



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE MEDICINA DA BAHIA

Fundada em 18 de Fevereiro de 1808



Monografia

Tomografia por Impedância Elétrica aplicada como instrumento para diagnosticar atelectasia pulmonar: revisão narrativa da literatura.

Frederico Moraes Veras Ferreira

Salvador (Bahia)

Março, 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

(elaborada pela Bibl. **SONIA ABREU**, da Biblioteca Gonçalo Moniz : Memória da Saúde Brasileira/SIBI-UFBA/FMB-UFBA)

Veras, Frederico

Tomografia por Impedância Elétrica aplicada como instrumento para diagnosticar atelectasia pulmonar: revisão narrativa da literatura. / Frederico Veras -- SALVADOR, 2017.

29 f. : il

Orientador : Thierry Lemaire .

Coorientador : Jorge Guedes .

TCC (Graduação -- Medicina) -- Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Medicina da Bahia, 2017.

1 . Tomógrafo . 2 . Impedância . 3 . Elétrica . 4 .Diagnóstico . 5 . Atelectasia . I . Lemaire, Thierry . II . Guedes, Jorge. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE MEDICINA DA BAHIA
Fundada em 18 de Fevereiro de 1808



Monografia

**Tomografia por Impedância elétrica aplicada como instrumento para diagnosticar
atelectasia pulmonar: revisão narrativa da literatura.**

Frederico Moraes Veras Ferreira

Professor orientador: **Thierry Jacques Lemaire**

Monografia de Conclusão do Componente Curricular MED-B60, como pré-requisito obrigatório e parcial para conclusão do curso médico da Faculdade de Medicina da Bahia da Universidade Federal da Bahia, apresentada ao Colegiado do Curso de Graduação em Medicina.

Salvador (Bahia)

Março, 2017

Monografia: *Revisão sistemática da Tomografia por Impedância elétrica aplicada como instrumento para diagnosticar atelectasia pulmonar*, de **Frederico Moraes Veras Ferreira**.

Professor orientador: **Thierry Jacques Lemaire**.

COMISSÃO REVISORA

Thierry Jacques Lemaire (orientador), professor do Departamento de Física da Terra e do Meio Ambiente do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

TERMO DE REGISTRO ACADÊMICO: Monografia avaliada pela Comissão Revisora, e julgada apta à apresentação pública no X Seminário Estudantil de Pesquisa da Faculdade de Medicina da Bahia/UFBA, com posterior homologação do conceito final pela coordenação do Núcleo de Formação Científica e de MED-B51 (Monografia III). Salvador (Bahia), em ____ de _____ de 2017.

EQUIPE

- Frederico Moraes Veras Ferreira, Faculdade de Medicina da Bahia/UFBA. Correio-e: fredericoverasm@gmail.com;
- Thierry Jacques Lemaire, Instituto de Física da UFBA. Correio-e: thierry.lemaire@ufba.br

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

- Faculdade de Medicina da Bahia (FMB)
- Instituto de Física da UFBA

FONTES DE FINANCIAMENTO

- Recursos próprios

À minha esposa, Isnaelle Veras

SUMÁRIO

I.	RESUMO	2
II.	OBJETIVOS	3
III.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
IV.	METODOLOGIA	9
V.	RESULTADOS	10
VI.	DISCUSSÃO	18
VII.	CONCLUSÃO	20
VIII.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

I.RESUMO

Revisão narrativa da Tomografia por Impedância elétrica aplicada como instrumento para diagnosticar atelectasia pulmonar.

Introdução: O avanço da tecnologia computacional das últimas décadas abriu um novo horizonte para explorar a criação de novos equipamentos a que venha permitir o fornecimento de imagens do corpo humano, com características bem peculiares, por exemplo, não utilizar radiação ionizante, ser de baixo custo e portátil. Este artigo tem o intuito de investigar a aplicação da Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) no processo de diagnóstico da atelectasia. Em processos infecciosos no pulmão ou na ocorrência de complicações no pós-operatório, a atelectasia é um dos fatores que pode contribuir para a morbidade e a mortalidade. Objetivos: verificar primariamente através de artigos científicos a utilização da Tomografia por Impedância Elétrica como meio para diagnosticar atelectasia e secundariamente divulgar a existência da técnica que não é relatada no cotidiano médico. Metodologia: buscou-se em sites da literatura médica, PUBMED, lilacs, scielo, artigos através do descritor ; atelectasis and electrical impedance tomography and diagnostic. O critério de inclusão referir a teste clínico em humanos ou animais e contribuir para o diagnóstico de atelectasia em um estado agudo ou crônico. Foi encontrado um total de 22 artigos.

Palavras chaves: 1. Atelectasia; 2. Tomografia por Impedância elétrica; 3. Diagnóstico.

II. OBJETIVOS

PRINCIPAL

Verificar através de artigos científicos a utilização da Tomografia por Impedância Elétrica como meio para diagnosticar atelectasia.

SECUNDÁRIO

Divulgar a existência da técnica que não é relatada no cotidiano médico.

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A TIE é uma técnica que permite formar imagens a partir das características elétricas da matéria, tem sido desenvolvida desde a década de 80 e suas aplicações se dão em várias áreas do conhecimento como na Engenharia, Geofísica. Na atualidade vem sendo aplicado na área médica.

Na medicina o uso da TIE tem sido concentrado nas pesquisas envolvendo o monitoramento pulmonar. E isso ocorre porque o pulmão tem características que favorecem aplicação da técnica, possui ar no seu interior, um mau condutor elétrico, que favorece circulação da corrente elétrica em seu entorno, delimitando assim o seu parênquima.

“O tomógrafo de impedância elétrica compreende um sistema que utiliza 8, 16 ou 32 eletrodos dispostos em faixa e conectados a uma plataforma eletrônica, responsável pela injeção de corrente elétrica (da ordem de 5-8 mA; 50 – 1000 KHz) são injetadas num par de eletrodos separados por um eletrodo de condução; os eletrodos remanescentes conduzem corrente de superfície. Quando um ciclo completo de aquisição é atingido, são produzidos $n(n-3)$ medidas de voltagem (onde n se refere ao número de eletrodos). Nos sistemas de 32 eletrodos, um ciclo completo de aquisição produz 928(32x39) medidas de voltagem. Todas estas as medidas são incorporadas algoritmos matemáticos de reconstrução de imagem, que geram uma estimativa de distribuição de impedância a partir de uma matriz de sensibilidade. Esta matriz é derivada de um modelo de elementos finitos em 3 dimensões da área de secção transversa do tórax. Por fim, o fluxo aferente de elétrons é convertido em pixel, o elemento mínimo necessário para formação de imagem computacional.” (Hovnanian, 2013, p.22)

A TIE é um método de visualização da mecânica respiratória beira-leito. Este exame permite observar, em tempo real, a ventilação regional pulmonar a cada ciclo respiratório. (Figura 1)



Figura 1.

A TIE é também uma técnica de baixo custo, pode ser estimado em torno de US\$ 10.000,00, um valor baixo comparado com o Tomógrafo convencional que pode custar um valor acima de US\$ 1000.000,00. Porém, apesar de ter comparado os custos das duas técnicas, está claro, diante do arcabouço teórico da Física, que a TIE não pode substituir o tomógrafo convencional da função que possui na medicina, pois a TIE não tem como alcançar a resolução da imagem do tomógrafo convencional, nos modelos físicos e matemáticos vigentes.

Outro aspecto importante da técnica é que teoricamente ela é capaz de diferenciar mais os tecidos do que as técnicas que utilizam radiação ionizante. A condutividade dos tecidos humanos varia em centenas de grandeza, enquanto que o fator de atenuação dos raios-X varia somente em dezenas (ver Tabela 1). Isto mostra que, do ponto de vista elétrico, os tecidos apresentam maiores contrastes quando comparados com os da atenuação dos raios-X.

Tabela 1.

Tecido	Resistividade ($\Omega.m$)	Coef. Atenuação de raio-X (m^{-1})
Osso	150	35.0
Músculo	3.0	20.4
Sangue	1.6	20.4
Gordura	15.0	18.5

Os pulmões são órgãos vitais da respiração. Sua principal função é oxigenar o sangue, colocando o ar inspirado bem próximo do sangue venoso nos capilares pulmonares. Conforme Moore (2011, p.111): “Também são elásticos e retraem-se a aproximadamente um terço do tamanho original quando a cavidade torácica é aberta.” Os pulmões dispõem de mecanismos de defesa tanto físicos (presença de epitélio ciliado e secreção de muco) como

imunológicos (presença de alta densidade de macrófagos). Mas apesar da existência do mecanismo de defesa, o pulmão está em contato direto com o ar atmosférico, o que torna este órgão suscetível ao grande número de patologias.

“Atelectasia refere-se à expansão incompleta dos pulmões (atelectasia neonatal) ou ao colapso do pulmão previamente inflado, produzindo áreas de parênquima pulmonar relativamente sem ar. A atelectasia adquirida, encontrada principalmente em adultos, pode ser dividida em atelectasia por reabsorção (ou obstrução), compressão e contração.” (Robbins & Cotran, 2010, p.687)

“A atelectasia por reabsorção é a consequência da obstrução completa de uma via aérea, que com o tempo leva à reabsorção do oxigênio aprisionado nos alvéolos dependentes, sem prejuízo do fluxo sanguíneo pelas paredes alveolares afetadas. A atelectasia por compressão ocorre sempre que a cavidade pleural é parcial ou completamente preenchida por exsudato líquido tumor, sangue ou ar (com a última condição mencionada constituindo o pneumotórax). A atelectasia por contração ocorre quando alterações fibróticas locais ou generalizadas no pulmão ou na pleura impedem a expansão completa.” (Robbins & Cotran, 2010, p.687)

A atelectasia pode surgir como complicação de diversas doenças. Determinados tipos de cirurgias podem apresentar como complicação uma atelectasia. A exemplo disso podemos citar as cirurgias cardíacas, abdominais altas, entre outras. Processo infeccioso no parênquima pulmonar de diversas etiologias também tem como uma complicação o colapso alveolar levando a uma síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA). A atelectasia é a complicação pulmonar mais comum no pós-operatório e a causa mais comum de febre nas primeiras 48 horas de pós-operatório. Do ponto de vista fisiopatológico, resulta basicamente em alvéolos perfundidos, mas não ventilados, o chamado “shunt intrapulmonar”, podendo acarretar dessaturação do sangue arterial, pela mistura desse sangue que passa por esses alvéolos não ventilados e, portanto, sem ocorrência da hematose.

A atelectasia é também a principal causa de febre no pós-operatório imediato, e habitualmente ocorre até que se completem as primeiras 24 horas de pós-operatório. O colapso alveolar usualmente acontece após anestesia geral, pelo acúmulo de secreções ao nível alveolar, hipoventilação difusa ou segmentar, como bloqueios de segmentos do sistema respiratório por secreções espessas.

A atelectasia secundária a uma morbidade pode fazer com que tal morbidade que lhe deu origem piore, e o quadro em que o paciente se encontra se prolongue, como também pode aumentar o tempo de recuperação do paciente. O aumento do período de recuperação tem impacto tanto na condição clínica do paciente, como também gera dispêndio do ponto de vista financeiro, pois há aumento do tempo do paciente ocupando o leito hospitalar, além do impacto econômico, principalmente no Sistema Único de Saúde (SUS), que possui um baixo

financiamento. Com um número de leitos mais baixo que a demanda, é justificável pensar na economia gerada pela disposição de novos leitos, ocasionado pelo controle da atelectasia, através do diagnóstico precoce e do seu tratamento. Por menor que seja essa economia, ela passa a ser importante, com a possibilidade da garantia de indivíduos que não teriam acesso ao serviço de saúde por causa do preenchimento das vagas, pois há espera na fila de regulação para o internamento. É uma realidade num número considerável de serviço de saúde pelo país.

“As atelectasias são alterações pulmonares frequentes em unidades de cuidados intensivos (UCI) e salas de recuperação pós-cirúrgicas, podendo determinar piora do quadro clínico da criança com predisposição à complicações infecciosas e necessidade de maior suporte ventilatório [oxigenoterapia, ventilação pulmonar mecânica (VPM) invasiva e/ou não-invasiva].” (Johnston C., Carvalho W.B., 2008, p.455)

Por isso as atelectasias devem ser prevenidas, diagnosticadas e tratadas, para se evitar as suas complicações e conseqüente morbidade. Esse fato só vem mostrar que é necessário o diagnóstico precoce da atelectasia, com o objetivo de intervir para evitar repercussão negativa para o paciente.

Segundo Porto & Porto (2013, p.346): “Embora métodos mais avançados do ponto de vista tecnológico tenham surgido, a radiografia simples do tórax continua indispensável, pois, frequentemente, é o suficiente para confirmar o diagnóstico suspeitado clinicamente.” A radiografia convencional do tórax é capaz de diagnosticar a atelectasia através do parâmetro da simetria, pois, assimetria dos volumes pulmonares são critérios que permite estabelecer relação com a atelectasia.

Em grande parte dos casos, a tomografia computadorizada (TC) representa o método de maior sensibilidade para detecção e detalhamento de anormalidade do tórax como um todo, e é o exame de maior sensibilidade para avaliar lesões no parênquima pulmonar. (Porto & Porto, 2013, p.353).

Na tomografia axial computadorizada (TAC) de tórax, a atelectasia pode frequentemente ser identificada pelos sinais de perda de volume, quando se utiliza o contraste, a atelectasia resulta em uma atenuação relativamente elevada do parênquima pulmonar, um achado útil para distinguir a atelectasia dos processos de consolidação (pneumonia), em que há uma atenuação relativamente baixa. (Johnston C., Carvalho W.B., 2008, p.457)

Diante da exposição anterior, deixa claro que através dos trabalhos citados que tanto a TC como a radiografia convencional relaciona o diagnóstico de atelectasia com a variação do volume pulmonar.

Mesmo partindo do pressuposto que a TC tem sensibilidade maior que a radiografia convencional, há casos que vai ser imprescindível o uso da radiografia do tórax, passando a ter protagonismo no diagnóstico de atelectasia em relação à TC. Caso fácil de imaginar essa situação citada é a condição do paciente em leito de UTI, pois é difícil imaginar nessa circunstância fazer uma TC para tentar visualizar distúrbios pulmonares.

A utilização da tomografia por impedância elétrica com o objetivo de diagnosticar a atelectasia tem um potencial inicial, porque essa técnica tem a capacidade de detectar variação no volume pulmonar, o que pode vir a convergir com as técnicas vigentes (TC e Radiografia convencional). Há uma relação de variação de volume detectada tanto pela TC como pela radiografia convencional no diagnóstico de atelectasia.

IV. METODOLOGIA

Foram realizados levantamentos nos portais PubMed, Scielo, Lilacs, com as palavras chaves e duas estratégias de busca:

A. "diagnostic", "electrical impedance tomography" e "atelectasis" entre os quais o delimitador booleano and;

B. "atelectasis", "electrical impedance tomography" e "diagnostic", entre os quais o delimitador booleano and;

Para ambos os levantamentos, foram também aplicados como delimitadores

1. Período do ano 2007 a 2016;
2. Língua de publicação inglesa.

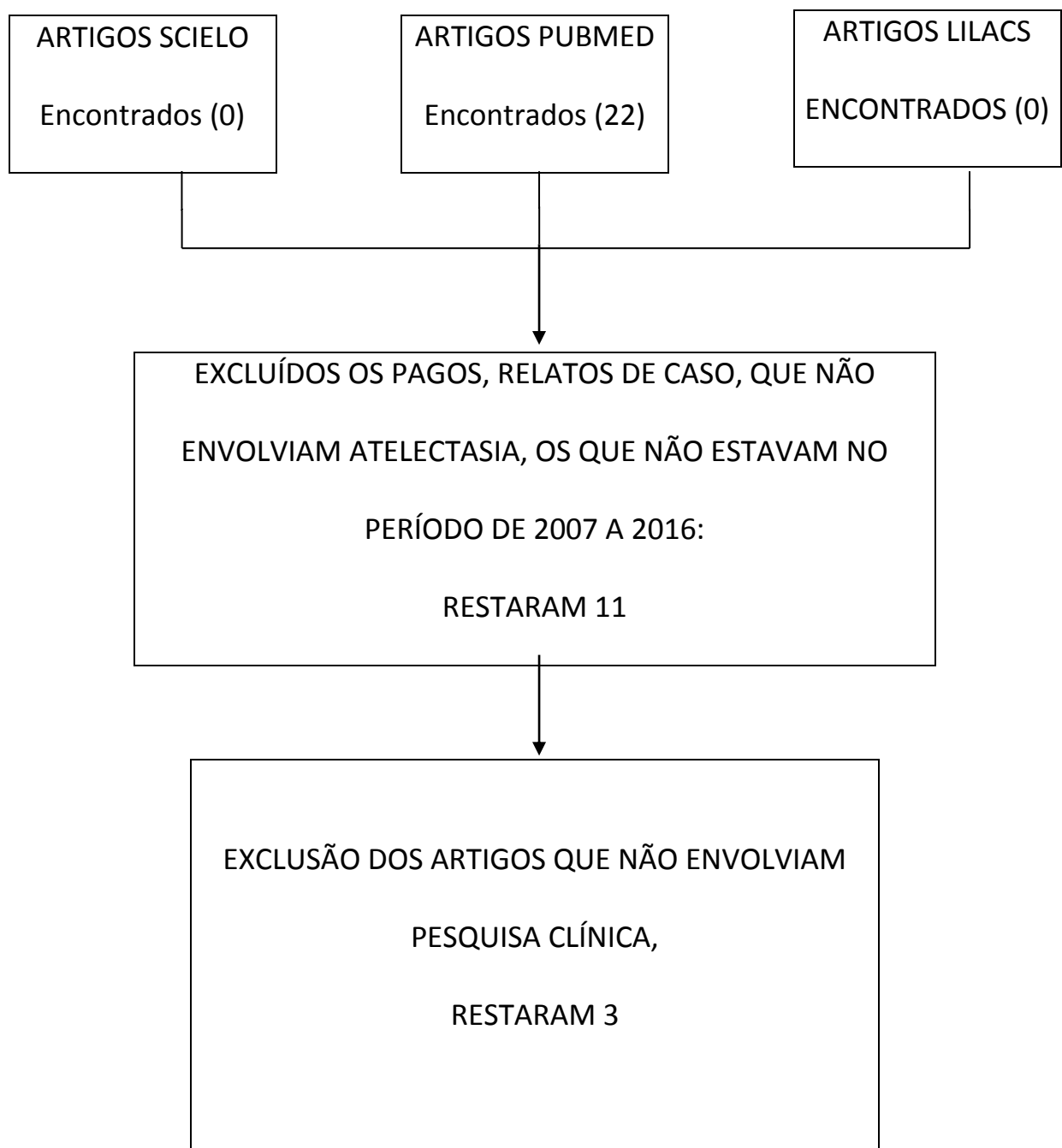
Os critérios e etapas de seleção do artigo foram:

- I. Leitura do título e resumo do artigo;
- II. Se selecionados, os artigos completos foram obtidos pelo portal periódicos CAPES;
- III. Na etapa seguinte após a leitura do artigo completo, só foi incluído aquele que abordava a Tomografia por Impedância Elétrica como uma possível ferramenta de diagnóstico da atelectasia.

Foi também realizado a busca ativa das referências bibliográficas dos artigos incluídos nas etapas anteriores.

V. RESULTADOS

Foram encontrados 22 artigos no PubMed e nenhum nas demais plataformas. Foi feita a exclusão dos artigos que não abordavam a atelectasia, os relatos de caso, os artigos que não eram gratuitos, e os que não se referiam à pesquisa clínica que envolviam pacientes. Com esses critérios de exclusão, resultou um número final de 3 artigos.



V.1. Viabilidade do uso de valores de “densidade pulmonares” estimados a partir de imagens TIE para o diagnóstico clínico de anormalidades pulmonares em pacientes de UTI ventilados mecanicamente.

Esse artigo relata os resultados de um estudo que compara os valores de densidade pulmonar, obtido a partir da TIE, diagnóstico clínico e da TC dentro de uma região de interesse do pulmão. Foram selecionados 11 pacientes na Unidade de Terapia Intensiva do Hospital de Kitasato do sexo masculino.

Um detalhe importante nesse estudo é que, para fazer a comparação da imagem obtida pela TIE com a TC, foi necessário diminuir a resolução da TC que era originalmente de 512x512 pixels para 16x16 pixels, para assim equivaler a TIE (Figura 2).

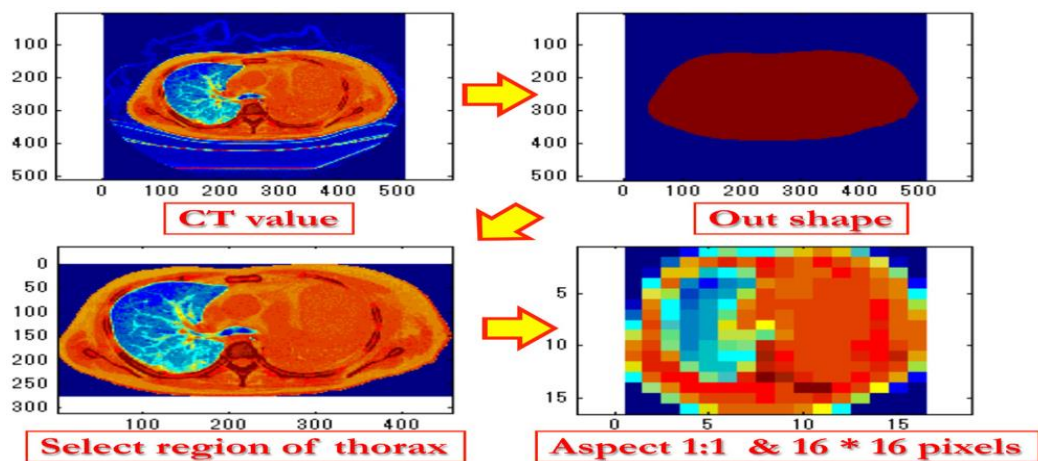


Figura 2.

O artigo fez uma relação importante entre a mudança da densidade pulmonar (obtida por TIE) e o acometimento do pulmão por patologias. (Figura 3)

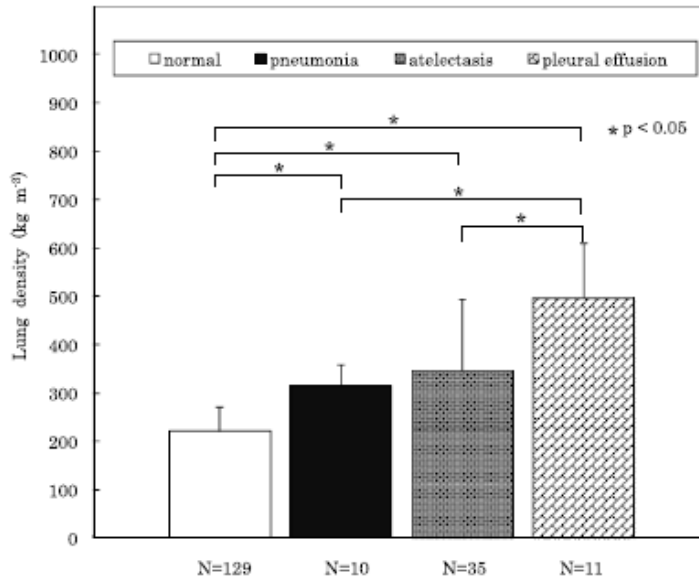


Figura 3. Relação entre doença pulmonar e densidade pulmonar na posição de decúbito dorsal. Houve diferenças significativas nas densidades pulmonares regionais para os quatro grupos ($p < 0,05$) e os valores médios das densidades pulmonares foram maiores que as dos pulmões normais.

A informação oferecida no gráfico traz um conteúdo importante que já é de conhecimento da semiologia, a relação do decúbito com a piora ou amenização de um sintoma com uma patologia pulmonar. (Figura 4)

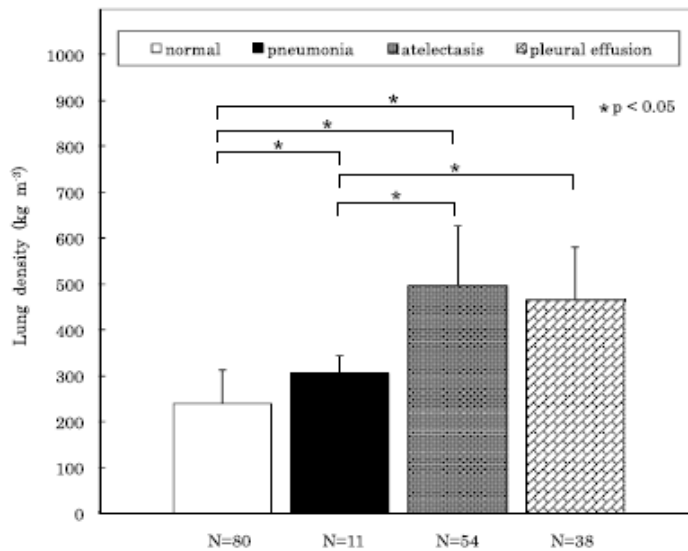


Figura 4. A relação entre doença pulmonar e densidade pulmonar na região do decúbito lateral. Houve diferenças significativas nas densidades pulmonares regionais categorizadas para quatro grupos ($p < 0,05$), mas o valor médio categorizado para o grupo de derrame pleural diminuiu após uma mudança de posição para o decúbito lateral esquerdo.

O que pode concluir desse estudo é que a TIE pode tanto fornecer o diagnóstico para atelectasia, como também determinar sua mudança, de acordo com o decúbito do paciente, o que pode ser visto na comparação da figura 3 e 4. E todas essas informações podem ser vistas em tempo real. A função dessa ferramenta (TIE) na Unidade de Terapia Intensiva, poderá se tornar semelhante ao Holter na cardiologia.

V.2. Uma abordagem unificada da TIE na obtenção de imagens na hiperdistensão e atelectasia na lesão pulmonar aguda.

Durante o estudo, nove pacientes pediátricos com LPA/SDRA foram monitorados pela TIE quando estava submetido ao aumento e diminuição de pressão nas vias aéreas pelo VM.

A ventilação mecânica é uma parte essencial de cuidados para pacientes criticamente doentes com lesão pulmonar aguda (LPA) ou com SDRA. O artigo leva em conta os estudos que apontam que a ventilação mecânica pode exacerbar lesão pulmonar e, assim, aumentar a mortalidade. Introduz a TIE com objetivo de guiar a Ventilação Mecânica, para assim diminuir os efeitos iatrogênicos. A TC, e mais recentemente a tomografia TIE, mostra que as propriedades mecânicas da LPA / SDRA são, de fato, muito heterogêneas.

Dentre alguns pacientes, as configurações do ventilador típico podem levar a região à hiperdistensão pulmonar e atelectasia, que se correlacionam com subsequente lesão pulmonar, que pode ser vista através do TIE (ver figura 5). A figura mostra mapas regionais de superdistensão e atelectasia em um paciente durante todo o protocolo. Cada mapa quantifica o grau e a localização da superdistensão (azul) e atelectasia (vermelho).

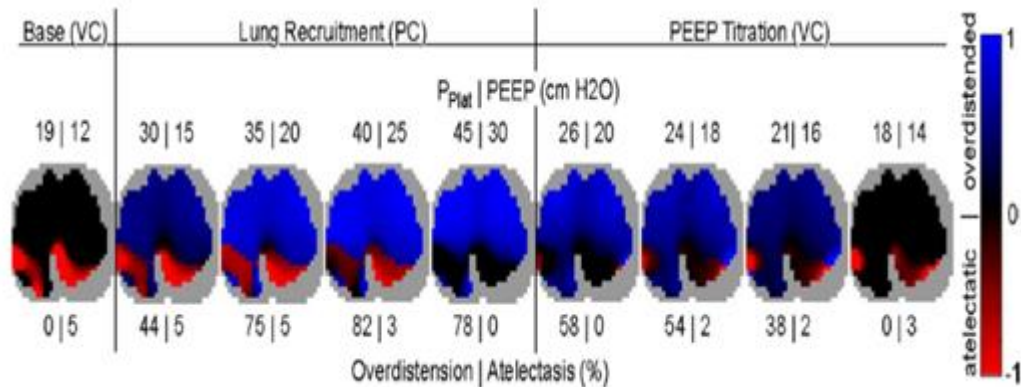


Figura 5. Mapas regionais de hiperdistensão e atelectasia em um paciente durante todo o protocolo. Cada mapa quantifica o grau e a localização da hiperdistensão (azul) e atelectasia (vermelho) em unidades de pulmão. As regiões não pulverizadas são mostradas em cinza. VC: volume controlado ; PC: pressão controlada.

Esse estudo mostra a capacidade da TIE em determinar a heterogeneidade da necessidade do pulmão em ser ventilado pelo VM.

Os métodos propostos foram utilizados para monitorar a mecânica pulmonar em pacientes pediátricos com LPA / SDR participando em um estudo clínico de recrutamento pulmonar.

Aumento na pressão poderia reverter atelectasia do pulmão em torno de 17%, aparecendo principalmente nas regiões dorsal. Durante as mais elevadas pressões aplicadas, 73% do pulmão ficou distendido, aparecendo principalmente nas regiões ventral. Juntos, estes resultados sugerem que a estratégia de ventilação descrita pode efetivamente recrutar áreas do pulmão colapsadas, e que a imagem TIE pode ser utilizada para orientar a redução de pressões de ventilação para evitar o re-colapso do pulmão.

Os resultados dos estudos realizados até o momento indicaram que a Tomografia por Impedância Elétrica é uma valiosa ferramenta para avaliar a lesão provocada pela ventilação mecânica do pulmão. A informação sobre a distribuição regional da ventilação na LPA / SDR dos pacientes pode ajudar a conciliar a necessidade de prevenção de atelectasia e a necessidade de proteger os pulmões contra lesões causadas por ventilação mecânica.

V.3. Interação de regiões dependentes e não dependentes do pulmão lesado agudamente durante uma manobra de recrutamento.

O estudo foi baseado em um experimento com modelo animal, e teve como objetivo verificar a lesão das regiões dependentes e independentes da ventilação mecânica, durante a manobra de recrutamento. O procedimento adotado para verificar a lesão (atelectasia e hiperdistensão) foi a indução de uma lesão através do uso de uma solução salina e PEEP graduando numa escala crescente de 0 cm H₂O até 45 cm H₂O.

Para explicar o fenômeno da superdistensão e atelectasia foi feito um modelamento matemático que pode ser visto na equações (1), (2), (3) e (4) (Figura 6). O modelo matemático explica a atelectasia e a hiperdistensão.

$$V(P) = a + \frac{b}{1 + e^{-\frac{P-c}{d}}}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} C(P) &= \frac{dV}{dP} \\ &= \frac{b e^{-\frac{P-c}{d}}}{d (1 + e^{-\frac{P-c}{d}})^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F(P) &\propto C(c) - C(P) \\ &\propto \beta \left(\frac{1}{4} - e^{-\frac{P-c}{d}} (1 + e^{-\frac{P-c}{d}})^{-2} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

$$rF(P) \propto \max \left\{ 0, \alpha + \beta \left(\frac{1}{4} - e^{-\frac{P-c}{d}} (1 + e^{-\frac{P-c}{d}})^{-2} \right) \right\}. \quad (4)$$

Figura 6.

Essa equação é uma equação de pressão-volume pulmonar previamente validada (Venegas et al 1988). Onde rFOD (hiperdistensão) e rFRA (atelectasia) foram obtidas durante o

recrutamento. Modificaram a equação (Venegas et al 1998) onde a é o volume residual, b é a capacidade vital, c é a pressão no ponto de inflexão, e d é a gama de pressão sobre a qual a relação pressão-volume é linear. O modelo pode explicar as medições obtidas a partir de seres humanos e animais de grande porte, em condições de contorno, isto é, $dV/dT=0$. A complacência é obtida por diferenciação da equação (1), especialmente durante a estática.

A equação (2) é maximizada quando $P=c$; Assim, foi postulado que $P>c$ indica superdistensão e que a $P<c$ indica atelectasia, quantifica como uma fração de unidades de pulmão $F(P)$ que varia continuamente em proporção do declínio em conformidade.

O max da função $\{.,.\}$ garante que $rF(P) > \text{ou} = 0$ para todas regiões. A equação (4) foi ajustada para $rFOD$, $rFRA$, $P_{\text{platô}}$ e $PEEP$ para dados obtidos a cada fase de recrutamento, minimizando a soma de quadrados dos erros, utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquart, implementando em Matlab (Math Works, Natick, MA). A equação (1) que foi originalmente concebida para explicar os dados medidos na abertura das vias aéreas, pode ser modificada na equação (4), e essa se mostrou válida para detectar a superdistensão assim como a atelectasia. Foi observado a quantidade de hiperdistensão ($rFOD$) e atelectasia ($rFRA$), que foram calculadas durante a fase de recrutamento pela equação (4) para fazer a comparação entre a histologia do pulmão e a imagem da TIE que resultou nos dados da tabela. (Tabela 2)

Tabela 2.

Lung region	Overdistension (%)		Atelectasis (%)	
	EIT (rF_{OD})	Histology	EIT (rF_{RA})	Histology
Dependent left	15 ± 9	19 ± 34	26 ± 10	33 ± 33
Dependent right	13 ± 18	13 ± 12	29 ± 17	62 ± 6
Non-dependent left	53 ± 6	47 ± 26	0 ± 1	9 ± 7
Non-dependent right	49 ± 15	44 ± 27	0 ± 0	9 ± 10

Os dados da tabela permite concluir sobre a atelectasia que há uma correlação dos dados obtidos pela histologia com os dados obtidos pela TIE. Porém, a correlação não se dá em toda extensão pulmonar. Nas regiões dependentes o valor foi significativo, porém na não dependente os valores não são significativos. O valor de P obtido na região independente foi ($P=0,234$).

A correlação entre a histologia e os dados obtidos através da TIE no artigo também pode ser visualizado através da figura 7. Mostra que não foram detectadas diferenças significativas entre as imagens das regiões obtidas pela TIE e pelas amostras de tecido pulmonar.

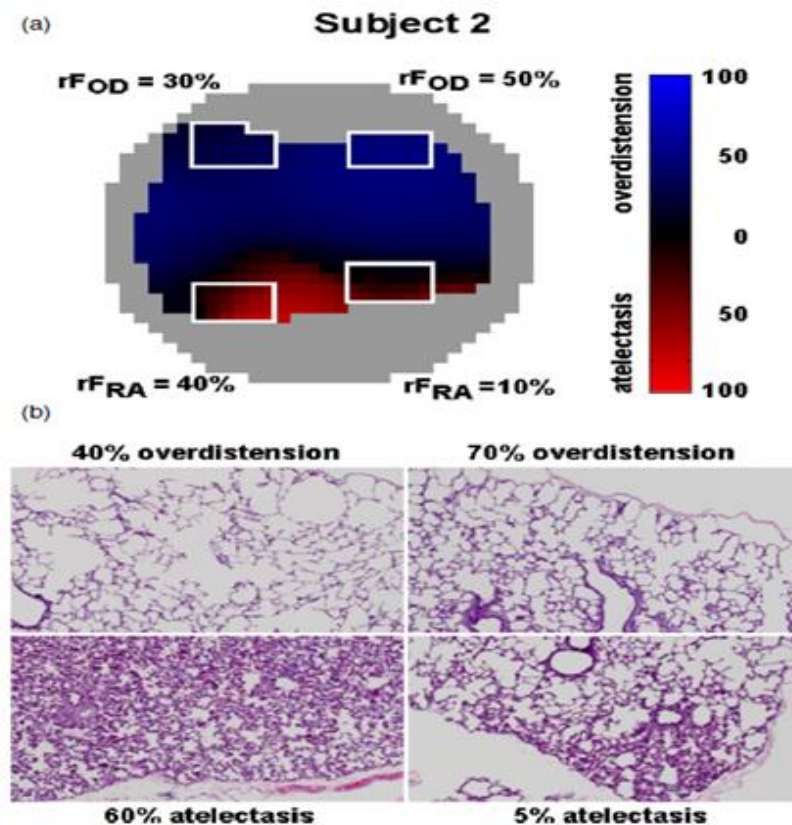


Figura 7. As frações de hiperdistensão regional (rFOD) e atelectasia (rFRA) no sujeito 2, estimadas utilizando TIE (a) exame histopatológico (b). O mapa TIE representa a média de rFOD e rFRA medida em todo o caso. As quatro amostras de tecido foram retiradas aproximadamente das regiões pulmonares delimitadas pelas linhas brancas. As amostras apresentadas são representativas de maior volume do tecido utilizado para avaliação histológica. As lâminas foram coradas com hematoxilina e eosina, e elas aparecem na mesma ordem que as quatro regiões na TIE (aumento de 40x).

Esse estudo mostrou com argumentos bastante sofisticados a capacidade da técnica em identificar a atelectasia, apesar que tanto este artigo como os demais citados ter tido o foco na otimização do recrutamento pulmonar.

VI. DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo tentar encontrar artigos que indiquem a possibilidade da TIE ser utilizada como uma ferramenta para o diagnóstico da atelectasia pulmonar, um fenômeno que está associado a diversas doenças no cotidiano médico e que possui repercussão clínica bastante importante no que se refere à morbidade e mortalidade do paciente.

A grande maioria dos artigos aqui selecionados teve como foco a otimização da VM guiada pela TIE. A ventilação mecânica tem como função propiciar a manutenção das trocas gasosas, aliviar o trabalho da musculatura respiratória, diminuindo, assim, a hipoxemia, acidose respiratória, e assegura a demanda metabólica em situações agudas tornando-se um valioso recurso, principalmente nos casos de LPA e SARA .

O primeiro artigo foi capaz de relacionar a atelectasia com a densidade pulmonar e ainda verificar a mudança do padrão da atelectasia de acordo com a variação do decúbito do paciente. Vindo assim confirmar o que já se sabia da semiologia das doenças respiratórias, pois pacientes buscam posições que tendem a diminuir a intensidade de um sintoma. Essa confirmação poderia ser feita pela radiografia convencional, porém iria ser necessário que o paciente fizesse o exame em duas posições. Mas a TIE é que capaz de identificar, como foi mostrado na análise do primeiro artigo, através da variação da densidade e mudança no padrão da atelectasia em função da mudança da posição do paciente no leito em tempo real.

O segundo artigo mostrou formas de aprimorar o processo de ventilação mecânica, utilizando a TIE. O trabalho mostra que a eficiência da ventilação pode ser aumentada, além dos danos causados que poderão ser diminuídos. E mostra através da imagem a atelectasia como também a hiperdistensão do pulmão.

O terceiro artigo, o estudo realizado com animal, também encontrou achados relevantes no que se refere ao diagnóstico de atelectasia e a distensão exagerada dos alvéolos. A TIE teve resultados convergentes com a análise histopatológica do tecido pulmonar do animal, o que mostra a potencialidade do aparelho em diagnosticar os distúrbios no parênquima pulmonar. Grupos de pesquisas no mundo tem publicado sobre a aplicação da TIE como recurso de otimizar o recurso da VM . Aspectos das técnicas têm a necessidade de evoluir mais, como exemplo sua resolução. Sendo melhorada, poderá aumentar sua aplicação em um número maior de patologias do pulmão, ou mesmo de outros órgãos, porém não é algo tão necessário - a busca de uma imagem com uma resolução maior -, pois a TIE não pretende substituir até

agora as técnicas de imagens existentes, mas sim complementar lacunas como a monitoração, que é muito difícil pensar numa tarefa como essa sendo realizada por uma técnica que utiliza radiação ionizante, por exemplo. Mas o que esse trabalho nos mostra é que é possível detectar distúrbios no pulmão em tempo real com a utilização da TIE.

Futuramente é possível pensar no uso da técnica no fenômeno do trauma, uma grande causa de mortalidade e morbidade na sociedade brasileira. Dos traumas que acometem a população brasileira, se destacam o trauma automobilístico e de arma de fogo, e esses acometem de maneira significativa a região do tórax, área do corpo que tem sido objeto de aplicação da técnica TIE. Já que ela possui características bem peculiares, como ser portátil (Figura 8), não invasiva, barata e mostra fenômenos ventilatórios no momento que eles acontecem, poderá se tornar um equipamento nas unidades móveis de saúde.



Figura 8.

VII. CONCLUSÃO

Apesar dos artigos encontrados não referirem o uso da TIE diretamente com o objetivo de diagnosticar a atelectasia, se mostrou possível diagnosticar atelectasia, apesar de não ter encontrado nenhum artigo com essa finalidade específica. A maioria dos trabalhos focou no uso da TIE como ferramenta que pretende diminuir a atelectasia e a hiperdistensão dos pulmões, como uma consequência iatrogênica do uso da ventilação mecânica por um período prolongado; e a TIE teve como papel nesses estudos a função de aprimorar o uso da VM com o intuito de aumentar o rendimento da função ventilatória pulmonar, e possivelmente diminuir a lesão pelo uso do VM.

Uma observação realizada durante esse trabalho é que houve aumento das publicações sobre a técnica da TIE, como pode ser visto na plataforma do PubMed.

Durante esse estudo foi possível verificar que as pesquisas envolvendo essa nova técnica têm capacidade de transcender as aplicações em doenças pulmonares, como pode ser observado em um determinado trabalho, que mostra a aplicação da técnica com o objetivo de diagnosticar hemorragias tanto superficiais como profundas no cérebro. Foi possível verificar nesse estudo a possibilidade de detectar conteúdos hemorrágicos em torno de 5 ml. Esse exemplo citado vem corroborar com a ideia de que a TIE tem grande potencial de se tornar uma técnica presente na prática médica, assim como as outras técnicas de imagem já existentes.

VIII.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - HOVNANIAN, A.L.D. **Papel da tomografia de impedância elétrica em pacientes portadores de hipertensão arterial pulmonar.** 2013. 111f.. Tese (Doutor em Ciências) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 201.
- 2 - KUMAR, V.; ABBAS, A.K.; FAUSTO, N.; ASTER, J.C. **Robbins & Cotran, bases patológicas das doenças.** Edição 8ª, p.687. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- 3 - JOHNSTON, C.; CARVALHO, W.B. **Atelectasias em pediatria: mecanismos, diagnóstico e tratamento.** Rev Assoc Med Bras 2008; 54(5): 455-60.
- 4 – PORTO, C.C. *Semiologia Médica.* 7ª ed, p.346. Guanabara Koogan, 2013.
- 5 – BORGES, J.B.; SUAREZ-SIPMANN, F.; BOHM, S.H.; TUSMAN, G.; MELO, A.; MARIPUU, E.; SANDSTRÖM, M.; PARK, M.; COSTA, E.L.V; HEDENSTIERNA,G.; AMATO, M. **Regional lung perfusion estimated by electrical impedance tomography in a piglet model of lung collapse.** J Appl Physiol 112: 225–236, 2012.
- 6 – SCHAEFER, M.S.; WANIA, V.; BASTIN, B.; SCHMALZ, U.; KIENBAUM, P.; BEIDERLINDEN, M.; TRESCHAN, T.A. **Electrical impedance tomography during major open upper abdominal surgery: a pilot-study.** BMC Anesthesiology, 2014.
- 7 – HELLIGE, N.C.;HAHN, G.; HELLIGE, G. **Comment on Borges et al. “Regional lung perfusion estimated by electrical impedance tomography in a piglet model of lung collapse”.** J Appl Physiol 112: 2127, 2012.
- 8 – STANKIEWICZ-RUDNICKI, M.; GASZYNSKI, T. GASZYNSK, W. **Assessment of regional ventilation in acute respiratory distress syndrome by electrical impedance tomography.** Anaesthesiology Intensive Therapy, vol. 47, no 1, 77–81, 2015.
- 9 – BIKKER, I.G.; PREIS, C.; EGAL, M.; BAKKER, J.; GOMMERS,D. **Electrical impedance tomography measured at two thoracic levels can visualize the ventilation distribution changes at the bedside during a decremental positive end-expiratory lung pressure trial.** Critical Care 2011, 15:R193.

- 10 – CABEZA, L.; ABELLA, A.; HERMOSA, C. **Evaluación de las técnicas de fisioterapia mediante tomografía de impedância.** Med Intensiva. 2015;39(1):64.
- 11 – GRYCHTOL, B.; WOLF, G.K.; ADLER, A.; ARNOLD, J.H. **Towards lung EIT image segmentation: automatic classification of lung tissue state from analysis of EIT monitored recruitment manoeuvres.** Physiol. Meas. 31 (2010) S31–S43.
- 12 – MAURI, T.; ERONIA, N.; ABBRUZZESE, C.; MARCOLIN, R.; COPPADORO, A.; SPADARO, S.; PATRONITI, N.; BELLANI, G.; PESENTI, A.; **Effects of sigh on regional lung strain and ventilation heterogeneity in acute respiratory failure patients undergoing assisted mechanical ventilation.** Critical Care Medicine: September 2015, vol 43, Issue 9, p.1823-1831.
- 13 – BORGES, J.B.; HEDENSTIERNA, G.; BERGMAN, J.S.; AMATO, M.B.P.; AVENEL, J.; MONTMERLE-BORGDORFF, S. **First-time imaging of effects of inspired oxygen concentration on regional lung volumes and breathing pattern during hypergravity.** European Journal of Applied Physiology, volume v115, p. 353-363, 2015.
- 14 – VAN DER BURG, P.S.; MIEDEMA, M.; JOHGH, F.H.; VAN KAAM, A.H. **Unilateral atelectasis in a preterm infant monitored with electrical impedance tomography: a case report.** European Journal of Pediatrics, volume 173, p. 1715-1717, 2011.
- 15 – MOENS, Y.; SCHRAMMEL, J.; TUSMAN, G.; AMBRISKO, T.; SOLA, J.; BRUNNER, J.; KOWALCZYK, L.; BOHM, H.S. **Variety of non-invasive continuous monitoring methodologies including electrical impedance tomography provides novel insights into the physiology of lung collapse and recruitment – case report of an anaesthetized horse.** Veterinary Anaesthesia and Analgesia. 41 (2): 196-204, 2014.
- 16 – BODENSTEIN, M.; BIERSCHOCK, S.; BOEHME, S.; WANG, H.; VOGT, A.; KWIECIEN, R. **Influence of fluid and volume state on PaO₂ oscillations in mechanically ventilated pigs.** Journal Experimental Lung Research, volume 39, p. 80-90, 2013.

- 17 – WOLF, G.K.; GÓMEZ-LABERGE, C.; KHEIR, J.N.; ZURAKOWSKI, D.; WALSH, B.K.; ADLER, A.; ARNOLD, J.H. **Reversal of dependent lung collapse predicts response to lung recruitment in children with early acute lung injury.** *Pediatric Critical Care Medicine*, volume 13, p.509-515, 2012.
- 18 – GRANT, C.A.; FRASER, J.F.; DUNSTER, K.R.; SCHIBLER, A. **The assessment of regional lung mechanics with electrical impedance tomography: a pilot study during recruitment manoeuvres.** *Intensive Care Medicine*, volume 35, p. 166-170, 2009.
- 19 – WRIGGE, H.; ZINSERLING, J.; MUDERS, T.; VARELMANN, D.; GÜNTHER, U.; VON DER GROEBEN, C.; MAGNUSSON, A.; HEDENSTIERNA, G.; PUTENSEN, C. **Electrical impedance tomography compared with thoracic computed tomography during a slow inflation maneuver in experimental models of lung injury.** *Critical Care Medicine*, volume 36, p.903-909, 2008.
- 20 – NEBUYA, S.; KOIKE, T.; HIMAI, H.; IWASHITA, Y.; BROWN, B.H.; SOMA, K. **Feasibility of using ‘lung density’ values estimated from EIT images for clinical diagnosis of lung abnormalities in mechanically ventilated ICU patients.** *Institute of Physics and Engineering in Medicine. Physiol. Meas.* 36(2015)1261–1271. UK, 2015.
- 21 – GOMEZ-LABERGE, C.; ARNOLD, J.H.; WOLF, G.K. **A unified approach for EIT imaging of regional overdistension and atelectasis in acute lung injury.** *IEEE Transactions on Medical Imaging*, volume 31, p.834-842, 2012.
- 22 – GÓMEZ-LABERGE, C.; RETTING, J.S.; SMALLWOOD, C.D.; BOYD, T.K.; ARNOLD, J.H.; WOLF, G.K. **Interaction of dependent and non-dependent regions of the acutely injured lung during a stepwise recruitment maneuver.** *Physiological Measurement*, volume 34, number 2, 2013.
- 23 – AMATO, M.B.P.; CARVALHO, C.R.R.; ÍSOLA, A.; VIEIRA, S.; ROTMAN, V.; MOOCK, M.; JOSÉ, A.; FRANCA, S. **Ventilação mecânica na Lesão Pulmonar Aguda (LPA)/Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA).** *J Bras Pneumol.* 2007;33(Supl 2):S 119-S 12.

24 – NARDELLI, L.M.; GARCIA, C.S.N.B.; PÁSSARO, C.P.; ROCCO, P.R.M.

Entendendo os Mecanismos Determinantes da Lesão Pulmonar Induzida pela Ventilação Mecânica. Revista Brasileira de Terapia Intensiva Vol. 19 Nº 4, Outubro-Dezembro, 2007.

25 – BUGEDO, G.; TOBAR, E.; AGUIRRE, M.; GONZALEZ, H.; GODOY, J.; LIRA, M.T.; LORA, P.; ENCALADA, E.; HERNANDEZ, A.; TOMICIC, V.; CASTRO, J.; JARA, J.; ANDRESEN, M.; UGARTE, H. **Implantação de protocolo de redução de sedação profunda baseado em analgesia comprovadamente seguro e factível em pacientes submetidos à ventilação mecânica.** Rev Bras Ter Intensiva. 2013;25(3):188-196.

26 – CARVALHO, C.R.R.; JUNIOR, C.T.; FRANCA, S.A. **Ventilação mecânica: princípios, análise gráfica e modalidades ventilatórias.** J Bras Pneumol. 2007;33(Supl 2):S 54-S 70.

27 - MENIN, O.H. **Métodos do elemento de contorno para tomografia de Impedância Elétrica.** 2009. 71 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Física aplicada à Medicina e Biologia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

28 - Tornando a ventilação visível. Disponível em:

<https://www.draeger.com/Products/Content/pulmovista_500_baixa.pdf>. Acesso em 12 de janeiro de 2017.

29 - PETERS, F.C. **Estratégia para a solução numérica do problema inverso da identificação de inclusões em domínio condutor.** 2010. 138f.. Dissertação (Grau de Mestre) – Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional da Universidade de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.