



**MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA MINIMAMENTE INVASIVA E
SIMULAÇÃO NA ÁREA DE SAÚDE**

VÍTOR NOGUEIRA ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE EXERCÍCIOS DE SIMULAÇÃO
VIRTUAL *ONLINE* NA PLATAFORMA XLUNG PARA ENSINO EM VENTILAÇÃO
MECÂNICA**

FORTALEZA

2017

VÍTOR NOGUEIRA ARAÚJO

DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE EXERCÍCIOS DE SIMULAÇÃO
VIRTUAL *ONLINE* NA PLATAFORMA XLUNG PARA ENSINO EM VENTILAÇÃO
MECÂNICA

Dissertação do Curso de Mestrado Profissional em Tecnologia Minimamente Invasiva e Simulação na Área de Saúde do Centro Universitário Christus (Unichristus), como requisito para defesa do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alcântara Holanda.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Kelly da Silveira Carvalho.

FORTALEZA

2017

Ficha Catalográfica elaborada por Dayane Paula Ferreira Mota – Bibliotecária – CRB-3/1310

A663d Araújo, Vítor Nogueira.

Desenvolvimento de um módulo de exercícios de simulação virtual online na plataforma xlung para ensino em ventilação mecânica / Vítor Nogueira Araújo. – 2017.

93 f. : il. ; color.

Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Christus - Unichristus, Mestrado Profissional em Tecnologia Minimamente Invasiva e Simulação na Área de Saúde, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Alcântara Holanda.

Coorientação: Prof^a. Dr^a. Andrea Kelly da Silveira Carvalho.

Área de concentração: Simulação no ensino da área cirúrgica.

1. Respiração. 2. Simulação. 3. Software. 4. Ensino. 5. Feedback formativo. I. Título.

CDD 615.836

VÍTOR NOGUEIRA ARAÚJO

DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE EXERCÍCIOS DE SIMULAÇÃO
VIRTUAL *ONLINE* NA PLATAFORMA XLUNG PARA ENSINO EM VENTILAÇÃO
MECÂNICA

Dissertação do Curso de Mestrado Profissional em Tecnologia Minimamente Invasiva e Simulação na Área de Saúde do Centro Universitário Christus (Unichristus), como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alcântara Holanda.

Aprovada em: 28/08/2017.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Marcelo Alcântara Holanda (Orientador)
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Dr. Arnaldo Aires Peixoto Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Mirizana Alves de Almeida
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

DEDICATÓRIA

À minha família, meu bem maior, pelo amor e momentos inesquecíveis.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Tarcísio e Isis, pois com eles aprendi a importância da educação e da ética na formação do caráter de um indivíduo. Tenho-os como modelo e tento seguir seus passos.

Aos meus irmãos, Raquel e Leonardo, pela companhia e amizade. Apesar da distância, sinto-os muito próximo.

À minha esposa, Naara, que tem sido parceira neste e em outros projetos. Sem ela, nada disso seria possível, nem faria sentido.

Aos meus filhos queridos, Clarice, Vinícius e Pedro, pelos momentos inesquecíveis e pela descoberta do amor incondicional. Os meninos, Vinicius e Pedro, nasceram durante o curso do mestrado.

À minha avó Anete pelo carinho e os ensinamentos da vida. Tornou o começo da minha vida bem mais leve, podendo dedicar meu tempo ao que realmente me é importante, a família.

À minha avó Maria, pelo carinho, pela convivência sempre agradável e pelas deliciosas caixas de chocolate.

Aos meus amigos, que tornaram esta caminhada mais divertida.

Ao meu compadre Germano, por me incentivar no surfe, proporcionando momentos de relaxamento importantes para o equilíbrio mental.

Ao meu orientador, pelos ensinamentos e por conduzir de forma tranquila e segura todo este processo, mostrando o caminho e o “Norte” a ser seguido.

À minha co-orientadora, pela sintonia fina com o restante do time, fazendo muito bem o “meio de campo” e por suas valiosas dicas na apresentação oral.

À Unichristus, por criar as condições necessárias para meu desenvolvimento profissional.

Aos meus professores, pelos conhecimentos e dicas valiosas.

RESUMO

A ventilação mecânica (VM) é um suporte de vida fundamental no tratamento de pacientes graves em insuficiência respiratória. Realizar treinamento prático nessa área é tarefa complexa e dispendiosa, que não permite a abrangência de um grande número de alunos, dificultando a sua universalização. A segurança do paciente é outro fator limitante, implicando na preferência por simulação como a técnica ideal. Preenchendo esta lacuna, a plataforma Xlung foi desenvolvida para o ensino de VM tendo por base a simulação virtual *online*, com o objetivo de tornar mais eficiente e acessível o ensino deste tema. Para tanto, conta com um simulador virtual, o Xlung 2.0, que possibilita ao professor e ao aluno aprenderem por simulações que reproduzam, da forma mais realística possível, a situação a ser vivenciada, utilizando ferramentas de ensino à distância. A experiência e a eficiência de sua utilização podem ser aprimoradas com o desenvolvimento de um programa que ajude na elaboração e resolução de exercícios simulados, um Módulo de Exercícios (ME) de simulação virtual *online*. Esta pesquisa objetivou, portanto, desenvolver um ME de simulação virtual *online* na plataforma Xlung para ensino em VM. A metodologia consistiu no desenvolvimento de *softwares* para o ME Xlung. Realizou-se pesquisa bibliográfica da literatura, tendo início em abril de 2015, com consulta feita aos bancos de dados *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE) e *Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde* (LILACS) através, respectivamente, dos sites de busca PubMed e BIREME. Reuniões sistemáticas foram realizadas entre os integrantes da pesquisa para a concepção e a prototipagem dos *softwares* do ME. O desenvolvimento do ME foi dividido em duas etapas: o sistema de elaboração (E) e o de resolução (R) de exercícios. Cada etapa objetivou desenvolver um *software* com requisitos e funções distintas e complementares entre si. Na primeira, o docente (professor) cumpre os seguintes passos: E1, definição dos objetivos instrucionais e grau de dificuldade ou complexidade do exercício; E2, descrição do cenário clínico; E3, determinação da tarefa ou missão a ser executada; E4, configuração da simulação; E5, definição do gabarito ou solução do exercício; e E6, definição da pontuação e do *feedback*. Na segunda, o discente (aluno) executa os seguintes passos: R1, visualização, seleção e carregamento do exercício; R2, execução com início e término da simulação; R3, salvamento da resposta; R4, envio da resposta; e R5, visualização do gabarito, da pontuação e do *feedback*. Um *minimum viable product* foi desenvolvido. *Experts* avaliaram a performance do protótipo através de testes dos princípios heurísticos. Foram criados seis exercícios com variados graus de complexidade, segundo a taxonomia de Bloom dos processos cognitivos. Dois códigos de *softwares* foram submetidos a registro no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI). O ME está pronto para ser testado por professores e alunos. Ele tem um grande potencial de agregar valor significativo ao simulador virtual de VM Xlung, expandindo sua usabilidade mundialmente.

Palavras-chave: Respiração. Respiração Artificial. Ventilação. Ventilação Pulmonar. Software. Simulação. Simulação por Computador. Ensino. Feedback formativo.

ABSTRACT

Mechanical ventilation (MV) is a fundamental life support in the treatment of critically ill patients with respiratory failure. To accomplish practical training in this area is a complex and costly task that does not allow for a vast number of students, impairing the possibility of education in a large-scale. Patient's safety is another limiting factor, implying preference for simulation as ideal technique. To fill in this gap, Xlung platform was developed to teach mechanical ventilation based on online virtual simulation. It relies on a virtual simulator, the Xlung 2.0 which enables teacher and student to learn via simulations that recreate real scenarios in the most realistic way possible with advantages of incorporating e-learning tools. The experience and efficiency of its use can be further improved with the development of software that helps in the elaboration and resolution of simulated exercises, an online virtual assignments module. This research aims to develop a system module of online virtual assignments applied to teaching of mechanical ventilation on Xlung Platform. Methodology consisted in the development of software for the online virtual simulation ME Xlung for MV teaching applications. The bibliographical research began in April 2015, with consultations to the Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE) e Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) databases via the PubMed and BIREME search engines, respectively. Systematic meetings took place among the research party for the conception and prototyping of the ME software. The ME development was divided into two stages: the method of exercise elaboration (E) and the resolution (R) of exercises. The objective of each stage was to develop software with specific requirements and functions both distinct and complementary. On the first stage, the faculty (teacher) carries out following steps in exercise creation: E1, definition of educational objectives and level of difficulty or complexity of the exercise; E2, description of the clinical scenario; E3, determination of the task or mission to be carried out; E4, configuration of the simulation; E5, definition of the answer key or solution of the exercise; and E6, interpretation of the score and feedback. On the second stage, the student carries out the following steps: R1, visualization, selection and loading of the exercise; R2, Execution with start and end of the simulation; R3, saving of the answer; R4, submission of the response; and R5, visualization of the reply key, score, and feedback. A minimum viable product was developed. Experts that evaluated heuristic principles tested the performance of this prototype. Six exercises with various degrees of complexity according to the Bloom taxonomy of cognitive processes were created. Two softwares codes were submitted for registration in the Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI). The exercise module is ready now for tests from real teachers and students. It has a great potential to aggregate significant value for the mechanical ventilation virtual simulator xlung expanding its usability worldwide.

Keywords: Respiration. Respiration, Artificial. Ventilation. Pulmonary Ventilation. Software. Simulation. Computer Simulation. Teaching. Formative Feedback.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Tela principal do simulador Xlung 2.0..... | 23 |
| Figura 2 – Esquema passo-a-passo para elaboração de exercícios de simulação <i>online</i> de ventilação mecânica..... | 28 |
| Figura 3 – Esquema ilustrando requisito de identificação do professor com <i>login</i> e senha do Módulo de exercícios..... | 28 |
| Figura 4 – Ilustração conceitual para acesso aos exercícios de simulação na Plataforma xlung.net..... | 30 |
| Figura 5 – Configuração inicial da simulação: ajuste obrigatório dos parâmetros do paciente virtual (dados demográficos, fisiologia pulmonar e esforço muscular) no simulador Xlung 2.0..... | 36 |
| Figura 6 – Módulos ventilatórios disponíveis para Xlung versão 2.0: assistido/controlado com ciclagem a volume; assistido/controlado com pressão limitada, ciclado a tempo; ventilação com pressão de suporte; e pressão contínua em vias aéreas..... | 38 |
| Figura 7 – Gráfico das curvas de mecânica respiratória disponíveis no Xlung 2.0: volume x tempo; fluxo x tempo; e pressão x tempo..... | 40 |
| Figura 8 – Gráfico do normograma de equilíbrio ácido-base no Xlung 2.0. | 41 |
| Figura 9 – Esquema ilustrando a elaboração de uma simulação no Módulo de exercícios..... | 43 |
| Figura 10 – Fluxograma para resolução de exercícios simulados no Xlung..... | 44 |
| Figura 11 – Esquema ilustrando requisito de identificação do aluno com <i>login</i> e senha no módulo para resolução de exercícios..... | 45 |
| Figura 12 – Esquema ilustrando o passo R1 do Módulo de exercícios. O aluno visualiza, seleciona e carrega o exercício proposto..... | 46 |
| Figura 13 – Esquema ilustrando o passo R2 do Módulo de exercícios. O aluno resolve o exercício proposto..... | 47 |
| Figura 14 – Esquema ilustrando o passo R3 do Módulo de exercícios – salvamento do exercício..... | 48 |
| Figura 15 – Esquema ilustrando o passo R4 do Módulo de exercícios – envio do exercício..... | 48 |
| Figura 16 – Esquema ilustrando o passo R5 do Módulo de exercícios – gabarito, pontuação e <i>feedback</i> do exercício..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 17 – Pirâmide de habilidades requeridas para o aprendizado estruturado dos modos ventilatórios (azul) e os verbos utilizados pela taxonomia de Bloom revisada (verde)..... | 53 |
| Figura 18 – Janela para o passo E1 do protótipo do Módulo de Exercícios: definição dos objetivos de aprendizagem e do grau de dificuldade..... | 57 |
| Figura 19 – Janela para o passo E2 do protótipo do Módulo de Exercícios: elaboração do cenário clínico e inserção de mídia..... | 58 |
| Figura 20 – Janela para o Passo E3 do protótipo do Módulo de Exercícios: definição da tarefa explícita a ser cumprida e do tempo disponível..... | 59 |
| Figura 21 – Janela para o Passo E4 do protótipo do Módulo de Exercícios: configuração da simulação (paciente, ambiente e ventilador), tanto no início, quanto no decorrer do exercício..... | 60 |
| Figura 22 – Janela para o Passo E4 do protótipo do Módulo de Exercícios: configuração da seleção de opções de visualização para o aluno. Permite ao elaborador definir a visualização dos parâmetros..... | 61 |
| Figura 23 – Janela para o Passo E5 do protótipo do Módulo de Exercícios: resolução do exercício – permite ao professor simular, resolver e salvar a simulação em ventilação mecânica..... | 62 |
| Figura 24 – Janela para o Passo E6 do protótipo do Módulo de Exercícios: resultados esperados. Permite a definição das faixas de respostas consideradas corretas pelo professor..... | 63 |
| Figura 25 – Janela para o Passo E6 do protótipo do Módulo de Exercícios: sistema de pontuação. Permite a visualização dos detalhes dos itens avaliados (peso, porcentagem de acerto e intervalo de valores, mínimo e máximo, considerados corretos)..... | 64 |
| Figura 26 – Janela para o Passo R1 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: visualização, seleção e carregamento de exercícios. Permite a seleção e abertura do exercício..... | 65 |
| Figura 27 – Janela para o Passo R2 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: início da resolução do exercício..... | 66 |
| Figura 28 – Janela para o Passo R2 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: término da resolução do exercício..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 29 – Janela para o Passo R5 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: gabarito, pontuação e <i>feedback</i> . Permite ao aluno a visualização de erros e acertos do exercício simulado..... | 67 |
| Figura 30 – Configuração inicial do caso clínico 1..... | 74 |
| Figura 31 – Configuração inicial do caso clínico 2..... | 75 |
| Figura 32 – Configuração inicial do caso clínico 3..... | 76 |
| Figura 33 – Configuração inicial do caso clínico 4..... | 79 |
| Figura 34 – Gasometria arterial após ajuste do volume corrente para 6ml/kg.. | 79 |
| Figura 35 – Gasometria arterial após ajuste da frequência respiratória para 26irpm..... | 80 |
| Figura 36 – Configuração inicial do caso clínico 5..... | 81 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Fórmula para cálculo do peso predito utilizado na ventilação mecânica. | 33 |
| Quadro 2 – Tipos de distúrbios metabólicos..... | 34 |
| Quadro 3 – Condições clínicas pré-definidas do paciente virtual para exercícios simulados no simulador Xlung 2.0..... | 35 |

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A/C – assistido-controlado

AIP – *Application Program Interface*

BE – *base excess*, ou excesso de bases

CPAP – pressão positiva contínua em vias aéreas

Cst – complacência estática

Delta P – pressão acima da PEEP

DPOC – doença pulmonar obstrutiva crônica

Driving P. – diferença entre pressão de platô e PEEP

f – frequência respiratória, número de incursões respiratórias por minuto (irpm)

f/VC – índice de respiração rápida e superficial, ou índice de Tobin

FiO_2 – fração inspirada de oxigênio

H^+ - concentração de íons de hidrogênio

HCO_3^- – concentração de íons bicarbonato de hidrogênio

HTML – *Hypertext Markup Language*

I:E – relação inspiratória:expiratória

IOT – intubação orotraqueal

ME – módulo de exercícios

MongoDB – é uma aplicação de código aberto, de alta performance, sem esquemas, orientado a documentos e escrito na linguagem de programação

P0.1 – pausa inspiratória de um décimo de segundo

P_{alv} – pressão alveolar

$PaCO_2$ – pressão parcial de gás carbônico arterial

PaO_2 – pressão parcial de oxigênio arterial

PaO_2/FiO_2 – índice de oxigenação

Pausa insp. – pausa inspiratória. Não permite a abertura da válvula expiratória após o fechamento da válvula inspiratória. As duas permanecem fechadas durante esta pausa.

Pausa exp. – pausa expiratória. Não permite a abertura da válvula inspiratória durante a pausa.

PCV – ventilação pressão controlada

PEEP – pressão positiva no final da expiração

$PEEP_{TOT}$ – PEEP total

pH – logaritmo da concentração de íons hidrogênio de uma solução

P_{mus} – pressão muscular desencadeada pelo diafragma e demais musculaturas responsáveis pela inspiração

P. Pico – pressão máxima atingida durante a inspiração

$P_{plateau}$ – pressão obtida a partir da pausa inspiratória quando no gráfico estabiliza num valor constante (platô)

PSV – pressão de suporte ventilatório

PTP – produto pressão tempo

P_{va} – pressão de vias aéreas

RASS - *Richmond Agitation Sedation Scale*

RCP – ressuscitação cardiopulmonar

ReactJS – é uma biblioteca JavaScript de código aberto para criar interfaces de usuário e mantida pelo Facebook

SARA – síndrome da angústia respiratória aguda

SpO₂ – saturação da onda de pulso

SVVM – simuladores virtuais de ventilação mecânica

TCLE – termo de consentimento livre e esclarecido

T. exp. – tempo expiratório

T. insp. – tempo de inspiração

T. subida – tempo de subida da curva de pressão durante a inspiração no modo A/C
PCV

T_{TOT.} – tempo total do ciclo respiratório (soma dos tempos insp. e exp.)

UTI – unidade de terapia intensiva

VC_e – volume corrente expiratório

VC_i – volume corrente inspiratório

VCV – ventilação volume controlado

VD/VT – espaço morto, onde VD significa *dead volume* e VT, *total volume*

VE – volume minuto, volume em litros durante um minuto. Obtém-se esse valor multiplicando-se frequência respiratória por volume corrente.

VM – ventilação mecânica

W – trabalho respiratório

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1. | Ventilação mecânica..... | 17 |
| 1.2. | Simulação em ensino de profissionais de saúde | 20 |
| 1.3. | Plataforma Xlung..... | 21 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 24 |
| 3 | OBJETIVO | 25 |
| 4 | METODOLOGIA | 26 |
| 4.1. | Tipo de estudo..... | 26 |
| 4.2. | Critério de seleção das referências..... | 26 |
| 4.3. | Desenvolvimento do Módulo de Exercícios de simulação virtual online aplicado ao ensino em VM..... | 26 |
| 4.3.1. | Local e período..... | 26 |
| 4.3.2. | Materiais..... | 26 |
| 4.3.3. | Requisitos do Módulo de Exercícios..... | 27 |
| 4.3.4. | Método usado no desenvolvimento de <i>software</i> | 29 |
| 4.3.5. | Concepção, desenvolvimento e prototipagem do Módulo de Exercícios (passo a passo)..... | 30 |
| | ETAPA I – Elaboração de Exercícios..... | 31 |
| | PASSO E1 – Objetivos de aprendizagem e grau de dificuldade e complexidade..... | 31 |
| | PASSO E2 – Cenário clínico | 32 |
| | PASSO E3 – Tarefa..... | 32 |

| | |
|--|-----------|
| PASSO E4 – Configuração da simulação..... | 32 |
| a. Paciente..... | 33 |
| b. Ambiente..... | 36 |
| c. Ventilador mecânico..... | 36 |
| – Seleção de visualização..... | 41 |
| PASSO E5 – Resolução do exercício..... | 42 |
| PASSO E6 – Pontuação e <i>feedback</i> | 42 |
| ETAPA II – Resolução de Exercícios..... | 44 |
| PASSO R1 – Visualização, seleção e carregamento do exercício..... | 45 |
| PASSO R2 – Execução da simulação..... | 46 |
| PASSO R3 – Salvamento da resposta..... | 47 |
| PASSO R4 – Envio da resposta..... | 48 |
| PASSO R5 – Visualização do gabarito, da pontuação e do <i>feedback</i> | 49 |
| 4.3.6. Interface usuário-máquina..... | 50 |
| 4.3.7. Construção dos casos clínicos..... | 52 |
| 4.4.8. Considerações éticas..... | 55 |
| 5 RESULTADOS..... | 55 |
| 6 DISCUSSÃO..... | 68 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 70 |
| REFERÊNCIAS..... | 71 |
| Apêndice A – Casos clínicos..... | 75 |

| | |
|---|----|
| Apêndice B – Função de ajuda para estruturação dos casos clínicos..... | 85 |
| Apêndice C – Autorização do comitê de ética em pesquisa..... | 87 |
| Apêndice D – Termo de consentimento livre e esclarecido..... | 88 |
| ANEXO A – Questionário de usabilidade do Módulo de Exercícios (princípios heurísticos)..... | 91 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Ventilação mecânica

A ventilação pulmonar com pressão positiva foi primeiramente descrita pelo belga Andreas Vesalius em seu tratado de anatomia intitulado *De Humani Corporis Fabrica* e publicado em 1543 (SLUTSKY, 2015; KARCZ et al., 2012). O trecho a seguir ilustra a aplicação de ventilação com pressão positiva à época e que guarda similaridades com a dos dias atuais:

“but that life may be restored to animal, an opening must be attempted in the trunk of the trachea, into which a tube of reed or cane should be put; you will then blow into this, so that the lung may rise again and take air” APUD (SLUTSKY, 2015).

Entretanto, muito tempo se passou até que se idealizasse o primeiro pulmão de ferro, “*spirophore*”, como foi chamado por Alfred Woillez, em 1876. (SLUTSKY, 2015). Em 1929, Drinker and Shaw desenvolveram “um aparato para a respiração artificial de administração prolongada”, o primeiro dos ventiladores a pressão negativa a ser usado amplamente, denominado, à época, de pulmão de aço (tradução adaptada para “*iron lung*”). Nesta época, a VM parecia ter utilidade, mas ainda não tinha o seu uso difundido na prática clínica. (DRINKER, 1928).

Em 1952, um ano após a Conferência Internacional de Poliomielite, que reuniu especialistas de todo o mundo em Copenhague na Dinamarca, ocorreu um surto desta doença na cidade. A enfermidade acometeu milhares de pessoas, muitos evoluíram com quadro clínico grave de insuficiência respiratória do tipo ventilatória, levando cerca de 50 pacientes por dia a se internarem no hospital de referência para doenças infecciosas. A letalidade era alta, com taxas de mortalidade de 80%. Neste contexto de demanda excessiva pelo serviço de saúde, o anestesista Bjorn Ibsen propôs o tratamento com traqueotomia e ventilação manual com bolsa, reduzindo drasticamente a mortalidade para 40% (LASSEN, 1953). Nasceram assim a VM com pressão positiva e a unidade de terapia intensiva (UTI), como espaço especializado para cuidado desses pacientes.

O acometimento por doenças que levam à insuficiência respiratória hipoxêmica, aumentando o gradiente alvéolo-arterial de oxigênio, gerou a demanda

por um outro tipo de ventilador mecânico, pois os “pulmões de aço” não mais supriam as necessidades (ASHBAUGH et al., 1967).

A pressão positiva tornou-se a força motriz da ventilação artificial, invertendo a lógica da fisiologia respiratória, na qual a contração diafragmática “negativa” a pressão intratorácica em relação à pressão atmosférica. Esta nova forma de VM permitiu o tratamento de diversas enfermidades que comprometem a troca gasosa pulmonar, salvando a vida de pacientes graves, possibilitando a realização de procedimentos cirúrgicos complexos e melhorando a qualidade de vida de pacientes com insuficiência respiratória crônica (SLUTSKY, 2015; KARCZ et al., 2012).

Com o advento da computação, os ventiladores mecânicos têm incorporado mais tecnologia, possibilitando novos modos ventilatórios (SUAREZ-SIPMANN, 2014; AL-HEGELAN, 2013) e recursos gráficos que permitem um melhor monitoramento do paciente (CHATBURN, 2007). Porém, apesar de todo o aparato tecnológico, a morbimortalidade das doenças nas UTIs que requerem VM permanece alta (KAUKONEN et al., 2015; DEFINITION, 2012). Por outro lado, intervenções ou manobras ventilatórias específicas reduzem ainda mais a morbimortalidade de pacientes com necessidade de suporte ventilatório tais como: VM protetora (baixos volumes correntes 4-6ml/kg e pressão de platô menor que 30cmH₂O) (AMATO et al., 1998; MATTHAY; HOPKINS, 2000; HICKLING, 1990; PETRUCCI; IACOVELLI, 2007; PUTENSEN; THEUERKAUF, 2009); uso de PEEP elevada (REVIEW et al., 2016); posição prona (GUÉRIN et al., 2013); *driving pressure* menor que 15cmH₂O (AMATO, 2015); e ventilação não invasiva em pacientes com exacerbação de Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) (CABRINI et al., 2015; SOMAND; REMINGTON, 2005)

Atualmente, o uso da VM nas UTIs e unidades de emergência tem se tornado cada vez mais comum, fazendo com que os profissionais da área de saúde se defrontem mais frequentemente e precocemente em suas carreiras com pacientes em suporte ventilatório, sendo necessário o treinamento em larga escala de equipes multiprofissionais que atuam na área (CLEMMER, 2004; RICHARD; KACMAREK, 2009).

Entretanto, a falta de conhecimento teórico dos conceitos da VM e a inabilidade prática no manuseio destes aparelhos têm levado os pacientes a uma exposição maior de riscos, resultando em tempo de VM e de internamento prolongados, maior morbidade e menor sobrevida (BION; ABRUSCI; HIBBERT, 2010;

RICHARD; KACMAREK, 2009). Em estudo de avaliação da eficácia do treinamento em VM de 347 residentes, mais da metade dos mesmos administraram incorretamente o volume corrente em pacientes com Síndrome da Angústia Respiratória Aguda (SARA). Houve ainda uma taxa de quase metade dos participantes dizendo-se insatisfeitos com o treinamento recebido em VM (COX et al., 2003).

Dentre as dificuldades para o ensino da VM para estudantes e profissionais de saúde, encontram-se limitações nas esferas curricular, logística e na segurança do paciente. Tanto os currículos dos cursos de Medicina, Enfermagem e de Fisioterapia, quanto os programas de pós-graduação *Lato sensu* (como as residências médicas e multiprofissionais) não priorizam o ensino dos conceitos da VM, bem como seu manejo (WILCOX et al., 2014; BINSTADT et al., 2007; DAMUTH et al., 2015).

A logística para se implementar o treinamento prático nesta área é bastante complexa, uma vez que requer uma infraestrutura dispendiosa e que não permite uma abrangência grande de alunos, dificultando uma massificação do ensino (GREENHALGH, 2001). A segurança do paciente tem se tornado um outro fator limitante importante no ensino tradicional, mudando o paradigma e fazendo com que, obrigatoriamente, se pratique em manequins e simuladores antes de fazê-lo com o doente (BINSTADT et al., 2007; MCGAGHIE et al., 2011; BION; ABRUSCI; HIBBERT, 2010).

No Brasil, o Ministério da Educação, através da Resolução nº 3, de 20 de junho de 2014, institui diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em Medicina que recomendam o uso de simulação:

“Art. 7º, IV - aprender em situações e ambientes protegidos e controlados, ou em simulações da realidade, identificando e avaliando o erro, como insumo da aprendizagem profissional e organizacional e como suporte pedagógico.”

Entretanto, na prática, os graduandos têm poucas oportunidades de aprender através de simuladores, limitando o aprendizado e expondo os pacientes a riscos desnecessários (TALLO et al., 2017).

Apesar de preconizada pelo Ministério da Saúde e das evidências que justificam o seu uso no ensino em saúde (MCGAGHIE et al., 2010; COOK, 2014), a simulação como ferramenta pedagógica ainda não está amplamente difundida no

Brasil (MARIANI; PÊGO-FERNANDES, 2011). É comum o aluno do curso de Medicina e de outras profissões da área da saúde não terem nenhum contato prático com VM antes do estágio com pacientes reais, não tendo, dessa forma, oportunidade de compreender bem os conceitos sobre o tema e, menos ainda, de treinar e garantir o mínimo de segurança para o paciente ao se deparar com o mesmo na vida real (TALLO et al., 2017). Ao avaliar a efetividade da educação do médico residente em VM, percebe-se que, durante o treinamento prático, médicos residentes não adquirem ganho significativo no conhecimento baseado em evidências necessário para prover um cuidado efetivo de pacientes em VM (COX et al., 2003; TALLO et al., 2017).

1.2 Simulação em ensino de profissionais de saúde

Sabe-se que o uso de simulação é imperativo quando se tem a combinação de eventos que trazem um alto risco de morbimortalidade e poucas oportunidades de treinamento (WAX; KENNY; BURNS, 2006; COOPER; TAQUETI, 2008)

Muitas vezes, a primeira exposição do graduando da área da saúde a determinadas situações críticas se dá durante o estágio clínico com o paciente real. Isso é ainda mais grave em condições de urgência e emergência, nas quais o tempo de resposta e precisão na ação por parte do profissional tem que ser o menor possível (COX et al., 2003).

Na literatura, a importância do uso da simulação no ensino dos profissionais da área de saúde parece estar consolidada, pois garante o aprendizado centrado no aluno, permitindo repetições, quando necessárias, e *feedback* imediato de suas ações, com maior retenção das informações, sem trazer riscos para os pacientes (MORGAN; CLEAVE-HOGG, 2005; COOK, 2014; MCGAGHIE et al., 2011).

Há trabalhos sobre simulação clínica no treinamento de habilidades relacionadas a procedimentos de urgência e emergência, tais como, assistência à parada cardiorrespiratória, intubação orotraqueal (IOT) e procedimentos cirúrgicos em geral (BRYDGES et al., 2015; MIYADAHIRA et al., 2008).

Porém, traçando-se um paralelo entre a abordagem inicial no atendimento ao doente crítico no formato ABCDE - onde "A" significa vias aéreas; "B" respiração; "C", circulação; "D", déficit neurológico; e "E", exposição do paciente - e as publicações encontradas em revisão de literatura, há artigos versando sobre simulações em intubação orotraqueal, referente aos itens "A" e "B", e em

ressuscitação cardiopulmonar (RCP), correspondente ao “C”; mas muito pouco sobre o manejo da ventilação mecânica pós-intubação (BRYDGES et al., 2015; COOK, 2014).

O sucesso de qualquer tratamento, entretanto, está relacionado à abordagem integral do paciente. Dessa forma, os futuros médicos não deveriam ser capacitados somente para IOT ou RCP, mas também para o ajuste inicial e manejo da ventilação mecânica (WILCOX et al., 2014; O'BOYLE et al., 2014)

Mais recentemente, tem-se desenvolvido alguns *softwares* de simulação (Evita[®], Hamilton[®], Interplus[®], Servo 900[®], Beta[®], ventilação virtual[®], ferramenta de educação baseada em simulação para VNI[®], Xlung[®]) com o objetivo de treinamento no manejo da VM com pressão positiva (LINO et al., 2016). Dentre as vantagens deste tipo de treinamento estão: a possibilidade de quantas repetições o usuário desejar sem risco para o paciente e a possibilidade do ensino à distância com *feedback* imediato, tornando a capacitação do aluno mais barata, acessível e eficaz (GREENHALGH, 2001; GRENVIK et al., 2004; WAX; KENNY; BURNS, 2006; MCGAGHIE et al., 2011).

Os simuladores virtuais de VM (SVVM) permitem ao usuário exercitar e assimilar os conceitos da ventilação artificial nos seus diversos modos ventilatórios. Os SVVMs são considerados ferramentas potenciais na educação de profissionais de saúde para o treinamento no manejo da VM. Entretanto, seu uso no ensino ainda é incipiente, tendo em vista que muitos destes simuladores não passaram ainda por testes de usabilidade e validação (LINO et al., 2016).

Dentre os SVVMs disponíveis o *software* Xlung (versão 1.0) disponível na plataforma www.xlung.net mostrou-se aquele com a melhor interface de usabilidade, sendo o único a permitir que a simulação executada seja salva pelo usuário. Outra exclusividade do mesmo é possibilitar a monitorização em tempo real da gasometria arterial e saturação de pulso de um paciente virtual (LINO et al., 2016).

1.3 Plataforma xlung

A plataforma digital para ensino de ventilação mecânica, xlung.net, idealizada pelo Professor Marcelo Alcantara Holanda e desenvolvida pela empresa Xlung Desenvolvimento de *Softwares* Ltda. consiste em um ambiente virtual que tem

como principal ferramenta pedagógica *softwares* de simulação especialmente desenvolvidos para ensino de aspectos básicos e avançados de suporte ventilatório. Ela disponibiliza atualmente 4 simuladores: o Phsyiolung®, o Oxylung®, o Xlung 1.0® e o Xlung 2.0® (DINIZ, 2016).

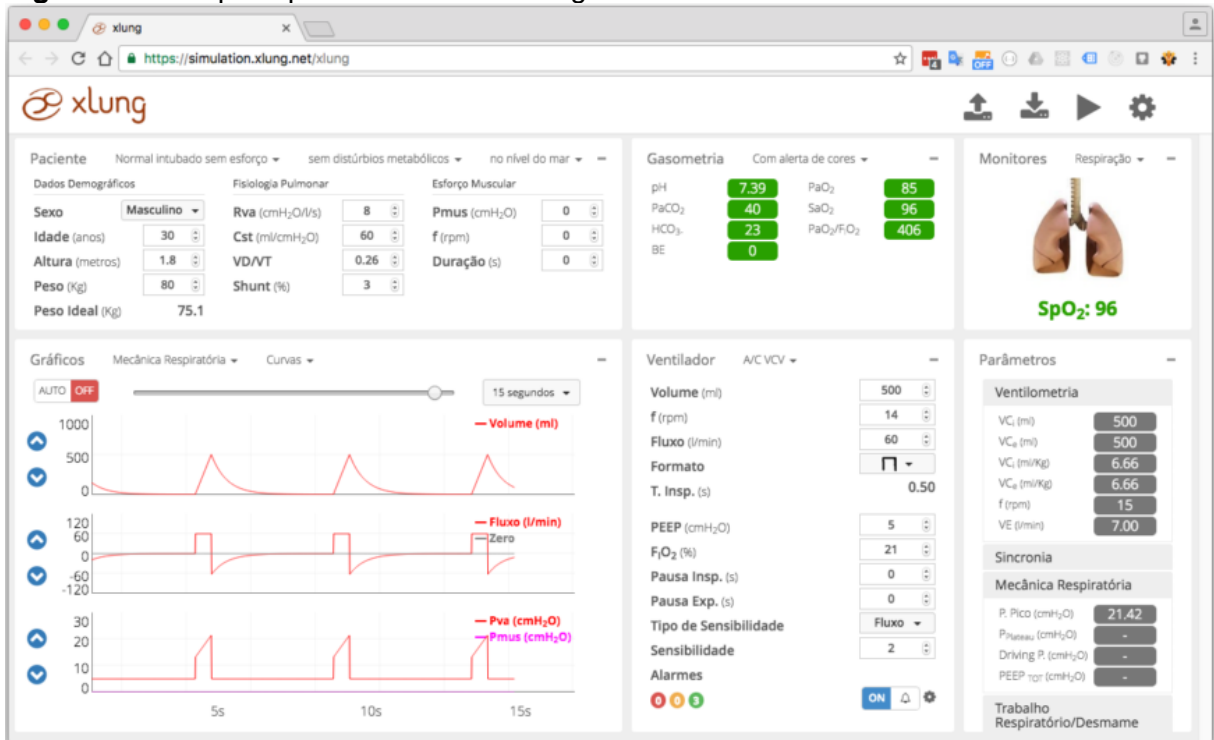
A Plataforma xlung.net permite o ensino e treinamento de graduandos e profissionais da área da saúde (médicos, enfermeiros e fisioterapeutas) de forma *online*, virtual e à distância. Até 17/08/2017, o Xlung tem acessos espalhados por 31 países, contando com a parceria de 16 instituições de ensino.

O simulador virtual Xlung 2.0 possibilita ajustes do ventilador com seus principais modos ventilatório: assistido-controlado a volume (A/C VCV), assistido-controlado a pressão limitada, ciclado a tempo (A/C PCV), pressão de suporte ventilatório (PSV) e pressão positiva contínua em vias aéreas (CPAP) (HOLANDA, 2016); configuração de parâmetros do paciente virtual, incluindo dados demográficos, fisiologia pulmonar, esforço respiratório, condição metabólica; e configurações do ambiente, com ajuste da altitude .

Com o intuito de facilitar o manuseio do simulador, o Xlung 2.0 (Figura 1) dispõe de configurações pré-formatadas do paciente virtual, reproduzindo situações comuns da prática do dia a dia incluídas na função denominada “condição clínica”: indivíduo normal intubado (com ou sem esforço), asma, DPOC, SARA, esta estratificada quanto à gravidade em leve, moderada ou grave. Além disso, o simulador mostra em tempo real diversas variáveis como resultante dos ajustes do ventilador, do paciente e do ambiente, incluindo gráficos (pressão, volume e fluxo *versus* tempo), frequência cardíaca e parâmetros ventilatórios. Para conferir um aspecto ainda mais realista, alguns recursos de monitoração, como gasometria arterial e oximetria de pulso, apresentam um tempo de resposta simulando a prática clínica. Nestes, o sistema determina um atraso da resposta em relação ao comando do usuário (DINIZ, 2016).

Porém, uma área ainda não desenvolvida na Plataforma Xlung é a de elaboração e resolução de exercícios pelos usuários. Nenhum SVVM desenvolvido até o momento permite a confecção de casos clínicos de forma metodologicamente estruturada com aplicação à distância via internet de forma interativa, atrativa e lúdica que facilite o aprendizado (LINO et al., 2016).

Figura 1 – Tela principal do simulador Xlung 2.0



Fonte: (DINIZ, 2016)

2 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que as oportunidades de aprendizado prático em manejo da VM durante a graduação em cursos da área de saúde (Medicina, Enfermagem e Fisioterapia) são escassas, de logística complicada e oferecem riscos para os pacientes. Poucas pesquisas se detêm ao estudo do treinamento de habilidades e competências nesta técnica fundamental de suporte de vida aos pacientes graves. Dessa forma, é imperativa a inserção de modelos de simulação em VM que possam minimizar tais deficiências nos currículos dos profissionais de saúde e a busca por novas ferramentas para esta finalidade. Neste sentido, o desenvolvimento de um Módulo de Exercícios de simulação virtual a ser incorporado como uma nova funcionalidade na Plataforma xlung.net pode agregar grande valor à simulação virtual como ferramenta de treinamento em VM.

Com o Módulo de Exercícios, a Plataforma Xlung possibilitará ao aluno um aprendizado com *feedback* imediato, através da própria evolução e desfecho do caso clínico proposto e por um relatório, que indicará, ao término do exercício, quais os pontos-chave a serem apreendidos e quais informações precisarão ser melhor revistas pelos alunos, inclusive com recomendação de fontes de material didático sobre o tema. Para o corpo docente que atua na área proporcionará a chance de planejar e executar maneiras variadas de ensinar e avaliar habilidades e competências em suporte ventilatório, de modo estruturado, seguindo objetivos instrucionais de variados graus de complexidade, inclusive em larga escala, aproveitando os recursos da plataforma para o ensino virtual à distância.

3 OBJETIVO

Desenvolver um sistema de Módulo de Exercícios de simulação virtual *online* na plataforma Xlung para ensino em ventilação mecânica.

4 METODOLOGIA

4.1. Tipo de estudo

Trata-se de um estudo exploratório para desenvolvimento de *software*, o Módulo de Exercícios de simulação virtual *online* na plataforma Xlung para o ensino em VM.

4.2. Critério de seleção das referências bibliográficas

Foi realizado o início da pesquisa bibliográfica da literatura em abril de 2015, devendo esta ser concluída em julho de 2017, próximo à data de defesa da dissertação.

A consulta feita aos bancos de dados *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE) e *Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde* (LILACS) através, respectivamente, dos sites de busca PubMed e BIREME com os seguintes descritores “simulação” AND “saúde” e “*simulation*” AND “*health*” NOT “*cost*”. No caso da pesquisa no PubMed, acrescentamos os filtros: “*clinical trial, review, <10 anos, humans e >19 anos*”. Buscou-se também artigos nas referências bibliográficas da literatura encontrada a partir da pesquisa inicial.

4.3. Desenvolvimento do Módulo de Exercícios de simulação virtual *online* na plataforma Xlung aplicado ao ensino em VM.

4.3.1. Local e período

O desenvolvimento do Módulo de Exercícios se deu através de reuniões mensais entre o autor desta pesquisa, dois engenheiros de *software*, o orientador e a co-orientadora. Nestas reuniões, na sede da empresa Xlung, situada em Fortaleza (CE), com duração de aproximadamente duas horas em média, foram definidos os requisitos, ou seja, funcionalidades do *software*, e os direcionamentos a serem seguidos. Outros encontros, principalmente virtuais, ocorreram entre o autor da pesquisa e os engenheiros de *software* para executar as metas estabelecidas nas reuniões mensais.

4.3.2. Materiais

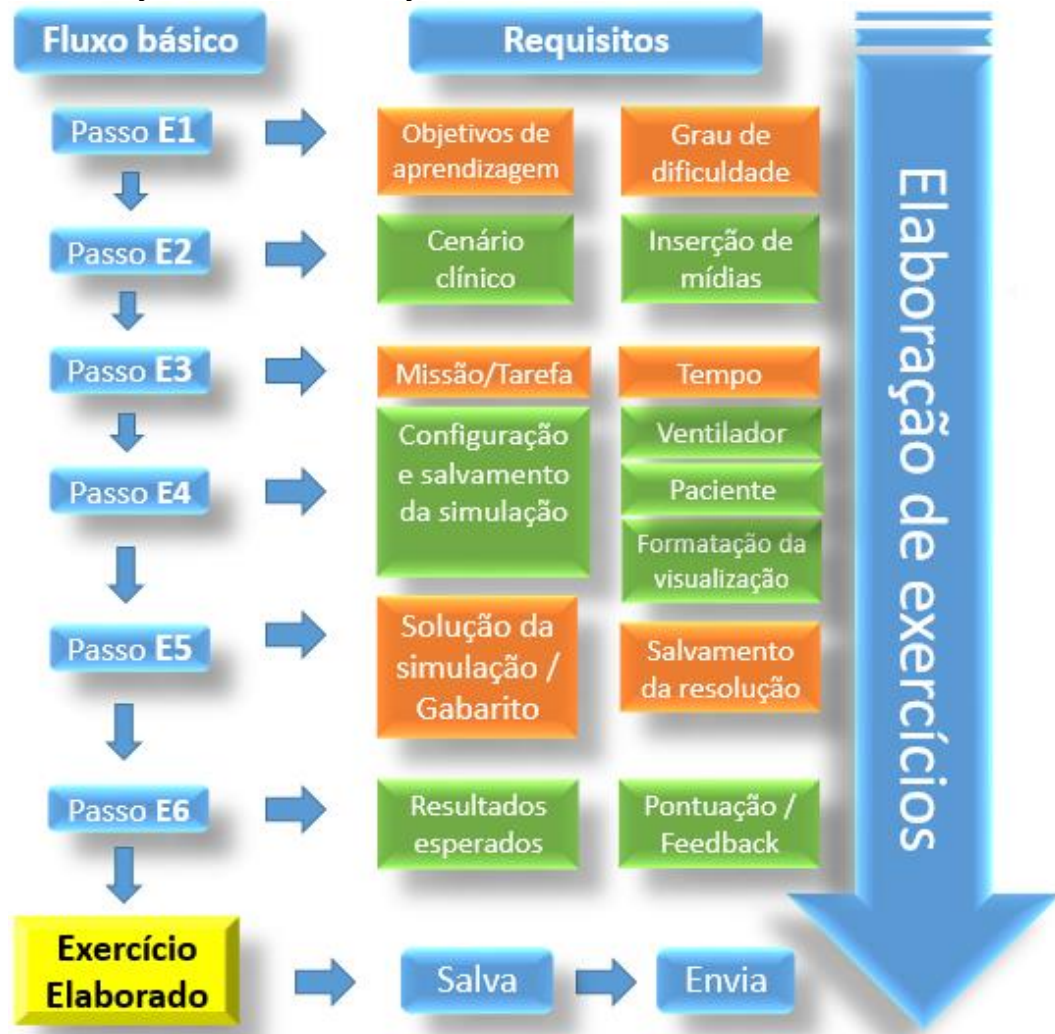
Foram necessários sala de reunião, computador, acesso à internet, além dos serviços de engenharia de *software*.

4.3.3. Requisitos do Módulo de Exercícios

O protótipo do Módulo de Exercícios foi programado por dois engenheiros de *software* a partir das ideias geradas nas reuniões. O protótipo do *software* foi concebido para ser compatível, inicialmente, com computadores em geral, e com a pretensão de o ser também, em um futuro próximo, com dispositivos móveis (*smartphones*, *tabletes*, etc.). Permitirá a elaboração de cenários clínicos na Plataforma Xlung, propiciando ao usuário o aprendizado em VM e a execução de exercícios simulados à distância, onde o professor poderá enviar casos clínicos formatados para serem resolvidos e devolvidos virtualmente ao professor.

Os requisitos do *software* ilustrados na figura 2 estão distribuídos em passos sequenciados do fluxo básico.

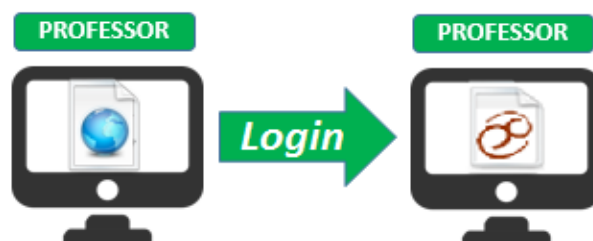
Figura 2 – Esquema passo-a-passo com os requisitos para elaboração de exercícios de simulação *online* de ventilação mecânica



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Para elaboração de um exercício simulado no ME Xlung o usuário deverá cumprir outro requisito: estar identificado com *login* e senha na Plataforma xlung conectado à internet, como ilustrado na figura 3. O ícone está situado dentro do simulador Xlung na “barra de ferramentas” como “Módulo de Exercícios”.

Figura 3 – Esquema ilustrando requisito de identificação do professor com *login* e senha do Módulo de Exercícios.



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

4.3.4. Método usado no desenvolvimento do protótipo do ME

O ME apresenta dois componentes quanto aos sistemas de programação: o *backend* e o *frontend*. O *backend* é responsável por toda a parte de processamento e persistência. Através de uma API (*Application Program Interface*), um conjunto de rotinas, protocolos e ferramentas, o *backend* é capaz de recuperar dados, salvar e disponibilizar exercícios persistidos. O banco de dados utilizado para persistência dos exercícios é o MongoDB. Para a codificação da API foi utilizada a linguagem Scala e o seu *framework web*, o *Play Framework*. O *frontend* é responsável por toda a parte de interação com o usuário do ME, toda a lógica de tela, montagem do exercício e validação de dados que serão, posteriormente, enviados para o *backend*. Também é responsável pela interação do professor com a administração dos exercícios persistidos e ainda pela disponibilização dos mesmos para resolução pelos alunos. No *frontend* é utilizada a linguagem HTML e JavaScript, em conjunto com o *framework* para criação de telas responsivas e reativas, o ReactJS. O *frontend* também faz interação com o simulador de VM da plataforma Xlung. A figura 4 ilustra a visualização do protótipo do ME.

Figura 4 – Ilustração conceitual para acesso aos exercícios de simulação na Plataforma xlung.net



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

4.3.5. Concepção, desenvolvimento e prototipagem do Módulo de Exercícios

A seguir é apresentado o modo de funcionamento do ME com base no protótipo que foi desenvolvido ao longo do período desta pesquisa.

Após clicar e entrar no ME, o professor seleciona “Construtor de exercícios”, para iniciar o processo de elaboração de um novo caso clínico, ou “Exercícios”, para visualizar e carregar uma configuração previamente salva, que pode ser um exercício completo ou não.

Selecionando-se “Construtor de exercícios”, o docente se depara com a primeira tela contendo um passo-a-passo autoexplicativo. Para auxiliar o preenchimento do formulário. Aqui, o usuário elaborador tem a sua disposição botões de autoajuda, com textos explicativos para assessorá-lo na construção do caso clínico a cada novo passo solicitado.

Se houver falha no sinal da internet durante a elaboração do exercício, o sistema interrompe imediatamente a sua execução, reiniciando-se a partir do último movimento salvo. O usuário pode salvar a configuração do sistema clicando no ícone



. Caso o usuário não o faça, o sistema se encarrega de salvar automaticamente a simulação a cada 5 minutos.

Durante a elaboração do exercício simulado, o usuário pode clicar em “Anterior” a qualquer momento, fazendo com que se feche a janela atual e se abra a imediatamente anterior, permitindo a edição de dados previamente estabelecidos.

ETAPA I – Elaboração de exercícios.

Passo E1:

Objetivos de aprendizagem

O primeiro passo na elaboração do exercício simulado é definir os “objetivos de aprendizagem” do mesmo. A Plataforma Xlung disponibiliza, no seu Módulo de Exercícios, secções sugerindo temas relevantes na área da saúde, que exigem habilidades e competências comuns nos currículos dos cursos de Medicina, Enfermagem e Fisioterapia. Caso o elaborador queira inserir um tema não apresentado pelo *software*, pode criar um novo. É possível inserir mais de um objetivo de aprendizagem por exercício. Este deve ser claro e objetivo, pois norteia a tarefa exigida. Trata-se de um campo de preenchimento obrigatório.

Grau de dificuldade e complexidade dos exercícios

A definição do “grau de dificuldade” da atividade (fácil, médio e difícil) deve ser escolhida adequadamente ao nível de conhecimento prévio do público alvo e sua área de atuação. Segue abaixo a definição de cada nível a ser escolhido pelo elaborador do exercício.

- “Fácil” corresponde ao nível básico, para o público inexperiente em VM, mas que já conhece os conceitos básicos da Fisiologia respiratória aplicada.

- “Médio” se destina a usuários que já conhecem os conceitos fundamentais da VM; estagiários ou profissionais de saúde que manuseiam ventiladores mecânicos em seu dia a dia.

- “Difícil” representa o nível mais elevado de dificuldade, para indivíduos que dominam os conceitos da fisiologia respiratória e da VM; profissionais já experientes que lidam com gráficos e mecânica respiratória.

Só pode ser escolhido um dos níveis por exercício simulado. Trata-se de um campo de preenchimento obrigatório do Módulo de Exercícios. Esta etapa está apresentada na figura 2.

Passo E2:

Cenário clínico

Após a definição do grau de dificuldade, o professor deve descrever o cenário clínico, através de um texto, como ilustrado na figura 2. Trata-se de um campo de preenchimento obrigatório.

Como único requisito opcional, o professor pode carregar imagens, vídeos e/ou áudios, funcionando como qualquer plataforma de *uploads* com acesso à internet. A disponibilização destas informações pode ser realizada juntamente com a história clínica, ou sob demanda, conforme solicitação por comando específico, caso isto seja um quesito a se avaliar.

Passo E3:

Tarefa e duração

Neste passo, solicita-se ao professor a tarefa a ser executada pelo aluno. Este comando deve ser claro e direto, para que não gere dúvidas ou possibilite interpretações diversas.

Após definida a tarefa, define-se o tempo máximo, em minutos, necessário para a resolução do exercício, como mostra a figura 2. Trata-se de um campo de preenchimento obrigatório.

Passo E4:

Configuração da simulação

Neste passo, como ilustrado na figura 2, introduz-se os parâmetros iniciais solicitados, referentes ao paciente, ao ventilador, incluindo seus diversos subitens, e ao ambiente. É possível a elaboração de diferentes exercícios, podendo ser obtidos a partir da combinação variada dos parâmetros iniciais.

a) Configuração do paciente virtual

A configuração inicial do “paciente”, com as características predefinidas pelo usuário, contempla os “dados demográficos”, os “distúrbios metabólicos”, a “fisiologia respiratória”, a “condição clínica” e o “esforço muscular”, que aparecem como tópicos da formatação inicial do “paciente”.

Os “dados demográficos” consistem em idade, sexo, altura e peso (ideal e real). O sexo deverá ser escolhido uma entre duas opções (masculino ou feminino). A idade poderá ser ajustada de 14 até 120 anos; a altura, de 1,00 a 2,50 metros; e o peso real, de 30 a 200kg. Para o cálculo do “peso ideal”, será utilizada a fórmula peso predito demonstradas no quadro 1.

Quadro 1 – fórmula para cálculo do peso predito utilizado na ventilação mecânica

Homens: $50 + 0,91 * (\text{altura} - 152,4 \text{ cm})$

Mulheres: $45,5 + 0,91 * (\text{altura} - 152,4 \text{ cm})$

Fonte: (MATTHAY; HOPKINS, 2000)

A variável “distúrbios metabólicos” permite a seleção de um dos seguintes padrões: “sem distúrbio metabólico”, acidose ou alcalose metabólica, subdivididas em três níveis de gravidade (leve, moderada ou grave), conforme ilustrados na tabela abaixo.

Quadro 2 – Tipos de distúrbios metabólicos

| | Excesso de bases – BE |
|------------------------------|------------------------------|
| Acidose metabólica grave | -15 |
| Acidose metabólica moderada | -10 |
| Acidose metabólica leve | -5 |
| Sem distúrbio metabólico | 0 |
| Alcalose metabólica leve | 5 |
| Alcalose metabólica moderada | 10 |
| Alcalose metabólica grave | 15 |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

O professor pode selecionar apenas uma das opções do quadro acima. Trata-se de um campo de preenchimento obrigatório.

O tópico “fisiologia pulmonar” consiste na configuração da mecânica pulmonar e troca gasosa do paciente (complacência, resistência, *shunt* e espaço morto). Neste ícone, devem ser selecionadas as características: complacência pulmonar estática (ml/cmH₂O), de 5 a 200; resistência de vias aéreas (cmH₂O/L.s), de 2 a 60; espaço morto (VD/VT), de 0,2 a 0,8; e porcentagem de shunt (%), de 1 a 80 de acordo com a configuração da enfermidade pretendida pelo elaborador do exercício para o caso. Os valores limites estabelecidos para estes, e outros parâmetros no Xlung, foram escolhidos de forma arbitrária, para que permitam o bom funcionamento do sistema. Alguns destes valores extrapolam os limites considerados fisiológicos ou mesmo aceitáveis para um paciente real, entretanto, para a simulação virtual, possibilita uma gama maior de cenários. Todos os campos referentes à “Fisiologia pulmonar” são de preenchimento obrigatório.

O simulador Xlung disponibiliza, em “condição clínica”, configurações padronizadas de modelos para situações frequentes na prática clínica, tais como, indivíduo normal intubado (com ou sem esforço), com asma, DPOC, SARA, que poderá ainda ser estratificada quanto à gravidade em leve, moderada e grave. Caso opte-se por alguma das condições clínicas anteriores o sistema preencherá automaticamente os “dados demográficos”, a “fisiologia pulmonar” e o “esforço respiratório” conforme ilustrado na tabela abaixo.

Quadro 3 – Condições clínicas pré-definidas do paciente virtual para exercícios simulados no simulador Xlung 2.0

| Condição clínica | Normal | Normal | DPOC ¥ | Asma | SARA# | | |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|--------|------|-------|----------|-------|
| | intubado sem esforço | intubado com esforço | | | leve | moderada | Grave |
| Dados demográficos | | | | | | | |
| Gênero | Masc. | Masc. | Masc. | Fem. | Fem. | Fem. | Fem. |
| Idade (anos) | 30 | 30 | 65 | 35 | 55 | 55 | 55 |
| Altura (metros) | 1,8 | 1,8 | 1,65 | 1,65 | 1,65 | 1,65 | 1,65 |
| Peso (Kg) | 80 | 80 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Peso ideal (Kg) | 75,1 | 75,1 | 61,5 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| Fisiologia Pulmonar | | | | | | | |
| Rva α (cmH ₂ O/l/s) | 8 | 8 | 25 | 30 | 15 | 15 | 15 |
| Cts § (ml/cmH ₂ O) | 60 | 60 | 70 | 40 | 30 | 25 | 20 |
| VD/VT ∞ | 0,26 | 0,26 | 0,45 | 0,4 | 0,3 | 0,35 | 0,4 |
| Shunt (%) | 3 | 3 | 20 | 20 | 15 | 25 | 40 |
| Esforço muscular | | | | | | | |
| Pmus β (cmH ₂ O) | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f £ (rpm) | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Duração (s) | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

¥ – doença pulmonar obstrutiva crônica

– síndrome da angústia respiratória aguda

α – resistência de vias aéreas

§ – complacência pulmonar estática

∞ – espaço morto

β – pressão muscular

£ – frequência respiratória

Outro tópico relacionado à configuração do paciente é o “esforço muscular” respiratório, que indicará a intensidade e duração do mesmo, bem como a sua frequência. O esforço muscular inspiratório do paciente resultará da pressão inspiratória negativa (Pmus, em cmH₂O) exercida para se iniciar a inspiração e sua duração em segundos, parâmetro também ajustável.

Para evitar indução de erros por parte dos usuários, o sistema só permitirá o ajuste da frequência e da duração do esforço, se o usuário selecionar um valor de Pmus diferente de zero. O ajuste dos parâmetros varia de: 0 a 50 cmH₂O; 0 a 80 irpm; e 0 a 6 segundos de tempo de duração do esforço.

A figura 5 ilustra um exemplo de paciente simulado com suas variáveis ajustadas. Para tal, pode-se clicar dentro dos retângulos e digitar o valor desejado, ou ajustar clicando nas setas ao lado de cada variável.

Figura 5 – Configuração inicial da simulação: ajuste obrigatório dos parâmetros do paciente virtual (dados demográficos, fisiologia pulmonar e esforço muscular) no simulador Xlung 2.0.

| Paciente | | Normal intubado sem esforço ▼ | sem distúrbios metabólicos ▼ | no nível do mar ▼ | — |
|--------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----|
| Dados Demográficos | | Fisiologia Pulmonar | | Esforço Muscular | |
| Sexo | Masculino ▼ | Rva (cmH ₂ O/l/s) | 8 ▼ | Pmus (cmH ₂ O) | 0 ▼ |
| Idade (anos) | 30 ▼ | Cst (ml/cmH ₂ O) | 60 ▼ | f (rpm) | 0 ▼ |
| Altura (metros) | 1,8 ▼ | VD/VT | 0,26 ▼ | Duração (s) | 0 ▼ |
| Peso (Kg) | 80 ▼ | Shunt (%) | 3 ▼ | | |
| Peso Ideal (Kg) | 75.1 | | | | |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Rva – resistência de vias aéreas

Cst – complacência pulmonar estática

VD/VT – espaço morto

Pmus – pressão muscular

f – frequência respiratória

b) Configuração do ambiente

A função “altitude” permite a seleção de uma das seguintes opções: no nível do mar (0m); no Mar Morto (-394m); em São Paulo (760m); em Denver (1600m); num avião (2500m); em La Paz (3640m).

Para simulações que não envolvam esta variável como parte do objetivo de aprendizagem, sugere-se a opção “no nível do mar”.

c) Configuração do ventilador mecânico virtual

O ícone “ventilador mecânico” permitirá o ajuste de diversos parâmetros (modos ventilatórios, respectivos ajustes e alarmes), todos eles de preenchimento obrigatório. Os modos ventilatórios disponíveis serão: A/C, VCV; A/C, PCV; PSV; e CPAP (HOLANDA, 2016).

Após selecionar um dos modos ventilatórios, o Módulo de Exercícios facilitará o processo tornando ajustáveis apenas os parâmetros condizentes com o respectivo modo selecionado e retirando da tela os demais parâmetros que por ventura não sejam ajustáveis no modo em questão. Trata-se de um aprimoramento da versão 2.0 em relação à 1.0 do simulador Xlung, diminuindo o número de

informações desnecessárias para a visualização pelo usuário, com a finalidade de facilitar seu uso e diminuir os erros (DINIZ, 2016). Os parâmetros de cada modo ventilatório são mostrados na figura 6.

Figura 6 – Módulos ventilatórios disponíveis para Xlung versão 2.0: assistido/controlado com ciclagem a volume (A/C, VCV); assistido/controlado com pressão limitada, ciclado a tempo (A/C, PCV); ventilação com pressão de suporte (PSV); e pressão contínua em vias aéreas (CPAP)

| Ventilador A/C VCV | | Ventilador A/C PCV | | Ventilador PSV | |
|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| Volume (ml) | 500 | ΔP (cmH ₂ O) | 15 | PS (cmH ₂ O) | 15 |
| f (rpm) | 14 | f (rpm) | 14 | Rise Time (s) | 0,1 |
| Fluxo (l/min) | 60 | T. Insp. (s) | 1 | Fim do ciclo (%) | 25 |
| Formato | | T. Subida (s) | 0,1 | | |
| T. Insp. (s) | 0.50 | | | | |
| PEEP (cmH ₂ O) | 5 | PEEP (cmH ₂ O) | 5 | PEEP (cmH ₂ O) | 5 |
| F _I O ₂ (%) | 21 | F _I O ₂ (%) | 21 | F _I O ₂ (%) | 21 |
| Pausa Insp. (s) | 0 | Pausa Insp. (s) | 0 | Tipo de Sensibilidade | Fluxo |
| Pausa Exp. (s) | 0 | Pausa Exp. (s) | 0 | Sensibilidade | 2 |
| Tipo de Sensibilidade | Fluxo | Tipo de Sensibilidade | Fluxo | | |
| Sensibilidade | 2 | Sensibilidade | 2 | | |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Em verde, os modos ventilatórios.

Em azul, a frequência respiratória, ajustável apenas nos modos A/C VCV e A/C PCV.

Em vermelho, PEEP e F_IO₂, parâmetros presentes em todos os modos, além de sensibilidade, pausas inspiratória e expiratória.

Quanto ao ajuste dos alarmes, independentemente do modo ventilatório escolhido, o Módulo de Exercícios permite o ajuste de três parâmetros: volume corrente, pressão de pico inspiratória e frequência respiratória. Todos eles devem ter seus valores máximos e mínimos definidos, determinando faixas de segurança. São campos de preenchimento obrigatório, permitindo-se os seguintes valores: volume de 10 a 2000 ml; pressão de -5 a 120 cmH₂O; e frequência respiratória de 0 a 100 irpm. Além disso, os alarmes sonoros e visuais (coloridos) podem ser inativados simultaneamente, ou apenas silenciado. Como formatação inicial, o sistema configura os alarmes da seguinte forma: volume de 10 a 2000 ml; Pva de -5 a 50 cmH₂O e frequência respiratória de 4 a 40 irpm. Estes valores foram determinados para que o sistema não inicie alarmando enquanto o professor define os ajustes iniciais, mas sugere-se seu ajuste refinado adequando-o cada cenário de simulação.

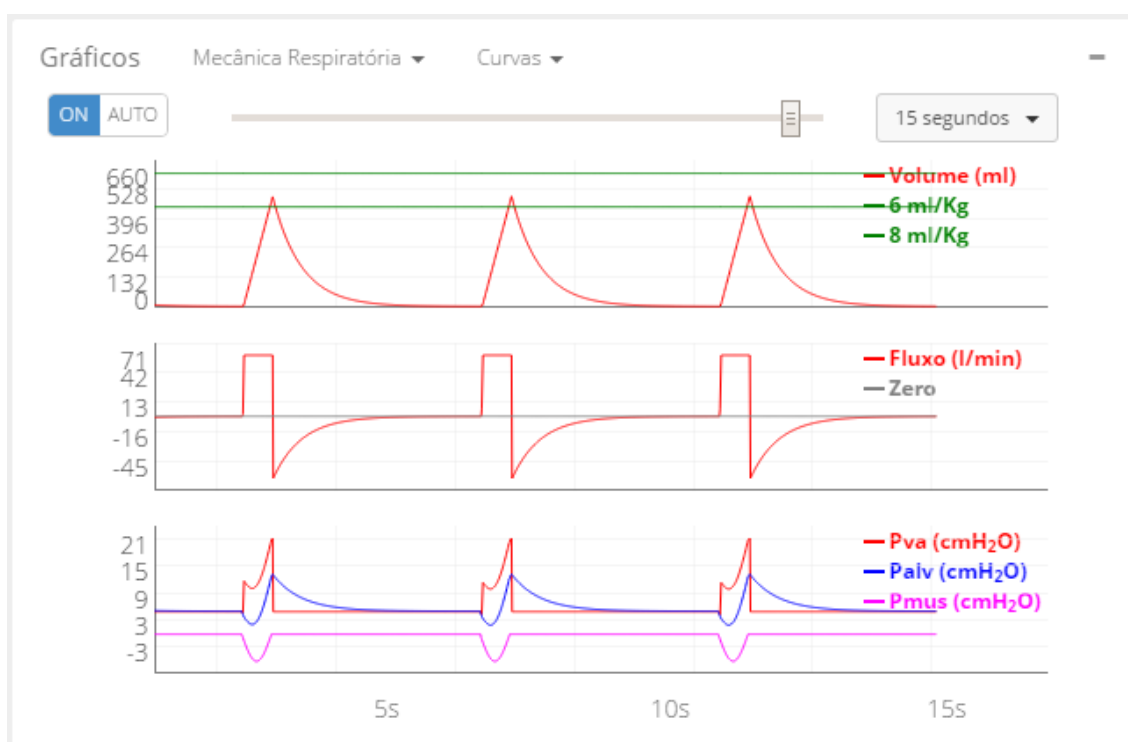
As curvas da mecânica respiratória, ilustradas na figura 7, são consequências do modo ventilatório selecionado, bem como dos parâmetros ajustados e da interação destes com as características configuradas na mecânica respiratória e no esforço muscular do paciente. No botão “curvas” na janela de gráficos, estão disponíveis três opções (volume, fluxo e pressão), que se apresentam de cor vermelha e são subdivididas da seguinte forma:

- Volume – neste tópico, pode ser selecionada uma das seguintes opções:
 - Esconder curva – utilizada para omitir o gráfico volume x tempo;
 - Sem zona de segurança – mostra apenas a curva de volume (vermelha) no respectivo gráfico;
 - Zona de segurança padrão – mostra além da curva de volume, a faixa (verde) de segurança correspondente a 6 e 8 ml/kg do peso ideal; e
 - Zona de segurança SARA – similar a anterior, mostra a faixa (verde) de segurança recomendada na SARA, de 4 a 6 ml/kg do peso ideal.

- Fluxo – clicando neste tópico o professor pode omitir, ou não o gráfico fluxo x tempo.

- Pressão:
 - Pressão de vias aéreas (Pva) – utilizada para omitir ou mostrar o gráfico pressão x tempo, mostrando a curva de cor vermelha;
 - Pressão muscular (Pmus) – omite, ou mostra a curva de cor rosa, representando a Pmus; e
 - Pressão alveolar (Palv) – omite, ou mostra a curva de cor azul, representando a Palv.

Figura 7 – Gráfico das curvas de mecânica respiratória disponíveis no Xlung 2.0: volume x tempo; fluxo x tempo; e pressão x tempo

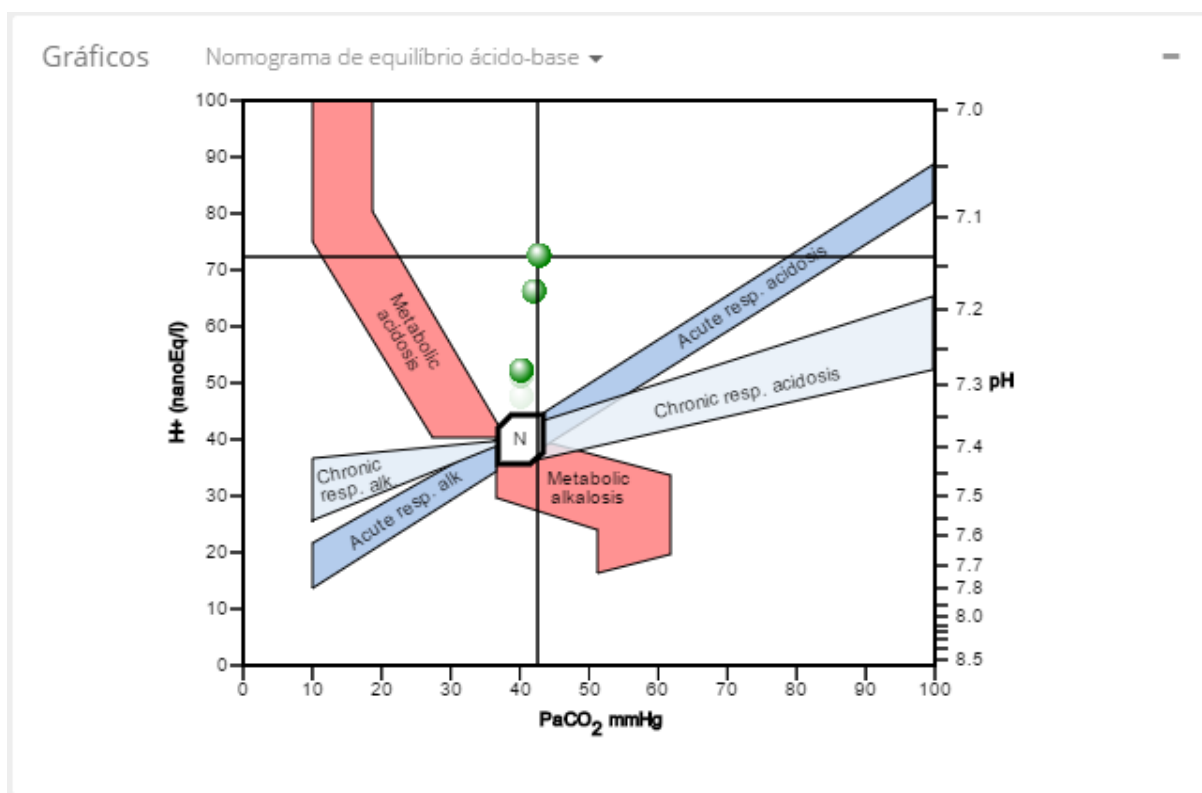


Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Outros comandos possíveis de serem selecionados são o ajuste automático das escalas das ordenadas dos três gráficos simultaneamente com apenas um clique no botão “AUTO” no canto superior esquerda da figura 7. Para o ajuste da abscissa, deve-se clicar no retângulo do canto superior direito que define o intervalo de tempo que aparece na tela (por exemplo: 15 segundos).

Clicando na seta ao lado de “mecânica respiratória” o professor encontra o normograma de equilíbrio ácido-base, ilustrado na figura 8, logo abaixo.

Figura 8 – Gráfico do normograma de equilíbrio ácido-base no Xlung 2.0.



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Este indica a condição ácido-base do paciente virtual através da intersecção (círculo verde) do pH, H^+ e $PaCO_2$ em tempo real, a cada ciclo respiratório. Os distúrbios estão representados da seguinte forma: metabólicos (cor vermelha); respiratórios crônicos (azul claro); e respiratórios agudos (azul escuro). Durante mudanças na condição ácido-base do paciente virtual, é possível visualizar até os dez últimos registros, mostrados por círculos verdes de tonalidade mais clara.

Seleção de visualização

Juntamente com a configuração inicial da simulação, o professor ou elaborador define a seleção das informações disponíveis para visualização do aluno. Para isso, clica-se nas caixetas para desmarcar a visualização dos itens previamente selecionados.

Trata-se de um “*checklist* de visualização pelo aluno” é dividido nos seguintes tópicos: gasometria; gráficos; ventilador; e o parâmetro VC (ml/kg).

Em “gasometria” o professor pode permitir a visualização da gasometria: contínua, ou ainda limitar o número de solicitações por parte do aluno; com ou sem alerta de cores para parâmetros gasométricos que estejam fora dos limites fisiológicos; e com ou sem índice de oxigenação correspondente à relação PaO_2/FiO_2 .

No item “curvas do ventilador”, permite-se, ou não, a visualização das curvas: volume x tempo (com ou sem margens de segurança padrão, ou para SARA); fluxo x tempo; e pressão x tempo (com ou sem curva da pressão alveolar e/ou muscular).

No item “ventilador” pode-se, ou não, permitir a mudança do modo ventilatório por parte do aluno ao tentar solucionar o exercício, selecionando apenas um dos modos ventilatório disponível: A/C VCV; A/C PCV; PSV; e CPAP.

Dessa forma, o ME possibilita uma liberdade para imaginação e criação de diversos exercícios simulados por parte do professor.

Passo E5:

Resolução do exercício para definição do gabarito e critérios de pontuação

O professor deve, neste passo, carregar a simulação e resolvê-la. Após seu término, procede-se o salvamento das ações executadas. Com isso, o ME define automaticamente todos os parâmetros e ajustes realizados pelo professor ao final da resolução do exercício, como o gabarito.

Entretanto, dependendo da tarefa exigida ao aluno, há possibilidade de mais de um meio de se obter a mesma resposta, isto é, com uma sequência de ações, ou de ajustes, diferentes dos realizados pelo docente, o aluno pode chegar a um mesmo resultado.

Passo E6

Pontuação

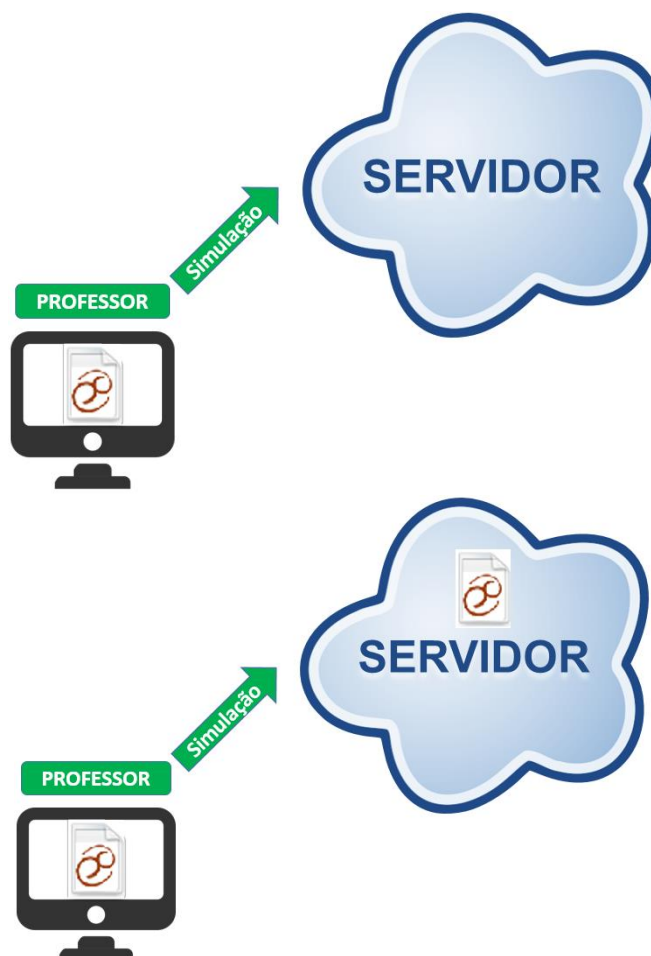
Como gabarito, pode-se escolher um valor específico ou uma faixa de valores aceitáveis (mínimo e máximo) a serem considerados corretos. Para isso, deve-se primeiramente selecionar a caixeta correspondente ao item avaliado, ativando-o para que possa ser editado. Em seguida, o professor define o peso na pontuação de cada item avaliado. O Somatório dos pontos de todos os itens avaliados é sempre 100.

Feedback

Durante a realização das tarefas, o aluno percebe um *feedback* após cada conduta, tal qual acontece na prática médica, pela própria evolução e mudança de parâmetros fisiológicos do paciente.

O professor, após cumprir todos os passos da elaboração, salva e envia o exercício para plataforma Xlung como ilustrado na figura 9.

Figura 9– Esquema ilustrando a elaboração de uma simulação no Módulo de exercícios

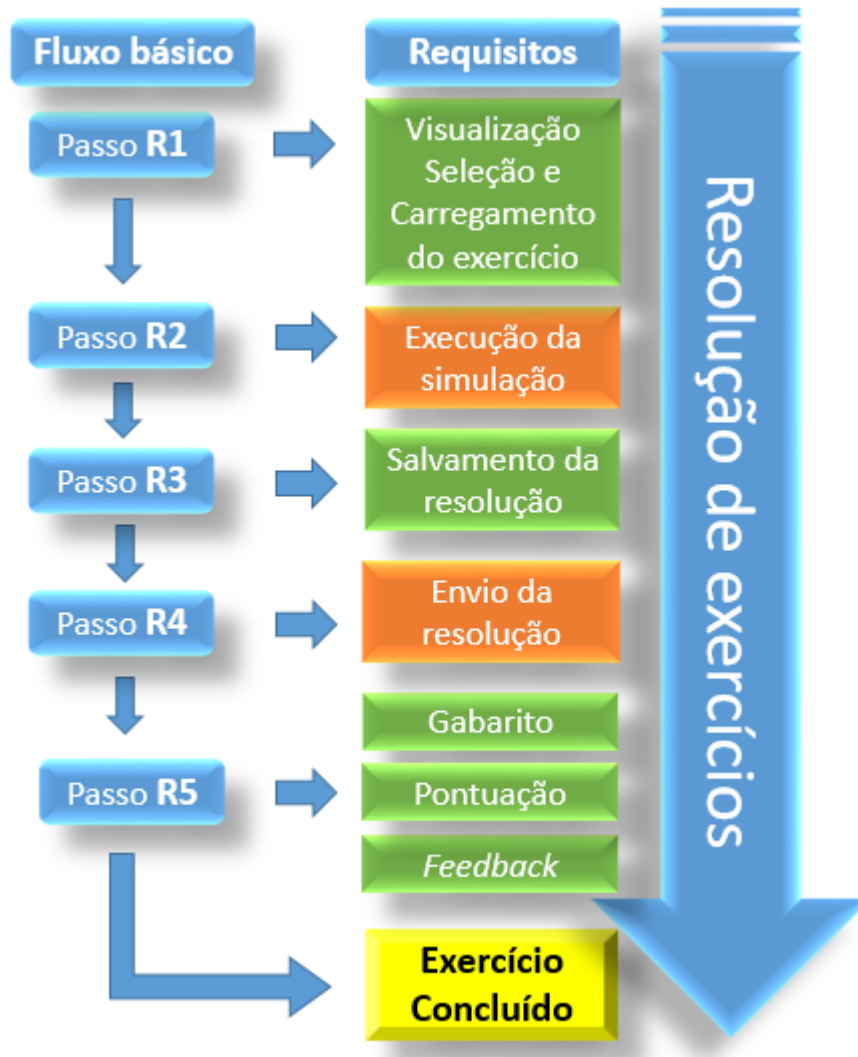


Fonte: (ARAÚJO, 2017)

ETAPA II – Resolução de exercícios

Os requisitos do *software* ilustrados na figura 10 estão distribuídos em passos sequenciados do fluxo básico.

Figura 10 – Fluxograma para resolução de exercícios simulados no Xlung

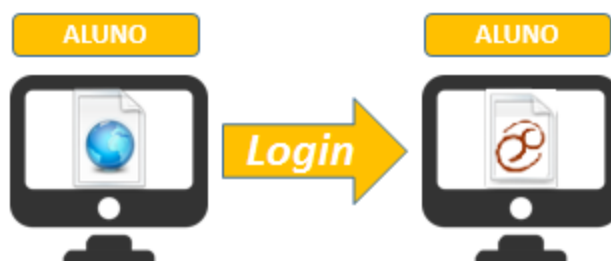


Fonte: (ARAÚJO, 2017)

A resolução de exercício simulado deve seguir os passos do fluxo básico, ilustrado na figura 10, indicados na seguinte sequência: passo R1, visualização, seleção e carregamento do exercício; passo R2, execução da simulação; passo R3, salvamento da resposta; passo R4, envio da resposta; e passo R5, visualização do gabarito, pontuação atingida e *feedback*.

Para resolução de um exercício simulado no Xlung o aluno deve cumprir outro requisito: estar identificado com *login* e senha na Plataforma xlung conectado à internet, figura 11.

Figura 11 – Esquema ilustrando requisito de identificação do aluno com *login* e senha no módulo para resolução de exercícios.



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Passo R1:

Visualização, seleção e carregamento do exercício

Neste passo, o aluno visualiza a lista dos exercícios disponíveis, incluindo tempo para executar a tarefa e o grau de dificuldade (figura 12). Em seguida, o discente seleciona um dos exercícios e o carrega. O ME abre uma pequena janela no centro da tela contendo o título do exercício, o objetivo de aprendizagem e uma tecla “ok” (comando para ir ao próximo passo).

Figura 12 – Esquema ilustrando o passo R1 do Módulo de exercícios. O aluno visualiza, seleciona e carrega o exercício proposto.



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Passo R2:

Execução da simulação

Neste passo, há a execução propriamente dita do exercício (figura 13). A simulação começa a partir do clique na tecla “ok” do passo R1, quando se dá início a contagem regressiva do tempo definido pelo professor. O cronômetro aparece no canto superior esquerdo da tela do ME.

Figura 13 – Esquema ilustrando o passo R2 do Módulo de exercícios. O aluno resolve o exercício proposto



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Passo R3:

Salvamento da resolução


Ao final do passo anterior, resolução da simulação, o aluno deve clicar em “confirmar” após o último ajuste da ventilação. Em seguida, após a estabilização dos parâmetros desejados, o discente salva sua resposta na Plataforma Xlung (figura 14), clicando no ícone correspondente “”, no canto superior direito da tela do ME.

Figura 14 – Esquema ilustrando o passo R3 do Módulo de exercícios – salvamento do exercício



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Passo R4:

Envio da resolução

O ME envia automaticamente o resultado da resolução da simulação do aluno para o professor, após o salvamento da resolução do mesmo, como ilustrado na figura 15.

Figura 15 – Esquema ilustrando o passo R4 do Módulo de exercícios – envio do exercício



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Passo R5:Gabarito, pontuação e *feedback*

Após o envio da resolução do exercício, o aluno recebe um relatório com todos os seus acertos e erros, a pontuação atingida, um *feedback* (figura 18) com sugestões de materiais didáticos, dentro da própria Plataforma xlung.net, ou ainda no aplicativo para smartphones *Xlung assist*, ferramenta também da empresa xlung voltada para apoio ao ajuste da VM na assistência a pacientes reais, mas que pode ser usado também no exercício simulado, ou em outras fontes de consulta, com os respectivos *links* de acesso, se disponíveis.

O professor poderá visualizar, além do resultado final obtido pelo aluno, todos os comandos efetuados pelo mesmo durante a sua resolução e o tempo que o mesmo levou para a sua resolução. Dessa forma, o professor pode realizar uma avaliação detalhada e mais específica do aluno sobre determinado exercício e planejar um *feedback* específico.

Figura 16 – Esquema ilustrando o passo R5 do Módulo de exercícios – gabarito, pontuação e *feedback* do exercício



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

4.3.6. Interface usuário-máquina

A interface usuário-máquina tem como desafio a busca do equilíbrio entre o desenvolvimento tecnológico dos ventiladores mecânicos modernos e a demanda dos usuários por interfaces menos complexas. No primeiro, os ventiladores têm se tornado cada vez mais complexos, permitindo o uso de novos modos ventilatórios e mais ferramentas de monitoração, inclusive com gráficos em alça fechada. No segundo, os usuários têm clamado por simplificação dos comandos, telas de ajuda e padronização da terminologia (RICHARD; KACMAREK, 2009; VIGNAUX; TASSAUX; JOLLIET, 2009).

O desenvolvimento da interface do protótipo do ME observou dez características de usabilidade, definidas por Jacob Nielsen, reconhecido *expert* internacional em usabilidade, denominados de princípios heurísticos. Estes princípios foram desenvolvidos por este autor, a partir de suas análises, com o intuito de minimizar os erros de usabilidade mais frequentes na elaboração de *sites*, páginas eletrônicas (NIELSEN, 1995).

Princípios de usabilidade de Nielsen

1. **Visibilidade de status do sistema:** O sistema deve prover ao usuário informações rápidas e acuradas sobre o que está acontecendo; isto é, *feedback* apropriado e imediato.
2. **Relacionamento entre a interface do sistema e o mundo real:** O sistema deve falar a linguagem do usuário, usando palavras, expressões e conceitos familiares a ele, seguindo convenções do mundo real e apresentando a informação em ordem natural e lógica, seguindo o modelo mental do usuário.
3. **Liberdade e controle do usuário:** Uma “saída de emergência” é necessária, marcada claramente, de forma a permitir a saída de qualquer estado indesejado, sem ter um extenso diálogo para isso. Em outras palavras, as “saídas de emergência” devem ser fáceis, permitindo desfazer ou refazer a ação no sistema e retornar ao ponto anterior, quando estiver perdido ou em situações inesperadas.

4. **Consistência e padrões:** Palavras, situações ou ações devem sempre significar a mesma coisa, sem deixar o usuário em dúvida do seu significado. Ações similares não devem ser identificadas por diferentes ícones ou palavras.
5. **Prevenção de erros:** Um leiaute eficiente e cuidadoso é essencial, prevenindo problemas e eliminando situações propensas a erros. Uma opção de confirmação é mandatória antes de executar qualquer ação crítica.
6. **Reconhecimento ao invés de lembrança:** O uso da memória por parte do usuário deve ser minimizado, tornando visíveis as opções para realização de certas ações. Instruções sobre como usar o sistema devem ser visíveis ou facilmente recuperadas. A interface deve oferecer ajuda e informação contextualizada para orientar as ações do usuário; isto é, o sistema deve dialogar com o usuário.
7. **Flexibilidade e eficiência na utilização:** O sistema deve ser de fácil uso para leigos, mas flexível o bastante para se tornar ágil para usuários avançados. Esta flexibilidade pode ser obtida utilizando-se teclas de atalho.
8. **Estética e leiaute minimalista:** A interface não deve mostrar mais informações do que o usuário precise saber.
9. **Ajuda ao usuário para reconhecer, diagnosticar e corrigir erros:** As mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos), indicando o problema com precisão e sugerindo uma solução construtiva.
10. **Ajuda e documentação:** O leiaute deve evitar, ao máximo, a necessidade de ajuda na utilização do sistema. O sistema deve prover um bom conjunto de documentação e ajuda, utilizado para orientar o usuário em caso de dúvidas. Esta informação deve ser visível, facilmente acessada, e oferecer uma ferramenta de busca.

Adaptado (NIELSEN,1995)

4.3.7. Construção dos casos clínicos

Os primeiros casos clínicos para uso no ME da plataforma xlung foram criados e classificados segundo o tipo de conhecimento e a dimensão do processo cognitivo envolvido na sua solução. Para tanto a principal referência teórica consiste na Taxonomia de Bloom (BLOOM BS, 1956) e sua revisão conceitual (KRATHWOHL, D. R., 2002).

Processos cognitivos podem ser definidos como meios pelos quais o conhecimento é adquirido, ou construído, e usado para resolver problemas diários e eventuais c. Os objetivos de aprendizagem dos exercícios foram baseados nas principais competências em ventilação mecânica de pacientes adultos e pediátricos (GOLIGHER; FERGUSON; KENNY, 2012; O'BOYLE et al., 2014). Entretanto, os atuais paradigmas educacionais não suprem as ferramentas necessárias para atingir os objetivos e competências exigidos em VM, segundo a *American Association for Respiratory Care* (AARC) (CHATBURN; EL-KHATIB; MIRELES-CABODEVILA, 2014).

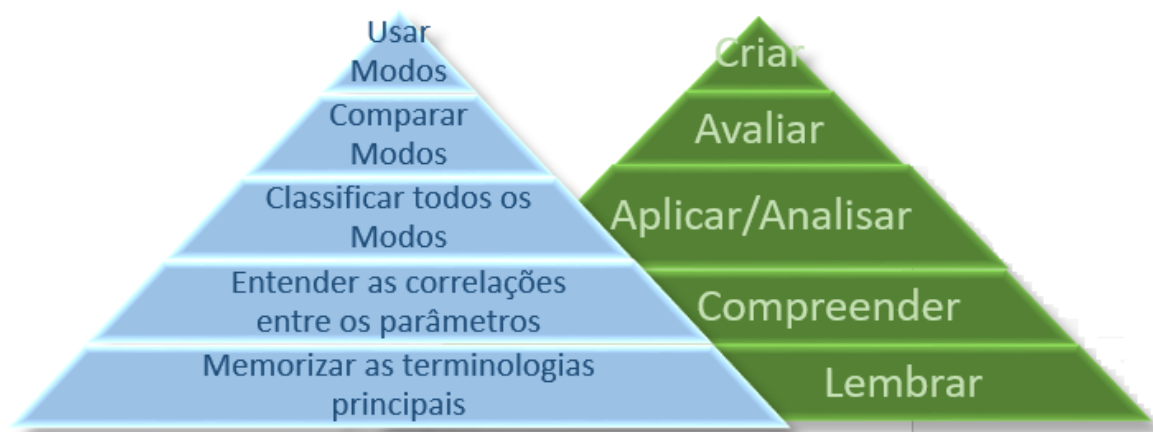
A revisão da taxonomia de Bloom considera quatro tipos de conhecimentos (factual, conceitual, procedural e metacognitivo) e seis dimensões de processos cognitivos que podem ser resumidos nos verbos, figura 17: lembrar, entender, aplicar, analisar, avaliar e criar (FERRAZ; BELHOT, 2010; KRATHWOHL, 2010).

Essas dimensões eram anteriormente denominadas: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação.

Embora a nova taxonomia mantenha o design hierárquico original, ela é mais flexível, pois considera a possibilidade de interpolação das categorias do processo cognitivo quando necessário. Além disso, o processo cognitivo mais elevado passou a ser denominado “criar” em vez de “avaliação”. Determinados conteúdos podem ser mais fáceis de serem assimilados a partir do estímulo pertencente a uma categoria mais complexa. Por exemplo, pode ser mais fácil entender um assunto após aplicá-lo e só então ser capaz de explicá-lo. No caso da ventilação mecânica pode ser mais fácil explicar, por exemplo, os efeitos do ajuste da FiO_2 sobre a PaO_2 após aplicar uma ação sobre a mesma e observar os resultados obtidos, ou seja, simular, observar e refletir sobre os resultados.

Apropriando-se da taxonomia de Bloom, desenhou-se uma pirâmide de habilidades requeridas para o aprendizado estruturado dos modos ventilatórios (CHATBURN; EL-KHATIB; MIRELES-CABODEVILA, 2014).

Figura 17 – Pirâmide de habilidades requeridas para o aprendizado estruturado dos modos ventilatórios (azul) e os verbos utilizados pela taxonomia de Bloom revisada (verde)



Fonte: Adaptado (CHATBURN; EL-KHATIB; MIRELES-CABODEVILA, 2014; FERRAZ; BELHOT, 2010; KRATHWOHL, 2010)

Assim, o ME deve, idealmente, possibilitar ao docente configurar diferentes tipos de exercícios conforme seu planejamento para avaliar ou estimular determinados processos cognitivos.

Exemplos de exercícios e sua classificação segundo a taxonomia de Bloom revisada:

Exercício de baixa complexidade para a Ventilação Mecânica segundo a taxonomia de Bloom

Para estes tipos de exercícios o foco é o treinamento e avaliação de processos cognitivos de menor complexidade e menor grau de abstração segundo a taxonomia de Bloom revisada, como exemplificado abaixo.

Objetivos instrucionais de um exercício de baixa complexidade: **Identificar** o ajuste de volume corrente (VC) no modo ventilatório VCV e **aplicar** um determinado valor para um dado paciente.

Cenário: Um homem com pneumonia encontra-se em VM no modo VCV. Sua missão é: identificar o ajuste de VC e programá-lo para um valor de 550ml e

observar se o mesmo é atingido na tela de monitorização do ventilador, tanto nas curvas, quanto nos valores mostrados na monitorização.

Este tipo de exercício aborda o processo cognitivo de lembrar o que é o VC, a capacidade de analisar/localizar no simulador onde se identifica este parâmetro para programá-lo corretamente, e onde se situa a função de monitorização do parâmetro ajustado, checando a aplicação de um determinado valor pré-estabelecido. O tipo de conhecimento abordado é factual, conceitual e processual. Ou seja, o discente deve saber o que é o VC, seu conceito, e como ajustá-lo no ventilador e como checar se o mesmo de fato foi realizado.

Exercícios de alta complexidade para a Ventilação Mecânica segundo a taxonomia de Bloom

Avançando na abordagem de processos cognitivos mais complexos um outro tipo de exercício poderia abordar o mesmo conhecimento sobre VC, mas num contexto em que os processos cognitivos envolvidos apresentam maior complexidade. Por exemplo, envolvendo as categorias analisar, avaliar e criar, hierarquicamente mais elevadas que as três primeiras, abordadas no exercício mais simples apresentado anteriormente, exemplificado a seguir.

Objetivos instrucionais de um exercício de alta complexidade:

Lembrar e **entender** que o ajuste do VC na ventilação mecânica deve ser de 6ml/kg de peso previsto (e não de peso real) e que este parâmetro tem repercussões na troca gasosa pulmonar. **Analisar e avaliar** um cenário em que um determinado ajuste encontra-se feito de forma inadequada e necessita ser corrigido, identificando este parâmetro no ventilador. **Entender** que o ajuste a ser implementado tem repercussões sobre a troca gasosa pulmonar. **Criar** um novo ajuste, selecionando um novo valor de VC e fazendo correções paralelas em outros parâmetros do modo ventilatório que compensem eventuais problemas do novo ajuste criado.

Cenário:

Uma paciente de 66 anos, 1,60m, com 102 kg, foi admitida na UTI intubada em VM no PO de uma cirurgia de apendicite complicada. Encontra-se no modo VCV.

Missão/tarefa:

Definir o melhor ajuste de volume corrente para esta paciente mantendo uma gasometria arterial com pH na faixa da normalidade e uma PaO₂ entre 70 a 90mmHg.

Dessa forma, foram elaborados seis (6) casos com os seguintes temas (APÊNDICE A):

1. Hipoxemia grave;
2. Ajuste do volume corrente no paciente com SARA;
3. Pausa inspiratória;
4. Ajuste inicial dos parâmetros de VM em paciente sem doença pulmonar;
5. Distúrbio metabólico; e
6. Ajuste do tempo expiratório.

No próprio Módulo de Exercícios será inserido a função “ajuda” que constará com dicas de como elaborar um bom exercício de simulação, contendo os seguintes tópicos: título (nome do exercício simulado); objetivos de aprendizagem; grau de dificuldade; missão ou tarefa; configuração sequencial; tempo; resolução; e gabarito. Os detalhes desta função podem ser vistos no APÊNDICE B.

4.4.8. Considerações éticas

O estudo foi submetido à apreciação do comitê de ética em pesquisa do centro, número de protocolo CAAE 62513716.6.0000.5049, antes de qualquer coleta de dados (Apêndice C). A participação dos alunos e professores neste estudo se daria através do preenchimento do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), aceitando participar. Tal procedimento seguirá as recomendações da resolução do Conselho Nacional de Saúde – CNS – de número 466/12. O modelo do TCLE encontra-se disponível no apêndice desta dissertação (Apêndice D).

5 RESULTADOS

Foi desenvolvido o MVP do Módulo de Exercícios no sistema de *back up* da plataforma www.xlung.net. As figuras 18 até a 29 ilustram todas as janelas dos passos.

Seis casos clínicos de simulação virtual *online* foram elaborados, segundo a taxonomia de Bloom dos processos cognitivos, com variados graus de complexidade (Apêndice A). (CHATBURN; EL-KHATIB; MIRELES-CABODEVILA, 2014; FERRAZ; BELHOT, 2010; KRATHWOHL, 2010)

Foi solicitado pedido de inclusão de registro de dois *softwares* no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI, para a criação de exercícios que possam ser aplicados à distância, via internet, permitindo treinamento em ventilação mecânica na Plataforma Xlung.

Figura 18 – Janela para o passo E1 do protótipo do Módulo de Exercícios: definição dos objetivos de aprendizagem e do grau de dificuldade

Construtor de Exercícios

1. Objetivos de Aprendizado 2. Cenário Clínico 3. Missão do Aluno 4. Configuração da Simulação 5. Solução da Simulação 6. Pontuação Próximo

Descreva os objetivos do exercício

Ajustar os parâmetros iniciais da ventilação mecânica em paciente sem patologia pulmonar.

Selecione as categorias que melhor descrevem este exercício.

- Ajustes Básicos e modos da VM
- Ajustes da VM na SARA
- Ajustes da VM nas D. Obstrutivas: DPOC e ASMA
- Ajustes da VM nas D. Neurológicas
- Ajustes da VM em assincronias
- Outros

Selecione o nível de dificuldade do exercício.

Fácil

Média

Difícil

Próximo

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 19 – Janela para o passo E2 do protótipo do Módulo de Exercícios: elaboração do cenário clínico e inserção de mídias

Construtor de Exercícios

2. Cenário Clínico 3. Missão do Aluno 4. Configuração da Simulação 5. Solução da Simulação 6. Pontuação Anterior Próximo

Descreva o cenário clínico do exercício

B *I* ~~S~~ { } ☰ ☷ ☹ ☺ ⌘ ⌘ Normal ↶ ↷

Mulher de 30 anos, 1,52m e peso atual de 60 kg e ideal de 45,1kg, deu entrada na emergência com quadro de rebaixamento do nível de consciência após tentativa de suicídio com ingestão de benzodiazepínicos. Ao exame encontrava-se com Escala de Coma de Glasgow 6, hemodinamicamente estável sem drogas vasoativas, ausculta pulmonar limpa, porém com frequência respiratória de 6 irpm e saturação de pulso (SpO₂) de 85%. Você é o médico plantonista e decidiu intubar a paciente para proteção de vias aéreas, após não ter obtido resposta satisfatória com administração de flumazenil endovenoso.

Selecione os arquivos de mídia (imagens, vídeos etc) que estarão disponíveis para visualização durante o exercício.

Arraste para cá ou clique para selecionar os arquivos dos exames.

| Preview | Descrição | Ações |
|--|-----------|-------|
| Nenhum arquivo de mídia anexado ao exercício | | |

Anterior Próximo

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 20 – Janela para o Passo E3 do protótipo do Módulo de Exercícios: definição da tarefa explícita a ser cumprida e do tempo disponível

Construtor de Exercícios

3. Missão do Aluno 4. Configuração da Simulação 5. Solução da Simulação 6. Pontuação

Anterior Próximo

Descreva pontualmente as tarefas do exercício

Ajuste os parâmetros iniciais da ventilação mecânica (VM) para esta situação utilizando o modo A/C VCV respeitando as diretrizes brasileiras de VM e obtenha uma gasometria arterial normal.

Quanto tempo o aluno terá disponível para a execução do exercício?

5 minutos

Anterior Próximo

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 21 – Janela para o Passo E4 do protótipo do Módulo de Exercícios: configuração da simulação (paciente, ambiente e ventilador), tanto no início, quanto no decorrer do exercício

The screenshot shows the 'Construtor de Exercícios' (Exercise Builder) interface. At the top, there are three tabs: '4. Configuração da Simulação' (selected), '5. Solução da Simulação', and '6. Pontuação'. A 'Salvar' (Save) button and a 'Pausar' (Pause) button are visible in the top right.

Paciente (Patient Configuration):

- Demographic Data:** Sexo (Male/Female), Age (years), Height (m), Weight (Kg), IBW (Kg).
- Pulmonary Physiology:** Rva (cmH₂O/l/s), Cst (ml/cmH₂O), VD/VT, Shunt Effect (%).
- Muscle Effort:** Pmus (cmH₂O), RR (bpm), Duration (s).

Gasometria (Gasometry): pH (7.39), PaCO₂ (40), HCO₃⁻ (23), BE (0), PaO₂ (85), SaO₂ (96), PaO₂/FIO₂ (406).

Animation: SpO₂: 96

Gráficos (Graphs): Visualizar, Zonas de Segurança, Curvas de pressão. Includes a graph for volume (0-1000 ml), flow (0-120 ml/min), and airways/muscle pressure (0-45 cmH₂O).

Ventilador (Ventilator): Modo ventilatório. Parameters include Volume (500 ml), f (14 rpm), Fluxo (60 l/min), Formato (square wave), T. Insp. (0.50 s), PEEP (5 cmH₂O), F_IO₂ (21%), Pausa Insp. (0 s), Pausa Exp. (0 s), Tipo de Sensibilidade (Fluxo/Pressão), Sensibilidade (2), and Alarmes (OFF).

Parâmetros (Parameters): Ventilometria (VC, VC/Kg, f, VE), Sincronia, Mecânica Respiratória (P. Pico, P. Plateau, Driving P., PEEP_{TOT}), and Trabalho Resp./Desmame.

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 22 – Janela para o Passo E4 do protótipo do Módulo de Exercícios: configuração da seleção de opções de visualização para o aluno. Permite ao elaborador definir a visualização dos parâmetros

Parâmetros do exercício

Gasometria

- Exibir gasometria contínua
- Limitar solicitações de gasometria
- Exibir gasometria em cores
- Permitir que o aluno escolha entre ver ou não a interpretação da gasometria
- Exibir parâmetro PaO₂/FiO₂

Gráficos

- Exibir curva de volume
- Não exibir Zonas de Segurança
- Exibir Zonas de Segurança Padrão
- Exibir Zonas de Segurança SARA
- Exibir curva de fluxo
- Exibir curvas de pressão
- Exibir curvas de pressão alveolar
- Exibir curvas de pressão muscular
- Permitir que o usuário visualize outras curvas

Ventilador

- Permitir mudança de modo ventilatório

Selecione o modo ventilatório disponível

- A/C VCV
- A/C PCV
- PSV
- CPAP

Parâmetros

- Exibir VC (ml/kg)

[Anterior](#)

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 23 – Janela para o Passo E5 do protótipo do Módulo de Exercícios: resolução do exercício – permite ao professor simular, resolver e salvar a simulação em ventilação mecânica

xlung Módulo de Exercícios

Construtor de Exercícios

5. Solução da Simulação 6. Pontuação [Anterior](#)

Salvar Pausar

Missão Cenário Clínico Exames

Ajuste os parâmetros iniciais da ventilação mecânica (VM) para esta situação utilizando o modo A/C VCV respeitando as recomendações brasileiras de VM 2013 (BARBAS et al., 2014) e

Animation

SpO₂: 96

Gráficos Visualizar Zonas de Segurança Curvas de pressão

AUTO OFF 7 s 15 s 30 s

1000
500
0

— volume

120
60
0
-60
-120

— flow
— zero

45
30
15
0

— airways

5s 10s 15s

Ventilador

Volume (ml) 500

f (rpm) 14

Fluxo (l/min) 60

Formato

T. Insp. (s) 0.50

PEEP (cmH₂O) 5

F_iO₂ (%) 21

Pausa Insp.(s) 0

Pausa Exp. (s) 0

Tipo de Sensibilidade Fluxo Pressão

Sensibilidade 2

Alarmes

OFF

Parâmetros

Ventilometria

VC (ml) -

f (rpm) 15

VE (ml/min) 7

Sincronia

Mecânica Respiratória

P. Pico (cmH₂O) -

P_{plateau} (cmH₂O) -

Driving P. (cmH₂O) -

PEEP_{TOT} (cmH₂O) -

Trabalho Resp./Desmame

[Anterior](#)

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 24 – Janela para o Passo E6 do protótipo do Módulo de Exercícios: resultados esperados. Permite a definição das faixas de respostas consideradas corretas pelo professor

Construtor de Exercícios

6. Pontuação Anterior Finalizar

Gasometria Arterial

| Item | Crítico | Mínimo Aceitável | Gabarito | Máximo Aceitável | Peso | Pontuação |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|----------|------------------|------|-----------|
| pH | <input checked="" type="checkbox"/> | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 1 | 16.67 |
| PaCO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 40 | 40 | 40 | 1 | 16.67 |
| HCO ₃ ⁻ | <input checked="" type="checkbox"/> | 23 | 23 | 23 | 1 | 16.67 |
| PaO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 85 | 85 | 85 | 1 | 16.67 |
| SaO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 96 | 96 | 96 | 1 | 16.67 |
| PaO ₂ /FI O ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 406 | 406 | 406 | 1 | 16.67 |
| Pontuação Máxima: | | | | | | 100 pts |

| Item | Crítico | Mínimo Aceitável | Gabarito | Máximo Aceitável | Peso | Pontuação |
|---|-------------------------------------|------------------|----------|------------------|------|-----------|
| f (rpm) | <input type="checkbox"/> | 15 | 15 | 15 | 1 | 12.50 |
| T. Insp. (s) | <input type="checkbox"/> | 1 | 1 | 1 | 1 | 12.50 |
| T. Exp. (s) | <input type="checkbox"/> | 3 | 3 | 3 | 1 | 12.50 |
| VC (ml) | <input checked="" type="checkbox"/> | 300 | 300 | 300 | 1 | 12.50 |
| VE (ml) | <input type="checkbox"/> | 2 | 2 | 2 | 1 | 12.50 |
| P0.1 (cmH ₂ O) | <input type="checkbox"/> | 0 | 0 | 0 | 1 | 12.50 |
| PTP (cmH ₂ O.s.m ⁻¹) | <input type="checkbox"/> | 0 | 0 | 0 | 1 | 12.50 |
| W (Joules/l) | <input type="checkbox"/> | 5 | 5 | 5 | 1 | 12.50 |
| Pontuação Máxima: | | | | | | 100 pts |

Anterior Finalizar

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 25 – Janela para o Passo E6 do protótipo do Módulo de Exercícios: sistema de pontuação. Permite a visualização dos detalhes dos itens avaliados (peso, porcentagem de acerto e intervalo de valores, mínimo e máximo, considerados corretos)

The screenshot shows a web interface for a module of exercises. The top bar is red with the 'xlung' logo and 'Módulo de Exercícios' text. Below the bar, there's a blue header for '6. Pontuação' with 'Anterior' and 'Finalizar' buttons. The main content consists of two tables, each with a 'Pontuação Máxima: 100 pts' label at the bottom right.

Table 1: Gasometria Arterial

| Item | Crítico | Mínimo Aceitável | Gabarito | Máximo Aceitável | Peso | Pontuação |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|----------|------------------|------|-----------|
| pH | <input checked="" type="checkbox"/> | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 1 | 16,67 |
| PaCO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 40 | 40 | 40 | 1 | 16,67 |
| HCO ₃ ⁻ | <input checked="" type="checkbox"/> | 23 | 23 | 23 | 1 | 16,67 |
| PaO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 85 | 85 | 85 | 1 | 16,67 |
| SaO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 96 | 96 | 96 | 1 | 16,67 |
| PaO ₂ /FIO ₂ | <input checked="" type="checkbox"/> | 406 | 406 | 406 | 1 | 16,67 |

Table 2: Respiratory Parameters

| Item | Crítico | Mínimo Aceitável | Gabarito | Máximo Aceitável | Peso | Pontuação |
|---|-------------------------------------|------------------|----------|------------------|------|-----------|
| f (rpm) | <input checked="" type="checkbox"/> | 15 | 15 | 15 | 1 | 12,50 |
| T. Imp. (s) | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 1 | 1 | 1 | 12,50 |
| T. Exp. (s) | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | 3 | 3 | 1 | 12,50 |
| VC (ml) | <input checked="" type="checkbox"/> | 300 | 300 | 300 | 1 | 12,50 |
| VE (ml) | <input checked="" type="checkbox"/> | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1 | 12,50 |
| P0.1 (cmH ₂ O) | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 0 | 0 | 1 | 12,50 |
| PTP (cmH ₂ O.s.m ⁻²) | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 0 | 0 | 1 | 12,50 |
| W (Joules/l) | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 | 5 | 5 | 1 | 12,50 |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

A figura 25 lista os itens que estão sendo considerados para avaliação na coluna mais à esquerda. Ao lado, encontram-se caixetas de *checkbox* determinando se o item é ou não crítico, ou seja, indispensável na avaliação do exercício. Para selecionar, basta um clique na caixeta. Nas três colunas do meio, são apresentados o gabarito e as margens inferiores e superiores consideradas aceitáveis ou corretas como respostas. A coluna seguinte à direita determina o peso de cada item avaliado.

A coluna mais à direita apresenta a pontuação máxima obtida em cada item, bem como o somatório, totalizando no máximo 100 pontos.

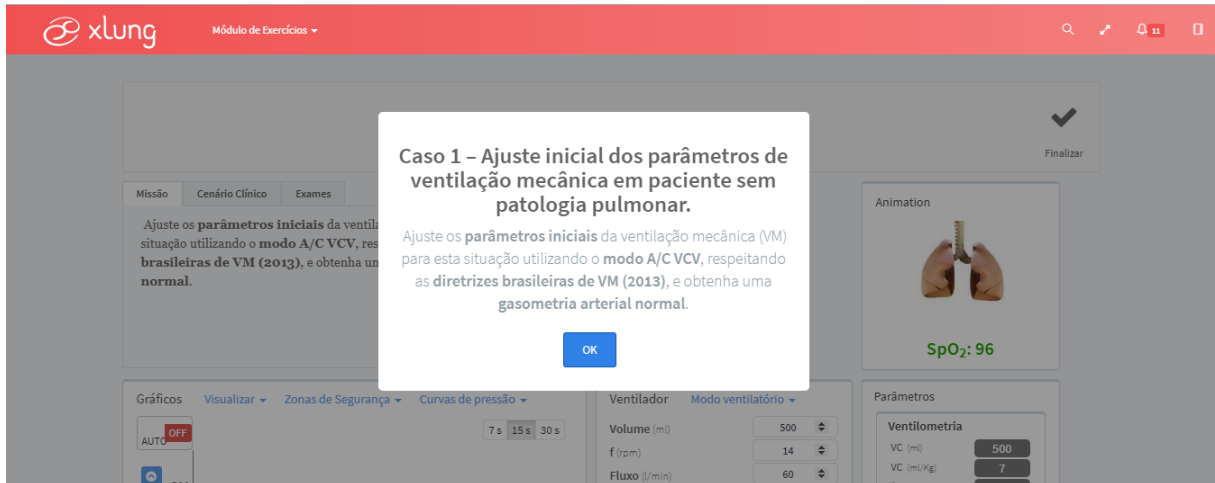
Figura 26 – Janela para o Passo R1 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: visualização, seleção e carregamento de exercícios. Permite a seleção e abertura do exercício

| <input type="checkbox"/> | Título | Duração (min) | Dificuldade |
|--------------------------|---|---------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | TESTE FREQUENCIA | 2 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | TESTE FIO2 | 2 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | Mudar o fluxo para um tempo inspiratório de 1 segundo | 2 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | TESTE BRUNO | 2 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | Caso 1 - Ajuste inicial dos parâmetros de ventilação mecânica em paciente sem patologia pulmonar. | 5 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | Caso 2 - Ajuste inicial dos parâmetros de ventilação mecânica em paciente com SARA | 5 | MEDIUM |
| <input type="checkbox"/> | Caso 3 - Cálculo da pressão de platô. | 5 | MEDIUM |
| <input type="checkbox"/> | Caso 4 - Hipoxemia grave. | 5 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | Caso 5 - Sibilância. | 5 | MEDIUM |
| <input type="checkbox"/> | Caso 6 - Ajuste dos parâmetros da VM para corrigir a o problemas do caso 5. | 10 | MEDIUM |
| <input type="checkbox"/> | Caso 7 - Distúrbio metabólico. | 10 | HARD |
| <input type="checkbox"/> | Caso 9 - Desmame da VM | 5 | MEDIUM |
| <input type="checkbox"/> | Caso 12 - Duplo disparo | 10 | HARD |
| <input type="checkbox"/> | Caso 8 - Dissincronia | 5 | EASY |
| <input type="checkbox"/> | TESTE PROTOTIPO | 2 | EASY |

Search Search Bulk action Apply

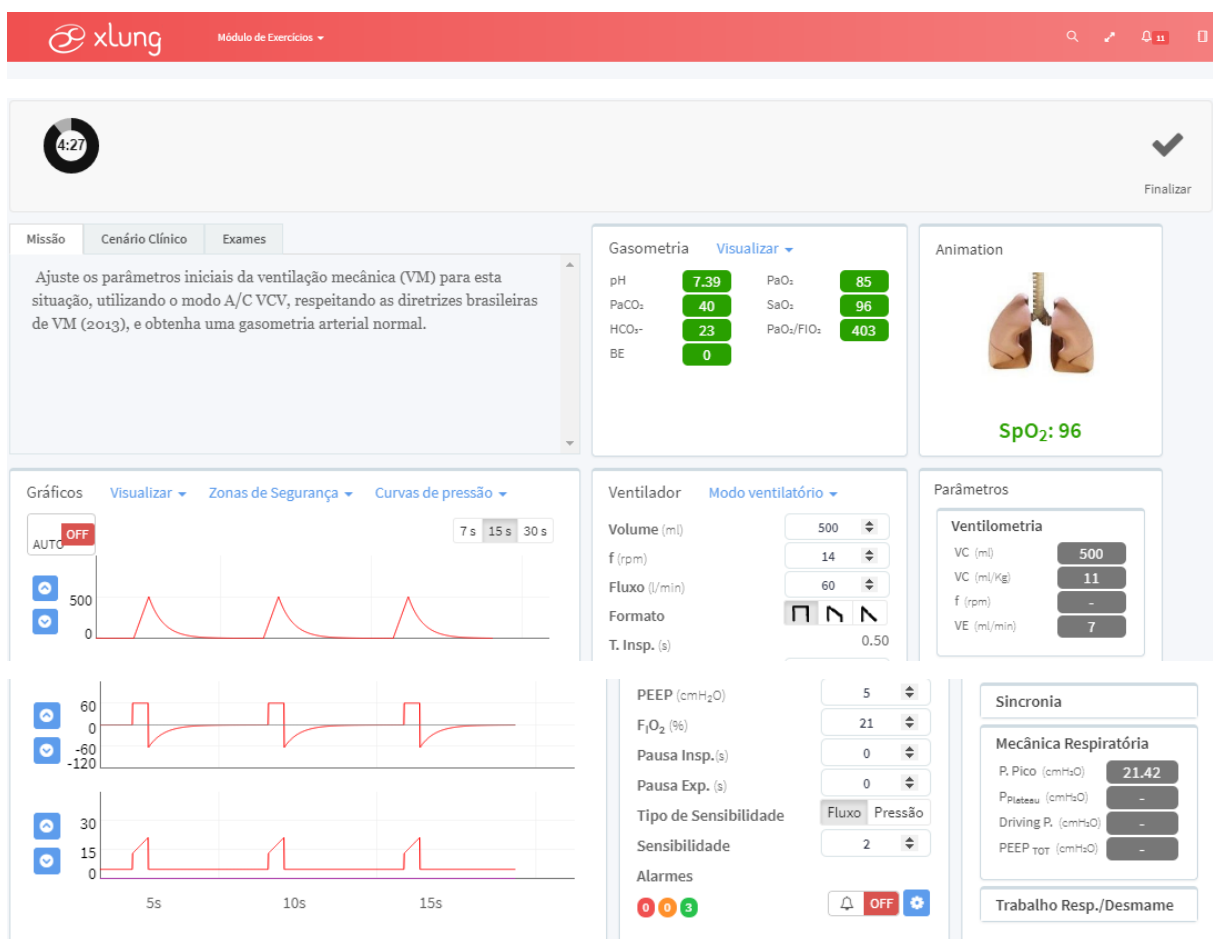
Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 27 – Janela para o Passo R2 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: início do exercício. Permite a resolução do exercício simulado durante o tempo predeterminado



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 28 – Janela para o Passo R2 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: término da resolução do exercício



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Figura 29 – Janela para o Passo R5 do protótipo do Módulo de Resolução de Exercícios: gabarito, pontuação e *feedback*. Permite ao aluno a visualização de erros e acertos do exercício simulado

Módulo de Exercícios
🔍 ↗️ 📢 11 🏠

Painel de Resultados

| | | |
|--|--|---|
| Nome | | Legenda: ■ Correto ■ Parcialmente correto ■ Incorreto Item não avaliado |
| Aluno 1 Fulano de Tal | | |
| Data/Hora | | |
| 20/07/2017 13:00 | | |
| Exercício | | |
| Exercício: Caso 4 – Ajuste inicial dos parâmetros de ventilação mecânica em paciente sem patologia pulmonar. | | |

Gasometria Arterial

| Esperado | | Realizado | |
|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| pH | <input type="text"/> | pH | <input type="text"/> |
| PaCO ₂ | <input type="text"/> | PaCO ₂ | <input type="text"/> |
| HCO ₃ | <input type="text"/> | HCO ₃ | <input type="text"/> |
| PaO ₂ | <input type="text"/> | PaO ₂ | <input type="text"/> |
| SaO ₂ | <input type="text"/> | SaO ₂ | <input type="text"/> |
| PaO ₂ /FIO ₂ | <input type="text"/> | PaO ₂ /FIO ₂ | <input type="text"/> |

Pontuação: 0

Monitorização

| Esperado | | Realizado | |
|---|----------------------|---|----------------------|
| f (rpm) | <input type="text"/> | f (rpm) | <input type="text"/> |
| T. Insp. (s) | <input type="text"/> | T. Insp. (s) | <input type="text"/> |
| T. Exp. (s) | <input type="text"/> | T. Exp. (s) | <input type="text"/> |
| VC (ml) | <input type="text"/> | VC (ml) | <input type="text"/> |
| VE (ml) | <input type="text"/> | VE (ml) | <input type="text"/> |
| P0.1 (cmH ₂ O) | <input type="text"/> | P0.1 (cmH ₂ O) | <input type="text"/> |
| PTP (cmH ₂ O.s.m ⁻¹) | <input type="text"/> | PTP (cmH ₂ O.s.m ⁻¹) | <input type="text"/> |
| W (Joules/l) | <input type="text"/> | W (Joules/l) | <input type="text"/> |

Pontuação: 0

Ventilador - VCV

| Esperado | | Realizado | |
|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Volume (ml) | 270 | Volume (ml) | 270 |
| Fluxo (l/min) | 60 | Fluxo (l/min) | 60 |
| f (rpm) | 26 | f (rpm) | 26 |
| T. Insp. (s) | <input type="text"/> | T. Insp. (s) | <input type="text"/> |
| Pausa Insp.(s) | <input type="text"/> | Pausa Insp.(s) | <input type="text"/> |
| Pausa Exp. (s) | <input type="text"/> | Pausa Exp.(s) | <input type="text"/> |
| FIO ₂ (%) | <input type="text"/> | FIO ₂ (%) | <input type="text"/> |
| PEEP (cmH ₂ O) | <input type="text"/> | PEEP (cmH ₂ O) | <input type="text"/> |

Pontuação: 100

Resumo do resultado

Nota total do aluno: 100

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

7 DISCUSSÃO

O desenvolvimento do ME permitiu seu registro de propriedade intelectual.

Trata-se de uma ferramenta útil no ensino de um tema extremamente complexo (VM), que é exigido como competência na área de cuidados intensivos de pacientes adultos (CHATBURN; EL-KHATIB; MIRELES-CABODEVILA, 2014).

O ME permite um aprendizado à distância, de forma virtual e online, tanto para o professor, quanto para o aluno. O docente, através da elaboração de casos clínicos de forma estruturada, seguindo os passos sequenciados. E o discente, pela resolução e feedback dos exercícios propostos pelo professor (GOLIGHER; FERGUSON; KENNY, 2012).

Trata-se de um trabalho original, visto que outros SVVM não dispõem desta ferramenta para ensino à distância que permita um feedback entre professor e aluno (LINO *et al.*, 2016).

Os casos clínicos elaborados nesta pesquisa contemplam alguns dos objetivos de aprendizagem considerados cruciais na formação de profissionais da área de Saúde (TALLO *et al.*, 2017).

Limitações

Não houve tempo hábil para sua validação através de testes de usabilidade com alunos e professores. Algumas ideias de funcionalidades adicionais pensadas durante o desenvolvimento do ME ainda não puderam ser incorporadas. A necessidade de uma infraestrutura mínima (computador com acesso à internet) é exigida para que ocorra o processo de ensino.

Perspectivas futuras

Certamente, um próximo passo a ser dado, será a validação do ME através de testes de usabilidade com alunos e professores. A implementação de algumas das novas funcionalidades que permitam melhorar o processo de elaboração e resolução dos exercícios, resultando num aprendizado mais efetivo estão previstas como funcionalidades a serem implementadas futuramente.

Será permitida, além da configuração inicial da simulação, configurações sequenciais. Após o ajuste inicial do caso clínico, pode ser configurada a linha do tempo com os futuros eventos, dando um caráter dinâmico à simulação. Caso se insira novo evento, o sistema solicitará ao usuário a descrição com o título e o momento da simulação em que deve acontecer.

Esses novos eventos serão opcionais, permitindo-se modificações das configurações iniciais tanto do “paciente”, quanto do “ambiente” e do “ventilador”. O usuário poderá modificar a configuração inicial dos “dados demográficos”, da “fisiologia pulmonar”, do “esforço”, dos “distúrbios metabólicos” do paciente e/ou do ambiente (“altitude”).

Observação deve ser feita se o usuário optar pela utilização de “condições clínicas” pré-formatadas, deve-se atentar para o fato de os parâmetros serem preenchidos automaticamente, podendo modificar dados inadvertidamente, como, por exemplo, a idade, o gênero, e a estatura do paciente.

8 CONCLUSÃO

Desenvolveu-se um sistema de Módulo de Exercícios de simulação virtual *online* na plataforma Xlung aplicado ao ensino em ventilação mecânica.

REFERÊNCIAS

- AMATO, M. B. P. et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 372, n. 8, p. 747–755, 2015.
- AMATO, M. et al. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 338, n. 6, p. 347–354, 1998.
- ARDS NETWORK. Ventilation With Lower Tidal Volumes As Compared With Traditional Tidal Volumes for Acute Lung Injury and the Acute Respiratory Distress Syndrome. **The New England journal of medicine**, v. 342, n. 18, p. 1301–1308, 2000.
- ASHBAUGH, D. et al. Acute Respiratory Distress in Adults. **The Lancet**, v. 290, n. 7511, p. 319–323, 1967.
- BINSTADT, E. S. et al. A Comprehensive Medical Simulation Education Curriculum for Emergency Medicine Residents. **Annals of Emergency Medicine**, v. 49, n. 4, p. 495–504.e11, 2007.
- BION, J. F.; ABRUSCI, T.; HIBBERT, P. Human factors in the management of the critically ill patient. **British Journal of Anaesthesia**, v. 105, n. 1, p. 26–33, 2010.
- BRYDGES, R. et al. Linking Simulation-Based Educational Assessments and Patient-Related Outcomes. **Academic Medicine**, v. 90, n. 2, p. 246–256, 2015.
- CABRINI, L. et al. Noninvasive Ventilation and Survival in Acute Care Settings. **Critical Care Medicine**, v. 43, n. 4, p. 880–888, 2015.
- CHATBURN, R. L. Classification of ventilator modes: update and proposal for implementation. **Respiratory care**, v. 52, n. 3, p. 301–323, 2007.
- CHATBURN, R. L.; EL-KHATIB, M.; MIRELES-CABODEVILA, E. A taxonomy for mechanical ventilation: 10 fundamental maxims. **Respiratory care**, v. 59, n. 11, p. 1747–1763, 2014.
- CLEMMER, T. P. Computers in the ICU: Where we started and where we are now. **Journal of Critical Care**, v. 19, n. 4, p. 201–207, 2004.
- COOK, D. A. How much evidence does it take? A cumulative meta-analysis of outcomes of simulation-based education. **Medical Education**, v. 48, n. 8, p. 750–760, 2014.
- COOPER, J. B.; TAQUETI, V. R. A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. **Postgraduate Medical Journal**, v. 84, n. 997, p. 563–570, 2008.
- COX, C. E. et al. Effectiveness of medical resident education in mechanical ventilation. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 167, n.

1, p. 32–8, 2003.

DEFINITION, T. B. Acute Respiratory Distress Syndrome. **Jama**, v. 307, n. 23, 2012.

DAMUTH, E. et al. Long-term survival of critically ill patients treated with prolonged mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis. **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 3, n. 7, p. 544–553, 2015.

DINIZ, M. E. B. Desenvolvimento da versão 2.0 do simulador virtual de ventilação mecânica xlung. Fortaleza-CE: unichristus, 2016.

DRINKER, P.; SHAW, L.A. An apparatus for the prolonged administration of artificial respiration. **The journal of clinical investigation**, v. 7, n. 2, p. 229-247, 1928.

FERRAZ, A. P. D. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 421–431, 2010.

GOLIGHER, E. C.; FERGUSON, N. D.; KENNY, L. P. Core competency in mechanical ventilation: development of educational objectives using the Delphi technique. **Crit Care Med**, v. 40, n. 10, p. 2828–2832, 2012.

GREENHALGH, T. Computer assisted learning in undergraduate medical education. **British Medical Journal**, v. 322, n. 322, p. 40–4, 2001.

GRENVIK, A. et al. New aspects on critical care medicine training. **Current opinion in critical care**, v. 10, n. 4, p. 233–237, 2004.

GUÉRIN, C. et al. Prone Positioning in Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. **New England Journal of Medicine**, v. 368, n. 23, p. 2159–2168, 2013.

HOLANDA, M.A., 2016. Ventilador versus profissional de saúde versus paciente, hora de conversarmos! Archived at: <https://xlung.net/articles/14>.

KARCZ, M. et al. State-of-the-Art Mechanical Ventilation. **Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia**, v. 26, n. 3, p. 486–506, 2012.

KAUKONEN, K.-M. et al. Systemic Inflammatory Response Syndrome Criteria in Defining Severe Sepsis. p. 1–10, 2015.

KRATHWOHL, D. R. A Revision of Bloom ' s Taxonomy : **Education**, n. May 2012, p. 37–41, 2010.

LASSEN, H. C. A. A preliminary report on the 1952 epidemic of poliomyelitis in Copenhagen with special reference to the treatment of acute respiratory insufficiency. **The Lancet**, v. 1, n. 6749, p. 37–41, 1953.

LINO, J. A. et al. A Critical Review of Mechanical Ventilation Virtual Simulators: Is It Time to Use Them? **JMIR Med Educ.**, v. 2(1): e8, 2016.

MARIANI, A W.; PÊGO-FERNANDES, P. M. Medical education: simulation and virtual reality. **São Paulo medical journal = Revista paulista de medicina**, v. 129, n. 6, p. 369–70, 2011.

MCGAGHIE, W. C. et al. A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009. **Medical Education**, v. 44, n. 1, p. 50–63, 2010.

MCGAGHIE, W. C. et al. Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? A meta-analytic comparative review of the evidence. **Academic medicine : journal of the Association of American Medical Colleges**, v. 86, n. 6, p. 706–711, 2011.

MIYADAHIRA, A. M. et al. Ressuscitação cardiopulmonar com a utilização do desfibrilador externo semi-automático: avaliação do processo ensino-aprendizagem. **Revista da Escola de Enfermagem da U S P**, v. 42, n. 3, p. 532–538, 2008.

MORGAN, P. J.; CLEAVE-HOGG, D. Simulation technology in training students, residents and faculty. **Current Opinion in Anaesthesiology**, v. 18, n. 2, p. 199–203, 2005.

NIELSEN, J. 1995. Ten usability heuristics for the user interface desing. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Archived at: <http://www.webcitation.org/6gzpbbGDD>.

O'BOYLE, A. L. et al. Development of learning objectives and a validated testing tool for management of pediatric mechanical ventilation*. **Pediatric critical care medicine : a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies**, v. 15, n. 7, p. 594–9, 2014.

PETRUCCI, N.; IACOVELLI, W. Lung protective ventilation strategy for the acute respiratory distress syndrome. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 3, 2007.

PUTENSEN, C.; THEUERKAUF, N. Review Annals of Internal Medicine Meta-analysis : Ventilation Strategies and Outcomes of the Acute Respiratory Distress Syndrome and Acute Lung Injury. n. 14, 2009.

REVIEW, S. et al. Higher vs Lower Positive End-Expiratory Pressure in Patients With Acute Lung Injury. v. 303, n. 9, p. 865–873, 2016.

RICHARD, J. C. M.; KACMAREK, R. M. ICU mechanical ventilators, technological advances vs. user friendliness: the right picture is worth a thousand numbers. **Intensive Care Medicine**, v. 35, n. 10, p. 1662–1663, 2009.

SLUTSKY, A. S. History of Mechanical Ventilation. From Vesalius to Ventilator-induced Lung Injury. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 191, n. 10, p. 1106–15, 2015.

SOMAND, H.; REMINGTON, T. L. Pulmonary Disease. v. 39, n. 13, p. 1467–1475, 2005.

TALLO, F. et al. Evaluation of self-perception of mechanical ventilation knowledge among Brazilian final-year medical students, residents and emergency physicians. **Clinics**, v. 72, n. 2, p. 65–70, 2017.

VIGNAUX, L.; TASSAUX, D.; JOLLIET, P. Evaluation of the user-friendliness of seven new generation intensive care ventilators. **Intensive Care Medicine**, v. 35, n. 10, p. 1687–1691, 2009.

WAX, R. S.; KENNY, L.; BURNS, P. Educating providers of mechanical ventilation: an update. **Current opinion in critical care**, v. 12, n. 1, p. 61–6, 2006.

WILCOX, S. R. et al. Emergency Medicine Residents' Knowledge of Mechanical Ventilation. **The Journal of Emergency Medicine**, v. 48, n. 4, p. 481–491, 2014.

Apêndice A - Casos clínicos

Caso 1 – Hipoxemia grave.

Objetivo instrucional

Tratar episódio de hipoxemia grave, aumentando a FiO_2 .

Lembrar e entender que o ajuste da FiO_2 na VM deve ser o valor mínimo necessário para se atingir o alvo desejado (PaO_2 , $SatO_2$, ou SpO_2). **Reconhecer** a hipoxemia com algo deletério e **efetuar** o ajuste necessário para corrigi-la, aumentando a FiO_2 e verificando a melhoria da oxigenação, tanto na SpO_2 quanto na gasometria arterial (PaO_2 e $SatO_2$). **Entender** que o ajuste a ser implementado tem repercussões sobre a troca gasosa pulmonar.

Grau de dificuldade

Fácil

Cenário

Você é chamado pela enfermeira para avaliar um paciente intubado na UTI. Ela disse que ele está “dessaturando”. Trata-se de um senhor de 60 anos, 1,75m e 80kg, que evoluiu com insuficiência respiratória após uma pneumonia aguda da comunidade. Não tinha comorbidades e não fumava. Ao exame, encontrava-se sedoanalgasiado com escala de RASS -5 (coma sem resposta aos estímulos verbais ou exame físico), hemodinamicamente estável sem drogas vasoativas, saturando 82%, ausculta pulmonar mostrando roncos difusos em ambos os hemotóraces e VM no modo A/C PCV.

Figura 30 – Configuração inicial do caso clínico 1

| Ventilador | | A/C PCV | | - | |
|---|-------------|------------------------------|-----|---|-----|
| ΔP (cmH ₂ O) | | 16 | ↕ | | |
| f (rpm) | | 17 | ↕ | | |
| T. Insp. (s) | | 1 | ↕ | | |
| T. Subida (s) | | 0,1 | ↕ | | |
| PEEP (cmH ₂ O) | | 5 | ↕ | | |
| F _I O ₂ (%) | | 21 | ↕ | | |
| Pausa Insp. (s) | | 0 | ↕ | | |
| Pausa Exp. (s) | | 0 | ↕ | | |
| Tipo de Sensibilidade | | Fluxo | ▼ | | |
| Sensibilidade | | 2 | ↕ | | |
| Gasometria Com alerta de cores ▼ - | | | | | |
| pH | | 7.37 | | PaO ₂ | 48 |
| PaCO ₂ | | 42 | | SaO ₂ | 82 |
| HCO ₃ ⁻ | | 23 | | PaO ₂ /F _I O ₂ | 229 |
| BE | | 0 | | | |
| Paciente SARA leve ▼ sem distúrbios metabólicos ▼ no nível do mar ▼ - | | | | | |
| Dados Demográficos | | Fisiologia Pulmonar | | Esforço Muscular | |
| Sexo | Masculino ▼ | Rva (cmH ₂ O/l/s) | 15 | Pmus (cmH ₂ O) | 0 |
| Idade (anos) | 60 | Cst (ml/cmH ₂ O) | 30 | f (rpm) | 0 |
| Altura (metros) | 1,75 | VD/VT | 0,3 | Duração (s) | 0 |
| Peso (Kg) | 70 | Shunt (%) | 15 | | |
| Peso Ideal (Kg) | 70.6 | | | | |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Missão/Tarefa

Ajuste os parâmetros da VM de modo a obter a menor FiO₂ que garanta uma SpO₂ maior que 95%.

Tempo

4 minutos

Evolução / configuração sequencial

Para este exercício, o aluno não poderá, nem precisará solicitar gasometria.

Gabarito

FiO₂ em 35%.

Caso 2 – Ajuste do volume corrente no paciente com SARA

Objetivo instrucional

Lembrar e entender que o ajuste do VC na ventilação mecânica deve ser de 6ml/kg de peso previsto (e não peso real) e que este parâmetro tem repercussões na troca gasosa pulmonar. **Ajustar** o VC, verificando se os limites de segurança para SARA (4 – 6 ml/kg de peso ideal) estão sendo respeitados no gráfico volume x tempo e no painel de monitoração. **Entender** que o ajuste a ser implementado tem repercussões sobre a troca gasosa pulmonar.

Grau de dificuldade

Fácil

Cenário

Você, como médico plantonista, decidiu modificar o modo ventilatório do paciente do caso anterior para A/C VCV, visando garantir o VC alvo de (4 – 6 ml/kg de peso ideal), sabendo que o peso ideal é de 61,5kg.

Figura 31 – Configuração inicial do caso clínico 2

| Paciente | | SARA leve ▼ | sem distúrbios metabólicos ▼ | no nível do mar ▼ | — |
|--------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----|
| Dados Demográficos | | Fisiologia Pulmonar | | Esforço Muscular | |
| Sexo | Masculino ▼ | Rva (cmH ₂ O/l/s) | 15 ▼ | Pmus (cmH ₂ O) | 0 ▼ |
| Idade (anos) | 60 ▼ | Cst (ml/cmH ₂ O) | 30 ▼ | f (rpm) | 0 ▼ |
| Altura (metros) | 1,75 ▼ | VD/VT | 0,3 ▼ | Duração (s) | 0 ▼ |
| Peso (Kg) | 70 ▼ | Shunt (%) | 15 ▼ | | |
| Peso Ideal (Kg) | 70.6 | | | | |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Missão/Tarefa

Ajuste o VC, verificando se os limites de segurança para SARA (4 – 6 ml/kg de peso ideal) estão sendo respeitados no gráfico volume x tempo e no painel de monitoração.

Tempo

5 minutos

Evolução / configuração sequencial

Para este exercício, o aluno não poderá, nem precisará solicitar gasometria. Os limites de segurança para SARA estarão ativados no gráfico volume x tempo.

Gabarito

VC deve ser ajustado de 246ml a 369ml.

Caso 3 - Pausa inspiratória.

Objetivo instrucional

Realizar uma pausa inspiratória, possibilitando a identificação de um platô na curva de pressão x tempo.

Grau de dificuldade

Fácil

Cenário

Gestante de 14 semanas, 56kg de peso ideal, procura a emergência por desconforto respiratório e febre. Há três dias apresentando febre, cefaleia leve, dor no corpo, rash cutâneo pruriginoso principalmente no tronco e dispneia. Outras pessoas em seu bairro apresentaram quadro semelhante, compatível com “zika”. Nas últimas 24h evoluiu com piora da dispneia. Ao exame, encontrava-se com escala de coma de Glasgow de 15, ansiosa, taquicárdica 115bpm, taquidispneica com FR 36rpm, SpO₂ 85% em ar ambiente, hemodinamicamente estável sem drogas vasoativas e ausculta pulmonar mostrando roncos difusos bilateralmente.

Após tentativa com oxigênio terapia em máscara de reservatório, constatou-se que não houve melhora significativa do quadro clínico nem da SpO₂ (subiu apenas para 91%). Indicou-se intubação orotraqueal e VM por insuficiência respiratória tipo I.

Após o adequado ajuste inicial da VM da paciente do caso anterior, você como médico plantonista decide calcular a pressão de platô e a *driving pressure* para garantir uma estratégia de ventilação protetora.

Figura 32 – Configuração inicial do caso clínico 3

| | | |
|---------------|-----------|-------|
| Ventilador | A/C VCV ▾ | - |
| Volume (ml) | | 340 ▾ |
| f (rpm) | | 27 ▾ |
| Fluxo (l/min) | | 35 ▾ |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Missão/Tarefa

Realize uma pausa inspiratória de 1 segundo, possibilitando a visualização de um platô na curva de pressão x tempo.

Tempo

5 minutos

Evolução / configuração sequencial

Não se aplica

Gabarito

Ajuste (selecionar, confirmar e checar) de pausa inspiratória de 1 segundo.

Observação: é importante esperar estabilizar, ou seja, dar tempo suficiente para que os comandos efetuados gerem modificações nos parâmetros do monitor e da gasometria.

Caso 4 – Ajuste inicial dos parâmetros de ventilação mecânica em paciente sem patologia pulmonar.

Objetivo instrucional

Ajustar os parâmetros iniciais da ventilação mecânica no modo A/C VCV em paciente sem patologia pulmonar, respeitando as últimas diretrizes brasileiras de VM (6ml/kg de peso ideal) e obtendo uma gasometria arterial normal. **Lembrar** e **entender** que o ajuste dos parâmetros da ventilação mecânica tem repercussões na troca gasosa pulmonar. **Ajustar** o VC, verificando se os limites de segurança para SARA (4 – 6 ml/kg de peso ideal) estão sendo respeitados no gráfico volume x tempo e no painel de monitoração. **Entender** que o ajuste a ser implementado tem repercussões sobre a troca gasosa pulmonar. **Criar** um novo ajuste dos demais parâmetros, fazendo correções paralelas que compensem eventuais problemas do novo ajuste do VC e garantam uma gasometria normal.

Grau de dificuldade

Difícil

Cenário

Mulher de 30 anos, 1,52m e peso atual de 60 kg e ideal de 45,1kg, deu entrada na emergência com quadro de rebaixamento do nível de consciência após tentativa de suicídio com ingestão de benzodiazepínicos. Ao exame encontrava-se com Escala de Coma de Glasgow 6, hemodinamicamente estável sem drogas vasoativas, ausculta pulmonar limpa, porém com frequência respiratória de 6irpm e saturação de pulso (SpO₂) de 85%. Você é o médico plantonista e decidiu intubar a paciente para proteção de vias aéreas, após não ter obtido resposta satisfatória com administração de flumazenil endovenoso.

Missão/Tarefa

Ajuste os parâmetros iniciais da ventilação mecânica (VM) para esta situação, utilizando o modo A/C VCV, respeitando as diretrizes brasileiras de VM (2013), e obtenha uma gasometria arterial normal.

Tempo

Disporá de 5 minutos para realizar esta tarefa.

Evolução

Para este exercício, o aluno poderá visualizar a gasometria arterial de forma contínua e em cores. Também será permitido visualizar o VC (em ml/kg) e as faixas de segurança na cura de volume x tempo (para 6 – 8 ml/kg). Não será permitido modificar o modo ventilatório.

Figura 33 – Configuração inicial do caso clínico 4

The image shows a clinical simulation interface with three main panels:

- Paciente:**
 - Normal intubado sem esforço
 - sem distúrbios metabólicos
 - no nível do mar
 - Dados Demográficos:** Sexo: Feminino, Idade (anos): 30, Altura (metros): 1,52, Peso (Kg): 60, Peso Ideal (Kg): 45,1
 - Fisiologia Pulmonar:** Rva (cmH₂O/l/s): 8, Cst (ml/cmH₂O): 60, VD/VT: 0,26, Shunt (%): 3
 - Esforço Muscular:** Pmus (cmH₂O): 0, f (rpm): 0, Duração (s): 0
- Ventilador:**
 - A/C VCV
 - Volume (ml): 500
 - f (rpm): 14
 - Fluxo (l/min): 60
 - Formato: □
 - T. Insp. (s): 0.50
 - PEEP (cmH₂O): 5
 - F_IO₂ (%): 21
 - Pausa Insp. (s): 0
 - Pausa Exp. (s): 0
 - Tipo de Sensibilidade: Fluxo
 - Sensibilidade: 2
 - Alarmes
- Parâmetros:**
 - Ventilometria:** VC_i (ml): 500, VC_e (ml): 500, VC_i (ml/Kg): 11.08, VC_e (ml/Kg): 11.08, f (rpm): 14, VE (l/min): 7.00
 - Sincronia:**
 - Mecânica Respiratória:** P Pico (cmH₂O): 21.42, P_{plateau} (cmH₂O): -, Driving P. (cmH₂O): -, PEEP_{TOT} (cmH₂O): -

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Resolução

O aluno deverá reduzir o volume corrente para adequar ao peso ideal da paciente passando de 11,08 para 6 ml/kg de peso ideal aproximadamente.

Figura 34 – Gasometria arterial após ajuste do volume corrente para 6ml/kg

| Gasometria | | Com alerta de cores | |
|-------------------------------|------|---|-----|
| pH | 7.19 | PaO ₂ | 67 |
| PaCO ₂ | 74 | SaO ₂ | 88 |
| HCO ₃ ⁻ | 28 | PaO ₂ /F _I O ₂ | 320 |
| BE | 0 | | |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Entretanto, a primeira gasometria arterial deverá mostrar que o volume minuto de 7l/min está adequado. Dessa forma, para compensar a diminuição do VC que deve ser feita, o aluno deverá aumentar a frequência respiratória. Para isso utilizamos a fórmula do VE: $FR \times VC = FR' \times VC'$, $14 \times 500 = FR \times 270$, logo a frequência deve ser ajustada em 26irpm.

Figura 35 – Gasometria arterial após ajuste da frequência respiratória para 26irpm

| Gasometria | Com alerta de cores ▼ | — |
|-------------------------------|-----------------------|--|
| pH | 7.39 | PaO ₂ 85 |
| PaCO ₂ | 40 | SaO ₂ 96 |
| HCO ₃ ⁻ | 23 | PaO ₂ /F _O 2 403 |
| BE | 0 | |

Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Gabarito

Ajustar o volume corrente em 270ml e a frequência em 26rpm para obter uma gasometria normal.

São aceitos como corretos quaisquer ajustes de VC dentro da faixa de segurança de (6 – 8 ml/kg), de 270 – 360 ml. Os valores de FR considerados corretos são os que garantem uma gasometria normal, respeitando-se o ajuste do VC.

Caso 5 – Distúrbio metabólico.

Objetivo instrucional

Identificar a acidose respiratória e **compreender** do mecanismo de compensação respiratória secundária. Calcular a PaCO_2 esperada a partir da fórmula: $\text{PaCO}_2 \text{ esp.} = 1,5 \times \text{Bic} + 8 \pm 2$. **Lembrar** e **entender** que o ajuste da FR tem repercussões na troca gasosa pulmonar e equilíbrio ácido-básico. **Criar** um novo ajuste da FR para obter a PaCO_2 esperada. **Verificando** a resposta esperada na gasometria arterial.

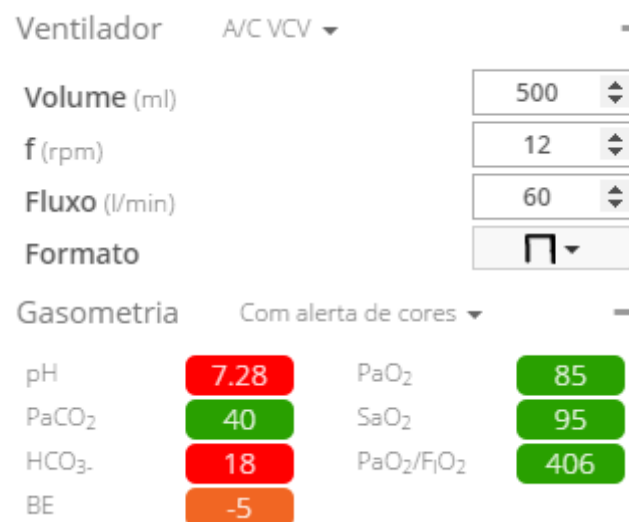
Grau de dificuldade

Difícil

Cenário

Homem de 30 anos, 1,80m e 80kg, chega à UTI no PO imediato de laparotomia por abdome agudo inflamatório secundário à apendicite aguda. O achado intra-operatório mostrou perfuração do apêndice inflamado com peritonite purulenta. Apresentava à admissão ausculta pulmonar limpa e hemodinâmica estável com dose baixa de noradrenalina. Os parâmetros ventilatórios e gasometria arterial eram:

Figura 36 – Configuração inicial do caso clínico 5



Fonte: (ARAÚJO, 2017)

Missão/Tarefa

Ajuste a ventilação mecânica para **compensar** o distúrbio ácido-básico.

Tempo

10 minutos

Evolução / configuração sequencial

Para este exercício, o aluno poderá visualizar gasometria de forma contínua.

Gabarito

O aluno deve inicialmente calcular a paCO_2 esperada para o bicarbonato de 18mEq/L ($\text{PaCO}_2 \text{ esp.} = 1,5 \times \text{Bic} + 8 \pm 2$), ou seja, $\text{PaCO}_2 = 35 \pm 2$. Em seguida, deve definir a meta de volume corrente (em se tratando de sepse, 4-6ml/kg). Ajusta-se o VC de 300 a 450ml, depois aumenta-se a FR de 17 a 29irpm, objetivando um volume minuto de 8,1, que define o PaCO_2 esperada de 35.

Caso 6 – Ajuste do tempo expiratório.**Objetivo instrucional**

Conhecer os parâmetros que determinam o tempo expiratório (FR, fluxo inspiratório e do formato da sua curva). **Lembrar** e **entender** que o ajuste dos parâmetros da ventilação mecânica tem repercussões na troca gasosa pulmonar. **Entender** que o ajuste a ser implementado tem repercussões sobre a troca gasosa pulmonar. **Criar** um novo ajuste, fazendo correções paralelas que compensem eventuais problemas e garantindo uma gasometria normal. **Programar** o tempo expiratório de 0,8 segundos, indiretamente.

Grau de dificuldade

Difícil

Cenário

Homem de 30 anos, 1,80m e 80kg, chega à UTI no PO imediato de laparotomia por abdome agudo inflamatório secundário à apendicite aguda. Após o ajuste dos parâmetros ventilatórios no caso anterior, encontra-se em A/C VCV com VC 450; FR 17; fluxo 60 com onda quadrada; tempo ins. 0,6 s; e tempo exp. 2,9.

Missão/Tarefa

Encontre uma configuração de parâmetros que determine um tempo inspiratório de 0,8s.

Tempo

5 minutos

Evolução / configuração sequencial

Não é permitido solicitar gasometria.

Gabarito

Fluxo inspiratório de 45l/min (10% do valor volume correte)

Apêndice B - Função de ajuda para estruturação dos casos clínicos

1. Título ou nome do exercício simulado – discriminará o caso clínico simulado, definindo as características peculiares, possibilitando facilmente a identificação pelos usuários (elaborador e aluno).

2. Objetivos de aprendizagem – definirão as habilidades ou competências a serem avaliadas.

3. Grau de dificuldade – deverá ser definido levando-se em consideração não apenas o caso em si, mas a população alvo. Assim, o mesmo exercício poderá ser considerado de grau de dificuldade difícil para iniciantes em VM e fácil, para profissionais experientes.

4. Cenário – constituirá da história e exame clínico, que circunstanciam e ilustram o caso, tornando-o mais real e fornecendo dados relevantes sobre a condição do paciente.

5. Tarefa – deverá ser um texto conciso, claro e objetivo, não deixando margem para interpretações variadas. Nela constará a missão a ser executada pelo aluno. Poderá haver mais de um comando por caso clínico.

6. Configuração sequencial – contemplará qualquer modificação ocorrida na configuração da simulação após o seu início. Tais alterações poderão acontecer nos parâmetros do paciente, ventilador ou ambiente. Neste tópico, serão incluídos os exames, de imagem ou laboratoriais, bem como o número de solicitações possibilitadas ao usuário. Por exemplo, definir previamente que o aluno poderá solicitar no máximo duas gasometrias em um determinado caso. A configuração sequencial tratar-se-á, portanto, de uma opção, não sendo uma exigência do *software* para se elaborar um exercício.

7. Tempo – deverá constar explicitamente em cada caso, sendo de caráter obrigatório para sua elaboração. Será sugerido a adequação entre a tarefa exigida e o tempo disponibilizado para sua execução. Deverá se levar em consideração o nível do aluno, lembrando que quanto mais iniciante, mais tempo será demandado para se realizar uma mesma tarefa.

8. Resolução – A resolução do caso pelo elaborador permitirá simultaneamente avaliar a dificuldade e o tempo necessários para sua realização, bem como que conhecimentos e habilidades serão exigidos pelo usuário. Vale ressaltar que poderá haver, dependendo do exercício, mais de uma forma de se obter o mesmo resultado. Por isso, o professor precisará definir detalhadamente a tarefa a ser executada, inclusive determinando algumas condições a serem cumpridas.

9. Gabarito – O gabarito da simulação é outro tópico obrigatório que deverá ser definido previamente. Nele, o professor deverá definir quais itens serão avaliados ao final do exercício, determinando ainda o nível de criticidade de cada um deles, onde por “crítico” se entenderá um item de cumprimento obrigatório ou condicionante para se atingir o objetivo. Os resultados dos itens esperados como corretos poderão ser distribuídos em faixas (intervalos) considerados “normais” ou “satisfatórios” pelo elaborador. Pesos para cada um dos itens avaliados deverão ser definidos, podendo ser iguais ou não. A pontuação será definida pelo somatório da combinação dos itens corretos (dentro da faixa determinada) multiplicado pelo peso estabelecido.

Apêndice C - Autorização do comitê de ética em pesquisa

**CEP INSTITUTO PARA DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO LTDA IPADE
CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS**



Of. No. 131/16

Protocolo do CEP: 62513716.6.0000.5049

Pesquisador Responsável: Prof. VITOR NOGUEIRA ARAUJO

Título do Projeto: Desenvolvimento de um módulo de exercícios de simulação virtual online aplicado à aprendizagem em ventilação mecânica.

Levamos ao conhecimento de V. Sa que o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto para Desenvolvimento da Educação LTDA – IPADE dentro das normas que regulamentam a pesquisa em seres humanos, do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde, Resolução Nº 196 de 10 de outubro de 1996 e Resolução Nº 251 de 07 de agosto de 1997, publicadas no Diário Oficial, em 16 de outubro de 1996 e 23 de setembro de 1997, respectivamente, considerou **APROVADO** o projeto supracitado na reunião do dia 14 (quatorze) de dezembro de 2016.

Outrossim, gostaríamos de relembrar que:

1. O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado.
2. O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP/Instituto para Desenvolvimento da Educação LTDA - IPADE, aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa que requeiram ação imediata.
3. O CEP/Instituto para Desenvolvimento da Educação LTDA - IPADE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo.
4. Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP/Instituto para Desenvolvimento da Educação LTDA - IPADE de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificado e suas justificativas.
5. Relatórios parciais e finais devem ser apresentados ao CEP/Instituto para Desenvolvimento da Educação LTDA - IPADE ao término do estudo, período máximo 14/12/2017.

Fortaleza, 14 de dezembro de 2016.

Olga Vale Oliveira Machado
Coordenadora

CEP/Instituto para Desenvolvimento da Educação LTDA - IPADE

Campus Beçica
Rua Francisco Manoel, 1920
60015-001 - Fortaleza/CE
Fone: 85 3214-8220 / 3214-8272

Campus Dionísio Torres
Rua Iracema Bezerra, 610
60115-400 - Fortaleza/CE
Fone: 85 3257-1001 / Fax: 85 3227-1062

Campus El Luro
Av. Domício, 911
60160-000 - Fortaleza/CE
Fone: 85 3157-1350 / Fax: 85-3457-5824

Campus Parque Ecológico
Rua João Adriano Corrêa, 111
60194-000 - Fortaleza/CE
Fone: 85 3265-8300 / Fax: 85 3265-8100

Apêndice D - TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Este é um convite para você participar da pesquisa “Desenvolvimento de um Módulo de Exercícios de simulação virtual *online* aplicado à aprendizagem em ventilação mecânica”, que é coordenado pelo pesquisador **Vitor Nogueira Araújo**. Sua participação é voluntária, o que significa que você poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento, sem que isso lhe traga nenhum prejuízo ou penalidade.

O presente estudo objetiva o desenvolvimento de um Módulo de Exercícios de simulação *online* para o *software* Xlung. O intuito é facilitar o aprendizado virtual de ventilação mecânica através de casos clínicos elaborados pelos professores e resolvidos pelos alunos. Esta ferramenta permitirá um ensino massificado à distância, com múltiplas possibilidades de repetição e isento de risco para o paciente.

O *software* possibilita o manejo de parâmetros ventilatórios nos modos assistido-controlado a volume (VCV), à pressão (PCV), ventilação com pressão de suporte (PSV) e com pressão contínua e nas vias aéreas (CPAP). Outras ferramentas como gasometria arterial, distúrbios metabólicos e dados relativos ao paciente também são explorados, facilitando o entendimento de algumas patologias clínicas prevalentes no dia a dia do profissional de saúde.

Caso decida aceitar o convite, você receberá por *email* 12 casos clínicos elaborados pela equipe da pesquisa e relacionados a situações corriqueiras de manejo de ventilação mecânica. Ao final da resolução e envio dos casos clínicos, você terá, através de *email*, o *feedback* com as respostas e pontuação atingida, bem como um questionário de avaliação da usabilidade do Módulo de Exercícios para o *software* Xlung.

Você não receberá benefício direto com o estudo, a não ser contribuir para a confecção de novos dispositivos que ajudem no avanço da medicina, estando totalmente ciente de que não há valor econômico algum, a receber ou a pagar, pela participação.

Os riscos envolvidos com sua participação são: sentir-se desconfortável e/ou constrangido ao responder ao questionário.

Todas as informações obtidas serão sigilosas e seu nome não será identificado em nenhum momento. Os dados serão guardados em local seguro e a divulgação dos resultados será feita de forma a não lhe identificar.

É assegurado a você assistência integral gratuita devido a danos diretos/indiretos e imediatos/tardios pelo tempo que for necessário. Ressalta-se que é de responsabilidade do pesquisador, do patrocinador do estudo e das instituições participantes, a prestação de assistência integral e acompanhamento se você vier a sofrer tais danos, conforme item II.3.2 da Resolução CNS nº 466/2012. É garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que quiser saber antes, durante e depois da participação.

No entanto, caso tenha qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento mediante depósito em conta-corrente. De igual maneira, caso ocorra algum dano

decorrente da participação no estudo, você será devidamente indenizado, conforme determina a lei.

O presente documento é composto por 03 (três) páginas devidamente numeradas. Solicitamos ainda o favor de rubricar as 03 (três) páginas do documento, o qual será elaborado em duas vias, sendo uma retida com o pesquisador responsável e outra com você, juntamente com uma cópia do manual de utilização da mesa protótipo em estudo.

O estudo em questão, assim como esse documento, está de acordo com o que preconiza a Resolução CNS n° 466 de 12 de dezembro de 2012 e foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Universitário Christus.

Conforme deliberado pelo Conselho Nacional de Saúde, a Resolução CNS 196/96 criou uma instância colegiada, de natureza consultiva, educativa e formuladora de diretrizes e estratégias, a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP). A CONEP tem como principal atribuição o exame dos aspectos éticos das pesquisas que envolvem seres humanos. Como missão, elabora e atualiza as diretrizes e normas para a proteção dos sujeitos de pesquisa e coordena a rede de CEP das instituições. Os Comitês de Ética em Pesquisa são órgãos colegiados, compostos por profissionais de diferentes áreas do conhecimento e por representantes da comunidade, responsáveis pela avaliação ética e metodológica dos projetos de pesquisa envolvendo seres humanos.

Toda a dúvida que você tiver a respeito desta pesquisa, poderá perguntar diretamente para **Vitor Nogueira Araújo**, coordenador da pesquisa, através do telefone (85) 9 9996-4496. Dúvidas a respeito da ética dessa pesquisa poderão ser questionadas ao Comitê de Ética em Pesquisa do Centro Universitário Christus, presencialmente no endereço: Rua Adolfo Gurgel, 133, Bairro: Cocó, CEP: 60190-060, Fortaleza-CE, de segunda a sexta-feira, no horário de 8 às 14h; por telefone: (85) 3265.6668, fax: (85) 3265.6668, ou E-mail: fc@fchristus.com.br; ou à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) no endereço: SEPN 510 Norte, Bloco A, 3° andar, Edifício Ex-INAN, Unidade II, Ministério da Saúde, CEP: 70750-521, Brasília-DF, de segunda a sexta-feira, no horário de 8 às 18h, telefone (61) 3315-5878, E-mail: conep@saude.gov.br.

Consentimento Livre e Esclarecido:

Declaro que compreendi os objetivos desta pesquisa, como ela será realizada, os riscos e benefícios envolvidos e concordo em participar voluntariamente da pesquisa.

Fortaleza, _____ de _____ de 2017.

Nome do(a) participante da pesquisa: _____

CPF do(a) participante da pesquisa: _____

Assinatura do participante da pesquisa:

Vitor Nogueira Araújo
Pesquisador Responsável

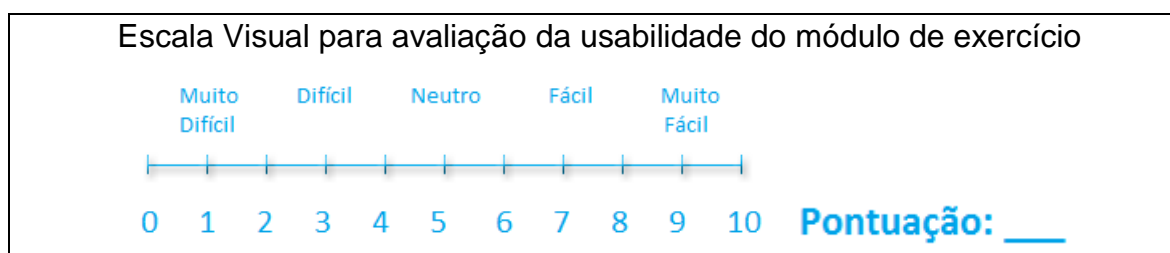
ANEXO

Questionário de usabilidade – princípios Heurísticos.

Email: _____ Data: __/__/__

| Princípios Heurísticos | DT | D | N | C | CT |
|---|----|---|---|---|----|
| 1º: Status de visibilidade do Módulo de Exercícios | | | | | |
| O Módulo de Exercícios oferece aos usuários de forma acurada e rápida informações sobre o que está acontecendo, isto é, <i>feedback</i> apropriado | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2º: Correspondência entre o Módulo de Exercícios e a realidade | | | | | |
| O Módulo de Exercícios usa a linguagem do usuário: palavras, expressões e conceitos que são familiares a ele; segue as convenções do mundo real; e apresenta a informação em ordem natural e lógica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3º: Liberdade e controle pelo usuário | | | | | |
| O Módulo de Exercícios oferece “saídas de emergência”, de forma clara, que permitem mudar de tela/janela rapidamente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4º: Consistência e padrões | | | | | |
| Módulo de Exercícios usa palavras, situações ou ações de forma coerente, sempre com o mesmo significado, sem deixar o usuário incerto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5º: Prevenção de erro | | | | | |
| O Módulo de Exercícios previne problemas e elimina situações propensas ao erro. Utiliza mensagens de confirmação antes de executar qualquer ação crítica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6º: Reconhecimento ao invés de lembrança | | | | | |
| O Módulo de Exercícios oferece instruções de como utilizá-lo de forma visível ou facilmente recuperável. A interface oferece ajuda contextual e informação para orientar as ações do usuário | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7º: Flexibilidade e eficiência na utilização | | | | | |
| O Módulo de Exercícios é fácil de ser usado por usuários leigos, mas flexível suficientemente para se tornar ágil para usuários avançados | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8º: Leiaute e estética minimalista | | | | | |
| O Módulo de Exercícios apresenta-se de forma simples, linear e natural, sem expor mais informações do que o usuário precisa saber | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9º: Ajuda ao usuário para reconhecer, diagnosticar e corrigir erros | | | | | |
| O Módulo de Exercícios usa linguagem simples (sem códigos) em suas mensagens de erro, indicando o problema com precisão e sugerindo uma solução construtiva | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10º: Ajuda e documentação | | | | | |
| O Módulo de Exercícios oferece opções de ajuda e documentação, facilmente encontrada através de uma ferramenta de pesquisa | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

1- DT: discorda totalmente; 2- D: discorda; 3- N: neutro (a); 4- C: concorda; 5- CT: concorda totalmente. Fonte: Adaptado (NIELSEN, 1995)



(ARAÚJO, 2017)