da determinação da equação de uma reta que melhor descreva um conjunto de observações os valores Y são preditos com base em valores dados ou conhecidos de X .

Os valores de β_0 e β_1 , no modelo dado pela equação 17, são desconhecidos, assim estima-se seus valores a partir de uma amostra com n pares de observações pelo método dos mínimos quadrados, equações 18 e 19. Este método garante que a reta obtida é aquela para a qual se tem as menores distâncias (ao quadrado) entre os valores observados de Y e a própria reta (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 98; SILVA, 2008, p. 67).

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (18)$$

Onde \bar{Y} e \bar{X} são as médias para Y e X, respectivamente.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_i X_i (Y_i - \bar{Y})}{\sum_i X_i (X_i - \bar{X})} = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (19)$$

ANEXO D – Análise de Bland-Altman.

Em 1983, Bland e Altman publicaram o primeiro artigo com uma metodologia alternativa ao cálculo do coeficiente de correlação, visto que o objetivo ao comparar duas técnicas é descobrir se as duas medidas são equivalentes e se uma poderia substituir a outra, ou seja, se existe ou não concordância. O coeficiente de correlação, método utilizado na maior parte dos artigos, não avalia concordância e sim associação entre duas variáveis (BLAND e ALTMAN, 1983; HIRAKATA e CAMEY, 2009).

O gráfico de Bland-Altman é um diagrama de dispersão xy , onde no eixo y plota-se a diferença entre as duas medidas ($A - B$) e no eixo x a média delas ($(A+B)/2$), representando o ponto de concordância entre os métodos, podendo a análise ser complementada por uma avaliação da correlação entre estas duas novas grandezas. A partir deste gráfico é fácil avaliar a magnitude da discordância, identificar *outliers* e verificar se existe alguma tendência. Limites estatísticos de concordância podem ser obtidos a partir da média e do desvio-padrão das diferenças. Quanto mais próximos do eixo de concordância estiverem os pontos, maior a concordância entre os métodos (BLAND e ALTMAN, 1983; BLAND e ALTMAN, 1986).

O método de Bland-Altman é um teste estatístico que avalia a variabilidade das diferenças entre os valores obtidos pelos dois métodos (erro⁵) e a própria diferença entre os valores (viés⁶) ao mesmo tempo. Os dois métodos devem apresentar um viés aproximadamente igual a zero e um erro que não tenha um impacto clínico significativo para que fossem substituíveis (BLAND e ALTMAN, 1986; HIRAKATA e CAMEY, 2009).

⁵ Erro representa a dispersão dos pontos das diferenças ao redor da média.

⁶ Viés representa o quanto às diferenças se afastam do valor zero.