

Ventilador minimalista de emergência para COVID-19

Paulo Fonte^{1,2,3}

¹ ICNAS – Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

² Instituto Politécnico de Coimbra – ISEC, Coimbra, Portugal

³ LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

fonte@coimbra.lip.pt

Resumo

Um extenso grupo de voluntários de diversas instituições, enquadrados no Project OpenAir, procuraram nos meses de Março e Abril de 2020 conceber um ventilador simples e seguro que permitisse acudir em última instância às necessidades do pico da pandemia em Portugal. O dispositivo esteve disponível para replicação a partir de meados de Abril, coincidentemente com o pico da pandemia.

Foram centrais no seu desenho os constrangimentos logísticos que se viviam na época, ditando sobretudo a escolha de componentes comuns, que existissem já no País em quantidade, e métodos de fabrico simples, facilmente massificáveis. Esta abordagem permite-nos imaginar que o conceito (open-source) possa ser útil e implementável localmente em regiões do Mundo com menores recursos e/ou dificuldades logísticas acentuadas.

Introdução

COVID-19 é o nome atribuído pela Organização Mundial da Saúde à doença provocada pelo coronavírus SARS-COV-2, identificado pela primeira vez em humanos no final de 2019. O vírus pode causar infecção respiratória grave, e uma percentagem significativa dos doentes necessita de ventilação mecânica. Em 2020, em situação de pandemia, as necessidades superaram a capacidade instalada, pondo em risco a sobrevivência dos pacientes, mesmo em alguns países com índices elevados de desenvolvimento. Por outro lado, é de esperar que as situações mais críticas aconteçam em regiões onde a compra de materiais e componentes técnicos seja difícil ou impossível.

Agregados no Project OpenAir [1] um extenso grupo de voluntários de diversas instituições [2] procurou, face aos constrangimentos logísticos do momento, uma forma realista de fornecer aos profissionais de

saúde uma última alternativa viável e segura de ventilação mecânica invasiva, capaz de salvar vidas caso o pior acontecesse.

Dentre estas instituições salientam-se a Escola de Medicina e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, o LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas e o ICNAS - Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde da Universidade de Coimbra, bem como engenheiros portugueses afiliados a equipas de Fórmula 1 e médicos das Forças Armadas. É de salientar a enorme disponibilidade que encontramos a nível nacional e internacional para contribuir para este projecto.

Um frutuoso intercâmbio entre os médicos, físicos e engenheiros da equipa permitiu identificar o modo de ventilação mandatária de pressão controlada (PC-CMV) como aquele que permitiria intersectar os constrangimentos com as exigências médicas.

Conceito

Dados os constrangimentos temporais e materiais, a elegância teve de ceder lugar à viabilidade, tendo-se chegado ao circuito pneumático representado na Figura 1, a que corresponde a implementação visualizável na Figura 2.

Tendo em consideração a gama de pressões requeridas, foi possível utilizar componentes pneumáticos geralmente utilizados em instalações de gás em edifícios (P1, P2, V1, V2, M2), amplamente disponíveis, e de colunas de água, precisas, fiáveis e fáceis de fabricar, como válvulas de pressão (C1,C2) e manómetro (M1).

O regulador de pressão P1, ajustável de 5 a 40 cm H₂O¹, define a pressão máxima de inspiração (PIP), que é aplicada ao ramo inspiratório por accionamento da electroválvula V1. A válvula de segurança C1 assegura que em caso nenhum é possível aplicar ao paciente uma sobrepressão perigosa. A este fluxo inspiratório em oxigénio é possível misturar um fluxo de ar, via regulador P2 e válvula V3, para regulação da fracção de oxigénio inspirado (FiO₂).

A expiração é desencadeada pela abertura da electroválvula V2, passando o fluxo expiratório através da coluna de água C2, regulada para proporcionar uma contrapressão denominada pressão expiratória final (PEEP) entre 0 e 20 cmH₂O, importante para evitar o colapso dos alvéolos pulmonares durante a expiração. Um sensor de oxigénio externo pode ser aplicado ao ar exalado para estimativa da FiO₂.

Os circuitos electrónicos são puramente analógicos e utilizam apenas componentes muito comuns, compreendendo um temporizador para accionamento das electroválvulas e alarmes de apneia e perda de energia eléctrica [2]. O alarme de apneia baseia-se na detecção da falta de oscilação do manómetro de água através de um sensor capacitivo aplicado no tubo, visível no painel direito da Figura 2.

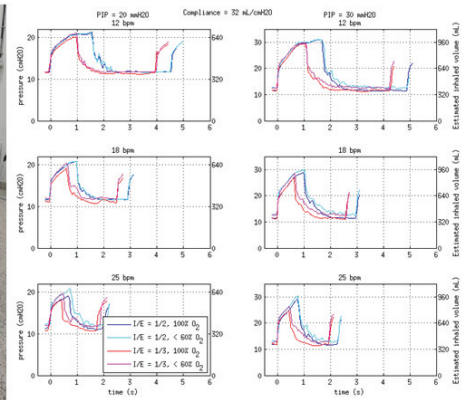


Figura 3 - Painel esquerdo: dispositivo em teste, com o sensor de oxigénio aplicado à saída de ar exalado. Painel direito: perfis de pressão medidos à entrada do tubo traqueal em função do tempo para taxas respiratórias de aproximadamente 12, 18 e 25 por minuto, razões tempo de inspiração/expiração (I/E) de 1/2 e 1/3 e complacência pulmonar de 32 mL/cmH₂O. A PIP foi definida em 20 cmH₂O ou 30 cmH₂O (colunas esquerda ou direita) e a PEEP foi definida em 12 cmH₂O em todos os casos. Foram consideradas duas fracções de O₂ exalado: 100 % ou menos de 60 %. O volume inalado correspondente, estimado a partir da calibração do "pulmão", pode ser lido na escala do lado direito.

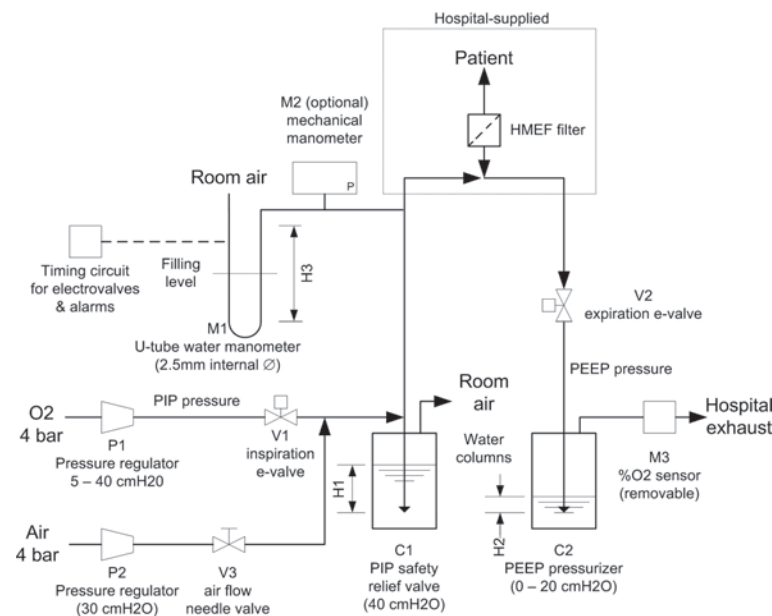


Figura 1 - Circuito pneumático do ventilador de emergência.



Figura 2 - Painel à esquerda: vista global do ventilador. Painel central: parte superior, com identificação dos componentes (ver Figura 1 para os componentes pneumáticos e [2] para os componentes electrónicos). Painel direito: idem, para a parte inferior. Os tubos finos nas colunas de água são para ajuste do nível e os tubos centrais podem mover-se verticalmente para ajuste rápido das pressões.

Resultados

O ventilador foi testado com um modelo pulmonar mecânico de complacência ajustável, como se pode visualizar no painel esquerdo da Figura 3. No painel direito da mesma figura estão apresentadas curvas de pressão à entrada do tubo traqueal em função do tempo, para uma escolha de parâmetros de funcionamento plausíveis.

Foram realizados testes químicos e bacteriológicos que demonstraram que os componentes utilizados não introduzem no fluxo inspiratório qualquer componente volátil pernicioso [2].

No momento de redação, o ventilador tinha estado sujeito a 35 dias completos de operação contínua com oxigénio puro a uma taxa de 120 respirações por minuto, correspondendo a 140 dias de operação normal, sem qualquer problema de funcionamento.

Trabalho derivado

Modelos derivados deste (Figura 4). foram desenvolvidos entretanto pelas equipas da Universidade NOVA de Lisboa e do LIP, com o objectivo de melhorar a funcionalidade e a portabilidade do dispositivo, tendo em vista a sua possível utilização em locais remotos tirando partido da sua robustez, facilidade de manutenção e baixo custo.

Para além dos testes de bancada, estes dispositivos serão em breve testados em animais de grande porte, no sentido da sua acreditação como ventiladores de emergência COVID-19.

1 mbar.

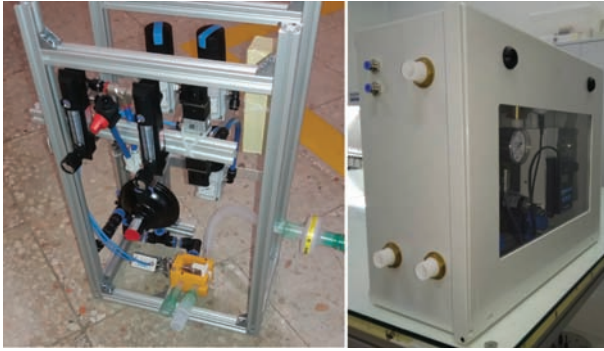


Figura 4 - Painel da esquerda: modelo MiniVent (Minimalist Ventilador for COVID-19) desenvolvido pela Universidade NOVA de Lisboa e (direita) modelo EVEN (Emergency VENTilator) desenvolvido pelo LIP e ICNAS.

Agradecimentos

A Maria Catarina Espírito Santo pela sua inestimável contribuição para a preparação do manuscrito.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia no quadro do programa RESEARCH FOR COVID-19, projeto nº. 96.

Referências

- [1] Project Open Air (<https://projectopenair.org>)
- [2] Américo Pereira, Luís Lopes, Paulo Fonte, Pedro Póvoa, Telmo G. Santos et al., "Prototype of an affordable pressure-controlled emergency mechanical ventilator for COVID-19", arXiv:2004.00310v3 (2020).



Paulo J. R. Fonte, é licenciado em Engenharia Física Tecnológica pelo Instituto Superior Técnico (1987) e doutorado em Física da Radiação pela Universidade de Coimbra (1993). É desde 2000 professor coordenador no Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico de Coimbra.

A sua actividade científica tem-se centrado nos detectores gasosos de partículas elementares com especial incidência nas Câmaras de Placas Resistivas (RPC). O grupo RPC do LIP tem desenvolvido a tecnologia destes detectores e realizado aplicações em Física Nuclear, Astropartículas e Imagiologia Médica.