

Sistema para auxílio na aplicação e análise da Ausculta Pulmonar

System to aid in the application and analysis of Pulmonary Auscultation

Sistema de ayuda en la aplicación y análisis de la Auscultación Pulmonar

Giuliana Oliveira de Mattos Leon¹, Érico Marcelo Hoff do Amaral¹, Julio Saraçol Domingues Júnior¹

1 Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Bagé (RS), Brasil.

Autor correspondente: Giuliana Oliveira de Mattos Leon
E-mail: giulianaleon15@gmail.com

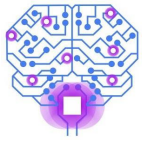
Resumo

A fisioterapia respiratória é um dos principais tratamentos para as doenças pulmonares. A ausculta pulmonar é extremamente importante, pois trata-se do principal método de exame físico do tórax que permite uma melhor análise do funcionamento pulmonar para detecção de doenças respiratórias. Trata-se do desenvolvimento de um sistema capaz de auxiliar na aplicação da técnica de ausculta pulmonar, por meio de um dispositivo capaz de capturar dados sonoros durante a etapa da aplicação da técnica. Este sistema conta com integração de hardware e software. Além disso, o sistema permitiu que estudantes e profissionais de saúde realizassem uma capacitação para o auxílio na identificação acústica de sons pulmonares. Ademais, foram realizados experimentos com fisioterapeutas, avaliando todas as funções desenvolvidas na solução. Os resultados obtidos demonstraram um alto potencial de aplicabilidade para a problemática proposta.

Descritores: Ausculta Pulmonar; Microcontroladores; Informática Médica

Abstract

Respiratory physiotherapy is one of the main treatments for lung diseases. Pulmonary auscultation is extremely important, as it is the main method of physical examination of the chest that allows a better analysis of lung functioning for the detection of respiratory



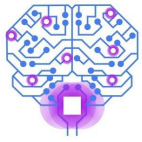
diseases. This is the development of a system capable of assisting in the application of the technique of pulmonary auscultation, through a device capable of capturing sound data during the stage of application of the technique. This system has hardware and software integration. In addition, the system allowed students and health professionals to carry out training to aid in the acoustic identification of lung sounds. In addition, experiments were carried out with physical therapists, evaluating all the functions developed in the solution. The results obtained showed a high potential for applicability in the proposed problem.

Keywords: Pulmonary Auscultation; Microcontrollers; Medical Informatics

Resumen

La fisioterapia respiratoria es uno de los principales tratamientos para las enfermedades pulmonares. La auscultación pulmonar es de suma importancia, ya que es el principal método de examen físico del tórax que permite un mejor análisis del funcionamiento pulmonar para la detección de enfermedades respiratorias. Se trata del desarrollo de un sistema capaz de auxiliar en la aplicación de la técnica de auscultación pulmonar, a través de un dispositivo capaz de captar datos sonoros durante la etapa de aplicación de la técnica. Este sistema tiene integración de hardware y software. Además, el sistema permitió a los estudiantes y profesionales de la salud realizar un entrenamiento para ayudar en la identificación acústica de los sonidos pulmonares. Además, se realizaron experimentos con fisioterapeutas, evaluando todas las funciones desarrolladas en la solución. Los resultados obtenidos mostraron un alto potencial de aplicabilidad para el problema propuesto.

Descriptorios: Auscultación Pulmonar; Microcontroladores; Informática Médica

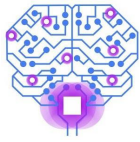


Introdução

A ocorrência de complicações pulmonares é uma das maiores causas de morbimortalidade, sendo frequente em pacientes internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), com destaque aos que se apresentam no período pós-operatório, pacientes em uso de ventilação mecânica e com determinada limitação de movimento ⁽¹⁾. Além disso, a recente pandemia de *Coronavirus Disease* (COVID-19) fez com que um grande número de pessoas enfrentasse complicações pulmonares. Assim, a aplicação da ausculta pulmonar torna-se uma das principais técnicas para a detecção destas complicações, além de patologias respiratórias. Este procedimento é amplamente utilizado devido à sua fácil aplicabilidade, por ser um procedimento não invasivo e, também, de rápida detecção de anormalidades fisiológicas.

Mesmo o estetoscópio sendo o principal instrumento para validação desta técnica, ele possui algumas limitações. Usualmente os estetoscópios amplificam e atenuam seletivamente as bandas de frequência em que se localizam os sons de interesse clínico, isso porquê essa amplificação tende a ocorrer abaixo de 112 Hz, com atenuação das frequências acima deste valor ⁽²⁾. Também, em razão das limitações do sistema auricular humano, principalmente na hora da prática da ausculta, encontram-se algumas limitações no momento de identificar frequências de sons. Logo, este procedimento exige que o examinador tenha uma boa sensibilidade auditiva e é adequado que seja procedido em um ambiente silencioso.

Dessa maneira, o presente artigo tem como proposta o desenvolvimento um sistema hábil para realização da ausculta pulmonar, por meio da integração de *hardware* e *software*, sendo um nó sensor acoplado a um estetoscópio, estruturado para capturar a amplitude sonora gerada pelos pulmões durante o processo de inspiração e expiração. Este projeto visa auxiliar os profissionais fisioterapeutas na visualização da amplitude sonora do som durante a aplicação da técnica de ausculta, como também nas sessões de fisioterapia respiratória para o diagnóstico resolutivo de condições respiratórias. Foi realizada uma exploração no espaço de projeto para a implementação e definição do nó sensor ideal, considerando diferentes critérios, dentre eles, compreende-se o baixo custo *versus* qualidade do sinal obtido para a realização da ausculta pulmonar e para isso,



diferentes testes foram realizados com entradas sintéticas para a avaliação funcional de cada microcontrolador e sensor. Desta forma, com a definição da arquitetura do nó sensor que obteve melhor desempenho e do desenvolvimento da aplicação mobile, foram efetuados experimentos iniciais com o objetivo de avaliar a solução do ponto de vista de suas funcionalidades e as percepções dos possíveis usuários. A seguir, tanto a solução quanto os resultados e suas discussões são apresentados.

Revisão Sistemática

Nesta seção serão abordados os principais temas acerca da proposta, como por exemplo: fisioterapia respiratória e ausculta pulmonar.

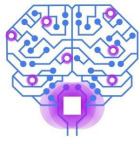
Ausculta Pulmonar

Em concordância com Guyton, Hall *et al.* ⁽³⁾, Naves ⁽⁴⁾ explica que a principal função do sistema respiratório é oxigenar os tecidos e retirar o gás carbônico do organismo humano. Esse sistema é composto por um aparelho complexo que é formado pelas vias aéreas e pulmões, responsáveis por conduzir o oxigênio das cavidades nasais até a estrutura pulmonar, onde ocorrem as trocas gasosas ⁽⁵⁾.

Cientificamente falando, os sons pulmonares são ruídos produzidos durante a respiração (inspiração e expiração) e se originam por meio de vibrações das estruturas pulmonares e das vias aéreas que são transmitidas para a parede torácica. Essa parede é considerada relativamente dura e heterogênea por conter músculos e ossos, o que, para a transmissão de sons, contribui de forma negativa ⁽⁶⁾.

Para a análise desses sons pulmonares, é necessário utilizar a técnica de ausculta pulmonar. A ausculta pulmonar é uma ferramenta fundamental no processo de avaliação das doenças respiratórias ⁽⁷⁾.

Atualmente, o uso do estetoscópio em um consultório médico faz parte da rotina do especialista e é o primeiro método utilizado para avaliar doenças respiratórias ⁽⁸⁾. Na medida em que a ausculta é um exame rápido, apresentando baixo tempo de resposta, é considerado não invasivo e de baixo custo financeiro, também apresenta inúmeras limitações. Dentre as principais limitações apontadas, cita-se a imprecisão, uma vez que depende da capacidade auditiva do aplicador da técnica, demandando treinamento



adequado do profissional, já que se não o possuir, não estará apto para conseguir distinguir os sons pulmonares. O avanço tecnológico auxilia para minimizar essas limitações, contribuindo com análises acústicas e digitais destes sons.

Fisioterapia Respiratória

A fisioterapia respiratória (FR) é um conjunto de técnicas manuais com o uso de equipamentos, em determinados momentos, que atuam nos processos obstrutivos, podendo ser preventivas ou curativas. A FR possui como objetivo mobilizar secreções brônquicas, melhorar a oxigenação sanguínea, diminuir o trabalho respiratório além do tratamento de doenças que atingem o sistema respiratório como asma, bronquite, tuberculose, entre outras. Essas técnicas, denominadas recursos manuais, são assim chamados por serem aplicados sem utilização de quaisquer equipamentos, estes também conhecidos como manobras cinesioterapias respiratórias ou manobras manuais da fisioterapia respiratória ⁽⁹⁾.

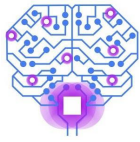
Com a pandemia de COVID-19 e como consequência da quarentena, inúmeras pessoas abdicaram da realização de atividades físicas, o que na maioria das vezes conduz o indivíduo ao estado de sedentarismo, e assim, reduzindo a sua capacidade pulmonar e aumentando as chances de acumular secreções nos pulmões.

A FR participa do programa de reabilitação, objetivando a promoção e maximização da independência funcional do paciente nas atividades de vida diária. Em consequência disso, espera-se a melhora na sua qualidade de vida, aumentando a tolerância ao exercício com a derivação da redução do nível de dispneia ⁽¹⁰⁾.

Sistema para auxílio na aplicação da Ausculta Pulmonar

Este projeto propõe criação de um sistema, com a união de *hardware* e *software*, para realização da ausculta pulmonar, atrelado a um sistema de baixo custo, visando uma universalidade de usuários. Para isso, foi desenvolvido um sistema que realiza a captação dos sons pulmonares com o objetivo de auxiliar os profissionais da área da saúde na aplicação da técnica em pacientes.

Para o desenvolvimento do *hardware*, foco deste trabalho, composto pelo nó sensor estruturado para captação dos dados sonoros, realizou-se um estudo das



ferramentas que poderiam ser utilizadas. Sendo assim, após a exploração do espaço de projeto das diferentes arquiteturas concebidas, a que melhor atendeu aos requisitos necessários foi a apresentada na Figura 1, a qual possui um microfone omnidirecional INMP441, um módulo de desenvolvimento Cortex M0 e um módulo ESP32. Já o software da aplicação conta com a utilização do *framework* Flutter e o banco de dados Firebase.

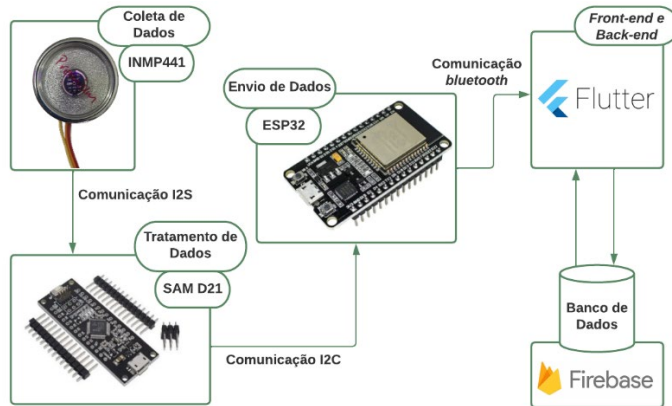
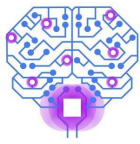


Figura 1 – Arquitetura do sistema

A coleta de dados sonoros é realizada por meio do nó sensor de microfone INMP441. O microfone foi acoplado em um estetoscópio para que haja uma maior captação sonora. Em seguida, esse sensor foi integrado a uma plataforma de *hardware* com microcontrolador SAM D21, na qual recebe todos os dados advindos do sensor e realiza o tratamento destes dados para obtenção da onda sonora para assim enviá-los ao módulo ESP32, via I2C. Logo após, o módulo ESP32 envia os dados via *bluetooth* para o dispositivo *mobile* para que seja possível a realização de uma análise dos sons auscultados em tempo real pelo fisioterapeuta (Figura 2), por meio de gráficos gerados, onde é possível visualizar as amplitudes sonoras.

O *software* da aplicação possui suporte para registro de pacientes e profissionais da área da saúde (Figura 2), além de catalogar todas as sessões realizadas e gerar relatórios finais para análises mais precisas. O profissional pode então, acompanhar a evolução de cada paciente, já que em cada sessão é necessário informar os sinais vitais da pessoa auscultada. A aplicação possui foco em gerar uma solução *mobile* para a ausculta pulmonar, todavia, possui suporte *web*. Os dados coletados de cada sessão,



bem como o registro de pacientes e profissionais, são armazenados em um banco de dados NoSQL.

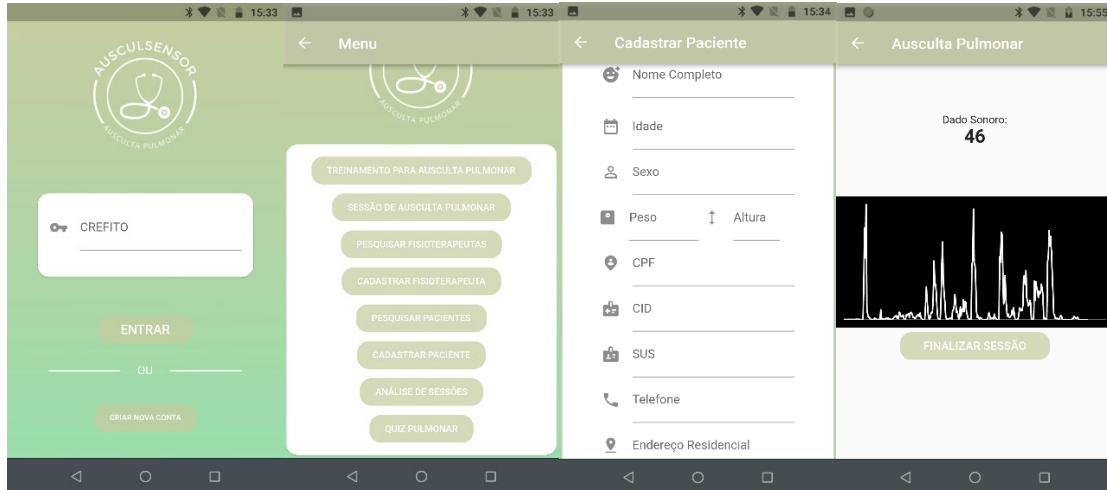


Figura 2 – Interface do sistema

Resultados e Discussões

Com a finalidade de validar o sistema, foi realizada uma sessão de testes experimentais com um grupo de fisioterapeutas envolvidos no projeto e uma sessão de demonstração da ferramenta por meio de um vídeo exemplificando o funcionamento da aplicação para profissionais de fora da região.

Para a realização do procedimento experimental da solução, organizou-se uma sessão de fisioterapia com dois fisioterapeutas a fim de coletar um parecer sobre a aplicação. A sessão contemplou a demonstração do funcionamento do sistema, bem como o registro de pacientes fictícios e a realização da técnica de ausculta pulmonar. A aplicação da técnica de ausculta pulmonar foi realizada em um voluntário sentado como ilustra a Figura 3.

Para captura dos dados durante a experimentação, houve um cuidado em função da posição do sensor para que fossem obtidas informações fidedignas. Assim, o aplicador da técnica posicionou o estetoscópio nas áreas que devem ser auscultadas enquanto o paciente realiza movimentos de inspirações e expirações. O gráfico gerado durante a sessão é ilustrado na Figura 4, onde é possível analisar os picos de ruídos pulmonares.

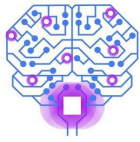
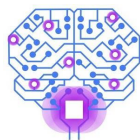


Figura 3 – Realização da sessão de ausculta



Figura 4 – Gráfico da sessão

Para avaliar o sistema, foram aplicados dois tipos de questionários: um questionário com base em um vídeo que gravado o qual demonstrava todas as funcionalidades do *software* e outro questionário entregue aos profissionais fisioterapeutas após a experimentação presencial da solução proposta. O propósito destes questionários foi obter um *feedback* dos profissionais com relação ao quão aceitável é a solução na aplicação da ausculta pulmonar.



Avaliação de Profissionais

Com a finalidade de avaliar o sistema em questões de usabilidade e importância, em um primeiro momento disponibilizou-se um instrumento de pesquisa na forma de questionário fechado para estudantes e profissionais da área de fisioterapia. Dessa maneira, foi exibido um vídeo com a apresentação das principais características e funcionalidades do sistema no intuito de orientar os participantes, além da disponibilização do Android Package (.apk) para instalação.

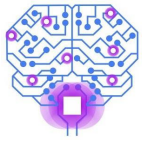
Este vídeo foi enviado para a plataforma YouTube e adicionado em um formulário no *Google Forms*, junto a sete questões para avaliação da ferramenta. Assim, após a interação dos participantes com a ferramenta, o questionário foi respondido contendo sete questões com respostas quantitativas, baseadas em uma Escala Likert de 5 pontos, sendo duas questões com resposta binária. Na Tabela 1 são ilustradas as questões incluídas no questionário.

Quadro 1 – Questões do primeiro questionário

Número	Questão
1	O sistema possui uma interface de utilização agradável e de fácil uso?
2	O sistema possui um desempenho confiável, sem apresentar lentidão ou mau funcionamento?
3	O funcionamento do sistema, em geral, é eficiente?
4	Avaliando o contexto, você gostou de utilizar o sistema?
5	Você utilizaria essa ferramenta como instrumento de estudo e trabalho?
6	Caso a resposta anterior for “não”, justifique sua resposta:
7	Você tem alguma sugestão? Se sim, qual?

Nas questões que envolviam a Escala Likert, definiu-se pontuações como: “discordo totalmente”, “discordo”, “sem opinião”, “concordo” e “concordo totalmente”. Na questão com resposta binária as opções de respostas elencadas foram “sim” e “não”.

A primeira questão apresentada para a amostra de estudantes e profissionais fisioterapeutas teve como objetivo avaliar suas respectivas opiniões a respeito da interface do sistema. O resultado obtido, conforme ilustra a Figura 5, demonstra a



satisfação dos usuários com relação a interface do sistema, atendendo requisitos mínimos de *User Experience (UX)*. Já com relação ao desempenho do sistema, se apresenta lentidão ou mau funcionamento, a segunda questão obteve duas pessoas para concordo totalmente, embora seja necessária uma amostra maior, os resultados iniciais para esta afirmativa estimaram que a solução pode ser aplicada.

Buscando avaliar o sistema em geral, a terceira questão buscou estimar a eficácia do sistema, ou seja, se atende as necessidades dos usuários. Com relação as respostas obtidas, como ilustrado no gráfico da Figura 5, foi possível concluir que o sistema é eficiente no ensino e na aplicação da técnica de ausculta pulmonar. Ainda buscando avaliar o sistema, a questão quatro tinha como objetivo estimar se os voluntários gostaram da aplicação, onde concluiu-se que o sistema atingiu todos os requisitos solicitados anteriormente para seu pleno funcionamento.

Na quinta questão (Figura 5), todos voluntários responderam que utilizariam essa ferramenta como instrumento de estudo e trabalho, demonstrando eficácia na elaboração do sistema, facilitando o ensino e aperfeiçoando profissionais na aplicação da técnica de ausculta pulmonar. Dessa maneira, a sexta questão não obteve respostas.

Por fim, a sétima questão tinha como objetivo obter sugestões para o aperfeiçoamento da aplicação. Assim, a maioria dos voluntários não tinham sugestões adicionais, como também, salientaram que o projeto está muito interessante, com áudios muito bons e sons com bom reconhecimento.

Para o segundo meio de avaliação, o qual foi realizado após os profissionais manusearem a aplicação e o nó sensor, utilizou-se o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM, do inglês *Technology Acceptance Model*). O TAM está apoiado em três variáveis de avaliação: Facilidade de Uso Percebida (FUP), Utilidade Percebida (UP) e Intenção Comportamental de Uso (IC).

Assim, baseado no modelo TAM, foram realizadas quinze perguntas para os profissionais que utilizaram o sistema e cada pergunta poderia ser respondida em uma Escala de Likert de 5 pontos. Na Tabela 2 são ilustradas as questões incluídas no questionário.

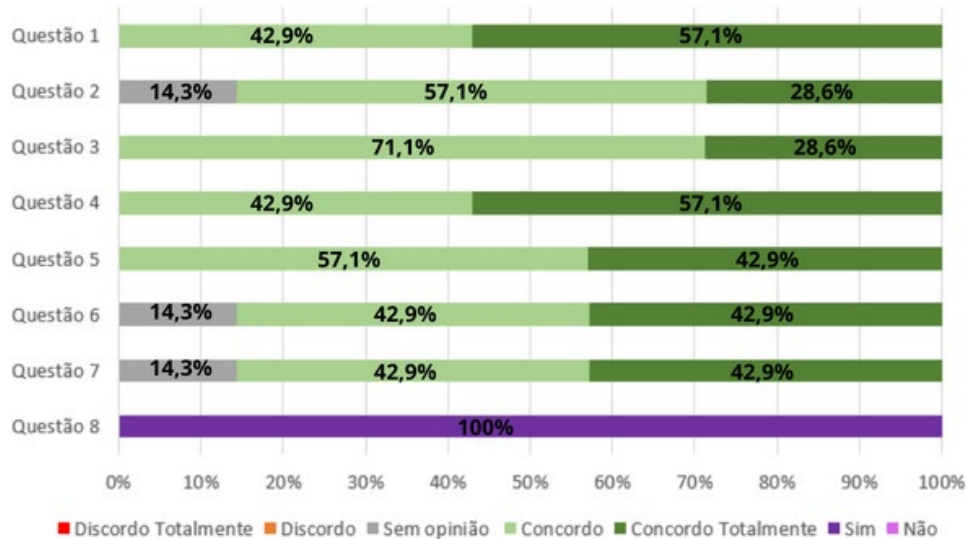
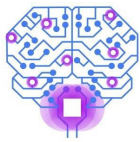
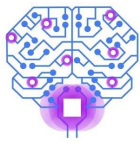


Figura 5 – Gráfico percentual das respostas

Quadro 2 – Questões do segundo questionário

Nº	Variáveis	Questão
1	[FUP1]	A ferramenta é de fácil uso?
2	[FUP2]	A ferramenta é autoexplicativa quanto a navegabilidade? É possível entender e navegar em seus menus sem problemas/dificuldades?
3	[FUP3]	A ferramenta é clara de ser compreendida?
4	[FUP4]	É fácil de encontrar a informação que desejo no aplicativo?
5	[FUP5]	A ferramenta é intuitiva de modo que antes de clicar em algum botão eu sei a ação dele?
6	[FUP6]	Utilizar a ferramenta é agradável?
7	[UP1]	A ferramenta agrega valor na relação ensino/aprendizagem?
8	[UP2]	A ferramenta disponibiliza a visualização de relatórios ao final da sessão?
9	[UP3]	A ferramenta disponibiliza a visualização de gráficos na saída dos dados?
10	[UP4]	A ferramenta produz os resultados que espero?
11	[IC1]	Recomendo a utilização da ferramenta?
12	[IC2]	Estou motivado a utilizar a ferramenta?
13	[IC3]	Utilizar a ferramenta atendeu as minhas expectativas?
14	[IC4]	A ferramenta é apropriada para a realização da ausculta pulmonar?
15	-	Você tem alguma sugestão? Se sim, qual?



De acordo com as avaliações recebidas para a primeira variável, facilidade de uso percebida (Figura 6), é possível afirmar que o sistema possui um sistema de fácil navegação, ou seja, é possível navegar na aplicação de forma rápida, prática e melhorar o desempenho do profissional na realização da técnica.

Com as avaliações recebidas para a segunda variável, utilidade percebida (Figura 6), é possível afirmar que o sistema atende os requisitos de performance para atender as necessidades dos fisioterapeutas para auxílio na ausculta pulmonar, por meio de gráficos gerados em tempo real de sessão.

Por fim, conforme mensurado através das respostas obtidas para a terceira variável, intenção comportamental de uso (Figura 6), é possível afirmar que os avaliadores utilizariam o sistema no seu dia a dia para realizar a técnica de ausculta pulmonar devido sua praticidade e funcionalidade, principalmente pelo fato do sistema ser capaz de armazenar os dados captados durante a sessão para obtenção de um *feedback* da evolução dos pacientes. Ademais, os avaliadores determinaram que recomendariam esta ferramenta por ser de fácil utilização.

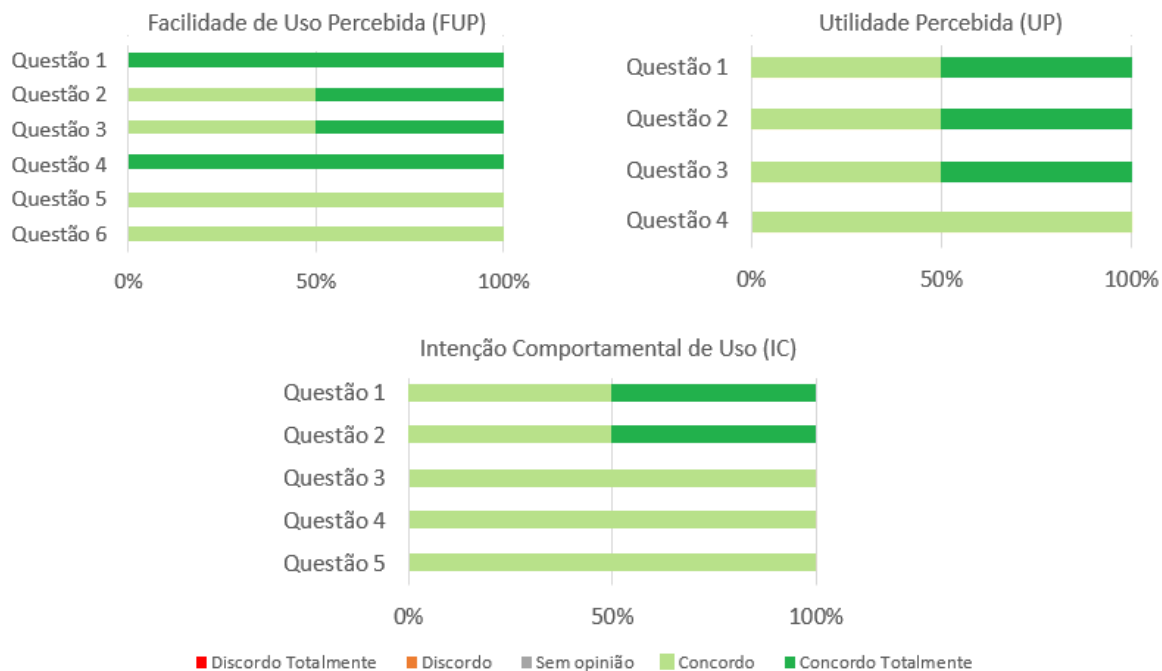
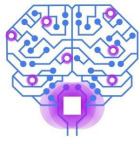


Figura 6 – Gráfico percentual das respostas



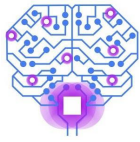
Por fim, foi realizada uma última pergunta para determinar se os avaliadores do sistema possuíam alguma sugestão de melhoria para aplicação. Assim, os avaliadores expuseram que seria de extrema importância que o sistema amplificasse o som pulmonar para que ele fosse auscultado com um fone de ouvido conectado ao celular. Outro fator levantado foi a adição da funcionalidade de ausculta automática para definição do tipo de som pulmonar que está sendo auscultado em tempo real.

Avaliando os resultados obtidos através da validação e análise dos instrumentos de pesquisa, pode-se verificar que o sistema construído pode ser utilizado para auxiliar profissionais na aplicação da técnica de ausculta pulmonar. Com as altas pontuações, é possível verificar que o sistema atende os requisitos propostos, e que seu desenvolvimento foi efetuado de maneira satisfatória.

Conclusão

Com o propósito de auxiliar profissionais da saúde nas sessões de fisioterapia respiratória e no diagnóstico resoluto das condições respiratórias do paciente, examinou-se a possibilidade de desenvolver uma solução computacional baseada em sistemas embarcados, pretendendo captar informações durante a técnica de ausculta pulmonar de pacientes enfermos. Dessa forma, a proposta do presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema habilitado para realização de ausculta pulmonar com a união de *hardware* e *software*.

Experimentos iniciais foram realizados e os resultados das avaliações demonstraram que o sistema possui uma alta aplicabilidade sobre a ausculta pulmonar. Ademais, para trabalhos futuros acerca do projeto, será efetuado a experimentação em campo com pacientes do nó sensor, além disso, com a exploração maior de ausculta em pacientes, será possível a criação de um banco de dados qualificado com sons pulmonares auscultados para reconhecimento de padrões de sons pulmonares.



Referências

1. Campanholi L. Fundamentos e práticas da fisioterapia. 4th ed. Vol. 4. Ponta Grossa: Editora Atena; 2018.
2. Abella M, Formolo J, Penney DG. Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1992 Apr;91(4):2224–8.
3. Guyton, AC., Hall, JE. et al. *Textbook of medical physiology*. [S.l.]: Saunders Philadelphia, 1986. v. 548.
4. Naves, R. Um estudo de reconhecimento de sons pulmonares baseado em técnicas de inteligência computacional. Minas Gerais, 2015.
5. Garcia, EAC. *Biofísica*. São Paulo: Sarvier, 2002.
6. Carvalho VO, Souza GEC. O estetoscópio e os sons pulmonares: uma revisão da literatura. *Revista de Medicina*. 2007 Dec 20;86(4):224.
7. Murphy RL. In Defense of the Stethoscope. *Respiratory Care* [Internet]. 2008 Mar 1 [cited 2022 Nov 18];53(3):355–69. Available from: <https://rc.rcjournal.com/content/53/3/355/tab-article-info>.
8. Lehrer, S. *Entendendo os sons pulmonares*. Roca, São Paulo, 2004.
9. Costa, D. *Fisioterapia respiratória básica*. Atheneu, Rio de Janeiro, 1999.
10. Vettorazzi, SDF. *Implantação e resultados de um programa de reabilitação pulmonar em uma instituição de ensino superior*. 2006.