

TUBO DE RUBENS: UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO QUE CONTRIBUI PARA MELHORIA DO ENSINO DE FÍSICA

THE RUBENS' TUBE: A LOW-COST EXPERIMENTAL ACTIVITY THAT CONTRIBUTES FOR IMPROVEMENT OF PHYSICS TEACHING

Adalberto dos Santos Sousa¹ [adalberto.sousa@prof.ce.gov.br], Djalma Gomes de Sousa¹ [djalma.sousa@prof.ce.gov.br], Halisson de Souza Pinheiro² [halisson@unilab.edu.br], Erlania Lima de Oliveira³ [erlania@ufersa.edu.br], Francisco Herbert Lima Vasconcelos⁴ [Herbert@virtual.ufc.br]

¹Secretaria Estadual de Educação do Ceará/SEDUC, Av. Gen. Afonso Albuquerque Lima - Cambéa, Fortaleza - CE, 60822-325; ²Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira/UNILAB, Rodovia CE 060 – Km 51, Acarape – CE. 62785-000; ³Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA/MNPEF, Rua Francisco Mota Bairro, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900; ⁴Universidade Federal do Ceará/UFC/IUVI, Av. Humberto Monte, s/n, bloco 901, 1º andar. CEP: 60.440-554

Este trabalho discute o uso de ferramentas pedagógicas que complementam as aulas expositivas de Física para o ensino da ondulatória. Para tanto, foi utilizado o experimento do Tubo de Rubens juntamente com ferramentas computacionais de simulações de ondas sonoras. A metodologia foi aplicada aos alunos da segunda série do ensino médio de uma escola pública do município de Caucaia-CE. O objetivo principal é que o método proporcione a cada aluno, através da participação direta, uma mudança nas estruturas cognitivas. Foram três etapas distintas com dezesseis alunos, em sete aulas de cinquenta minutos até a conclusão da pesquisa. Na primeira foi realizada uma aula expositiva dos conceitos de ondulatória e aplicado o primeiro teste. Na segunda foi ministrada uma aula teórico-prática sobre Tubo de Rubens e aplicado um segundo teste acerca dos conteúdos. Por fim, no terceiro momento, foram aplicados um questionário motivacional e um avaliativo das aulas ministradas. Foi confirmada a alteração dos subsunçores dos alunos, em particular os subsunçores “ondas”. Pode-se concluir que o uso de experimentos potencializa a interatividade e o aprendizado.

Palavras-chave: Experimentos de baixo custo. Ondulatória. Ensino de Física.

This paper discusses the use of pedagogical tools that complement the expository physics classes for teaching wave. For this, the Rubens' Tube experiment was used together with computational tools for sound wave simulations. The methodology went applied to high school students in a public school in the town of Caucaia-CE. The main objective is that the method offers each student, through direct participation, a change in cognitive structures. There were three distinct stages with sixteen students, in seven fifty-minute classes until the conclusion of the research. In the first one, an expository class of the wave concepts was held and the first quiz was applied. In the second one, a theoretical-practical class on Rubens' Tube was given and a second quiz was applied on the contents. Finally, in the third moment, a motivational questionnaire and an evaluative one of the classes taught were applied. A change in the students' subunits was confirmed, in particular the subunits "waves". It can be concluded that the use of experiments enhances interactivity and learning.

Keywords: Low-cost experiments. Wave. Physics teaching.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que há muito tempo o Tubo de Rubens (no inglês: “*Rubens Tube*”) tem sido usado em ensino de Física. Ele tem importância relevante como um aparelho didático que facilita a compreensão dos conceitos de Física Básica, em especial o ensino exclusivo da acústica. O surpreendente, e que poucos sabem, é que o artigo publicado no “*Annalen der Physik*” por Rubens, H., & Krigar-Menzel, O. (1905) compartilhou a mesma folha que correspondia à última página do artigo de Einstein do Efeito Fotoelétrico e início do artigo por eles publicado em 1905, de acordo com Gee, Kent L. (2009). Isso com certeza favoreceu sua maior divulgação, não desmerecendo a importância do trabalho. Existem boas referências sobre a construção, aplicação experimental e explicação física sobre a formação do padrão de ondas estacionárias, as mais

importantes relacionadas ao centenário do artigo de 1905, como em: <https://www.che.utah.edu/outreach/module>, <http://www.fysikbasen.dk/English.php%3Fpage=Vis&id=6.html>, ambas visitadas em 07 de Junho de 2020.

O Tubo de Rubens primordial (Rubens, H., & Krigar-Menzel, O. 1905) é um aparelho que consistia de um tubo com 4 metros de comprimento com 8 cm de diâmetro que na sua parte superior haviam 100 furos alinhados e separados por uma distância de 2 cm e com diâmetro de 2 mm, onde na sua extremidade foi colocado um diapasão. No entanto, existem diversas variações com várias adaptações experimentais, inclusive a proposta aqui apresentada é uma delas. Ele é um instrumento que apresenta um impacto impressionante, uma vez permite uma rápida visualização de padrões de ondas estacionárias. Vale ressaltar que muitas das vezes o ensino da acústica é tratado de forma abstrata na maioria das escolas brasileiras de Ensino Básico, por isso ele se torna uma ferramenta de extrema relevância para o Ensino de Física. Ele permite uma fácil abordagem experimental das relações entre o comprimento de onda e frequência que determinam a velocidade de propagação do som em um meio.

Ficken, G., & Stephenson, C. (1979) foram os primeiros a acoplarem uma caixa de som no fim do tubo e mostrar que a mais alta chama ocorre nos nodos de pressão dentro do tubo, já nos antinodos de pressão ocorre a menor chama. No entanto, em condições de baixas pressões estáticas do gás ou comprimentos de onda acústicos muito altos, a situação se inverte, ou seja, a chama mínima ocorre agora nos nodos de pressão e a chama máxima ocorre nos antinodos de pressão.

Gardner, M., Gee, K. L., & Dix, G. (2009) na intenção de entender como tão rápido mudam esses parâmetros desenvolveram um modelo de circuito equivalente similar a outro anteriormente desenvolvido por Dix, G. R. (2006). A teoria do circuito equivalente foi usada para criar um código que calcula a pressão ao longo do comprimento do tubo através de uma dada faixa de frequências. Eles utilizaram dois tubos de aço galvanizado com uma parede de 4 mm de espessura, com um comprimento de 1,524 m e com 2,6 cm de raio. Em ambos os tubos fizeram 60 furos com espaçamento de 2,2 cm, mas os furos eram de 0,92 mm e 0,46 mm, respectivamente, e o conjunto de furos começava a 12 cm da extremidade de cada tubo. Foi feito também, no meio dos tubos, um orifício de 9,5 mm para entrada de gás propano. Os resultados mostraram que a medida direta da distância entre as chamas mais altas não pode ser tomada como uma fonte confiável para o comprimento de onda na equação $v = \lambda \cdot f$, que também o alto falante induz um amortecimento no sistema por causa da sua frequência de ressonância próxima de 75 Hz, e que em mais altas frequências pode-se obter uma estimativa da velocidade do som mais próxima da real, em torno de 256 m/s.

As referências citadas mostram o quanto é relevante essa proposta experimental para o Ensino de Física. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo ofertar ao professor de Física a possibilidade de promover uma aprendizagem significativa dos alunos acerca dos conceitos de ondulatória com a utilização de um recurso didático de baixo custo e que permite uma maior interação entre os alunos em atividades experimentais, favorecendo assim a construção do conhecimento paralelo a abordagens tradicionais. É importante notar também a característica inclusiva desta proposta para alunos não ouvintes, uma vez que se

pode usar no sintetizador alguma música no qual será apresentado no Tubo de Rubens como um padrão de onda estacionário dos vários harmônicos existentes na canção.

Entre professores de ciências de um modo geral é senso comum que atividades experimentais geralmente carreguem grande expectativa para os alunos (Laburú, C. E. 2006). Dessa forma, torna-se de interesse evocar, dentro de uma idéia mais geral de estratégia de ensino, o uso de apropriados experimentos que estimulem o aluno na sala de aula, a engajar-se na apropriação do conteúdo (Laburú, C. E. 2006).

A Física por ser uma ciência da natureza, sempre esteve muito ligada aos procedimentos e práticas experimentais o que faz com que associemos à disciplina uma relação bem estreita com atividades ligadas ao laboratório. O fato de ser uma ciência que investiga as leis naturais faz da Física uma disciplina que deve ser palpável, ou seja, o estudante tem que ser levado a investigar o fenômeno estudado, não só em seus termos teóricos, mas também com a experiência prática, onde a observação e o manuseio, o leva a produzir suas conclusões sobre as teorias estudadas. “Graças às atividades experimentais o aluno é incitado a não permanecer no mundo dos conceitos e no mundo das linguagens, tendo a oportunidade de relacionar esses dois mundos com o mundo empírico” (Séré, M. G., Coelho, S. M., & Nunes, A. D. 2003). Assim o aluno passa a ter autonomia nas discussões dos resultados fazendo uma inter-relação entre a teoria e o experimento.

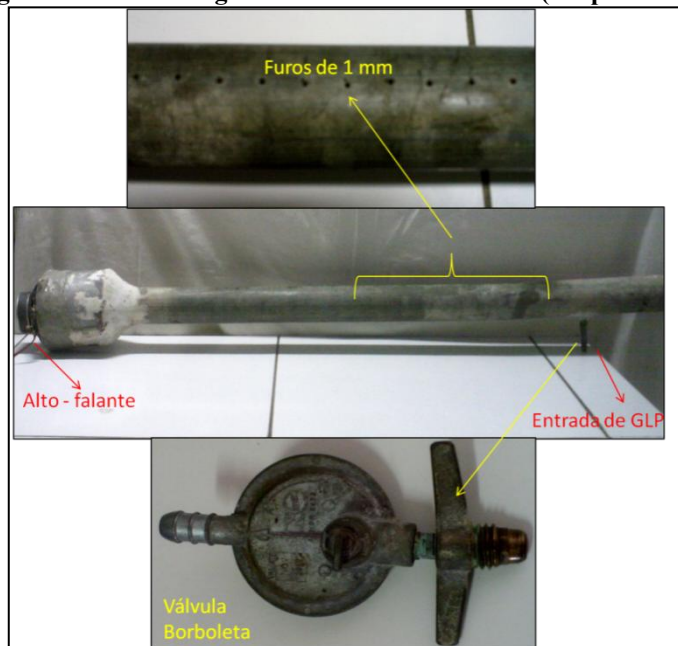
Dada a importância da atividade experimental no Ensino de Física, este trabalho além de desenvolver uma atividade experimental em laboratório, visou também comparar o nível de aprendizagem significativa dos alunos acerca dos conceitos de ondulatória. A partir do aparelho de tubo de chamas, previamente manufaturado, executou-se a experimentação sem roteiro pré-definido, e após a aplicação das etapas práticas e metodologias tradicionais aplicaram-se questionários visando um levantamento estatístico do desempenho cognitivo dos alunos.

2 A CONSTRUÇÃO DO TUBO DE RUBENS

O aparelho manufaturado utilizado no experimento consiste de um tubo metálico cuja dimensão da secção transversal não tem preferência definida, no caso particular desse experimento foi usado um tubo de 1,2 m de comprimento e 50,0 mm de diâmetro, fechado em uma das extremidades e com um alto-falante de 5,0 polegadas adaptado com um suporte soldado no tubo, fechando a extremidade oposta. Instala-se na sua parte inferior, através de solda, um bico para a conexão do botijão de gás GLP (gás liquefeito de petróleo), conhecido como gás de cozinha conforme a Figura 1.

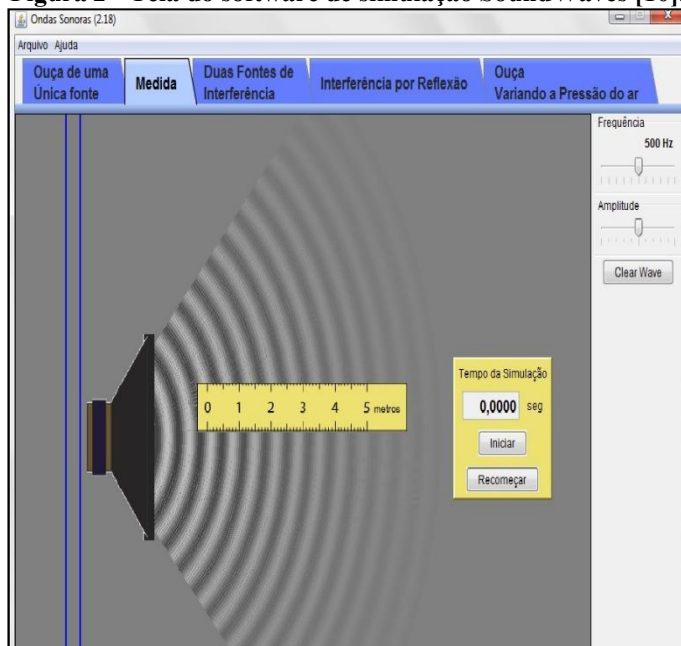
Na parte superior do tubo são realizados furos alinhados de 1,0 mm de diâmetro com broca de metal, com espaçamento entre furos de 2,0 cm. A quantidade de furos depende do comprimento do tubo, quanto maior for o comprimento do tubo, mais furos poderão ser confeccionados. No caso específico desse experimento foram feitos 32 furos. A conexão da fonte de gás GLP ao tubo é feita através de mangueira específica para tal uso, com registro tipo borboleta, para que se possa ter um melhor controle do fluxo de gás através do tubo. O controle do fluxo de gás é importante para que se tenha uma melhor nitidez das chamas produzidas no tubo e, conseqüentemente, melhor visualização do efeito produzido por elas.

Figura 1 - Partes integrantes do Tubo de Rubens. (Próprio autor).



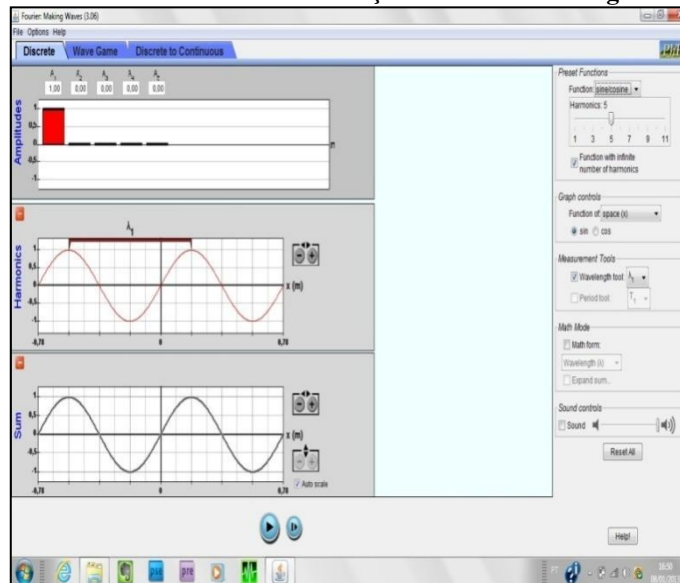
2.1 Fontes de sinais sonoros

A fonte sonora que irá alimentar o sistema será um computador, pois o alto-falante será conectado à sua saída de áudio. Dessa forma, para que se tenha o efeito desejado no Tubo de Rubens é necessário que seja utilizado algum software de simulação de frequências sonoras de valores fixos. Existem vários softwares específicos para isso, portanto cabe ao professor utilizar aquele que atenda às necessidades do experimento. Para essa pesquisa foram utilizados dois softwares, ambos provenientes do site <https://phet.colorado.edu/> da Universidade do Colorado nos Estados Unidos, o qual disponibiliza para acesso e download gratuito de softwares de simulações de experimentos em Física. Na Figura 2 é apresentada a tela do software SoundWave (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound, visitada em 11 de junho de 2020), que disponibiliza uma simulação de um alto-falante emitindo ondas sonoras longitudinais.

Figura 2 - Tela do software de simulação SoundWaves [10].

O software *SoundWave* (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound, visitada em 11 de junho de 2020), trabalha com as faixas de frequências de 0 a 1.000 Hz, controle de amplitude, régua para medições dos comprimentos de onda, dentre outros recursos.

O segundo software, é o *Fourier: MakingWaves*, tem um layout de tela como apresentado na Figura 3, ele disponibiliza um recurso sonoro na frequência de 440 Hz, com onze níveis de harmônicos (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/fourier, visitado em 11 de Junho de 2020). No entanto, para a utilização nesse experimento só utilizamos os dois primeiros harmônicos para visualização das ondas nos comprimentos de onda relativos às frequências de 440 Hz no primeiro harmônico e a frequência de 880 Hz no segundo harmônico. O software disponibiliza gráficos das ondas sonoras na forma senoidal, com o recurso de escala métrica para medição do comprimento de onda, dentre outros recursos que não são utilizados no nosso experimento.

Figura 3 - Tela do software de simulação Fourier: MakingWaves [11].

3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O presente trabalho retratar uma pesquisa de caráter qualitativo, exploratória e comparativa que busca mostrar através da utilização de recurso experimental de baixo custo, outra maneira de transmitir os principais conceitos da ondulatória, mais especificamente, de ondas sonoras, além de um levantamento dos níveis de interesse dos alunos pela disciplina e do nível de aprendizagem significativa por meio da aplicação prática do Tubo de Rubens.

A pesquisa se deu com alunos do segundo ano do ensino médio de uma escola da rede pública estadual localizada no município de Caucaia-CE, durante o quarto bimestre do calendário letivo do estado do Ceará. Os alunos desta escola são egressos da rede municipal de ensino de Caucaia, de comunidades carentes localizadas nas adjacências do bairro Tabapuá. De acordo com dados da secretaria da escola, a maioria dos alunos, cerca de 55%, possui histórico de rendimento escolar muito baixo com reprovações em séries anteriores.

A turma é composta por 35 alunos matriculados, sendo que apenas 22 alunos frequentavam regularmente às aulas. Dentre o universo de 22 alunos que participaram da pesquisa, apenas 16 foram utilizados como amostra real no experimento, pois apenas esses participaram de todas as etapas envolvidas no processo, os demais deixaram de participar de alguma das etapas, o que fez com que estes fossem excluídos do procedimento.

Todas as etapas da pesquisa se deram dentro do ambiente escolar e no período letivo dos alunos, sendo utilizados os recursos disponíveis na escola como sala de aula, quadro branco, livro didático, computador e laboratório de ciências. O conteúdo ministrado durante a pesquisa fez parte do planejamento escolar bimestral proposto pelo professor durante as atividades semanais e mensais de planejamento da escola.

A pesquisa se deu em três momentos distintos com a participação direta dos alunos. No primeiro momento foi ministrada uma aula nos moldes tradicionais, com duração de 110 minutos, expositiva, onde foram abordados o conceito de ondas e os tipos de ondas de acordo com suas características de propagação, ondas longitudinais e transversais, os fenômenos de interferência construtiva e destrutiva, os conceitos de comprimento de onda, frequência e período de uma onda, e por fim a equação da velocidade de uma onda aplicada às ondas sonoras. Nesta aula estiveram presentes 18 alunos.

Foram resolvidos alguns exercícios do livro didático como forma de exemplos e aplicado uma atividade sobre o assunto ministrado, para resolução em casa. Em outra aula de 50 minutos foi aplicado o primeiro teste relativo aos assuntos ministrados na aula expositiva, onde os alunos responderam oito questões abertas relativas aos tópicos mencionados nesta aula. O questionário do primeiro momento está disponível para download em: https://docs.google.com/forms/d/11vTm07wJ9NHsG_sixcoQfrGL2-cWpTNtvT5nEXTJIcl/edit?usp=sharing

No segundo momento da pesquisa foi ministrada uma aula no laboratório de ciências, com duração de 110 minutos, utilizando o experimento do Tubo de Rubens. Na primeira aula de 50 minutos, foi demonstrado aos alunos o funcionamento do experimento, enfatizando todos os fenômenos físicos ocorridos no interior do tubo e fora dele. Foi também mostrado aos alunos como seria o manuseio dos softwares utilizados no experimento.

Nos 50 minutos restantes os 22 alunos presentes foram divididos em cinco equipes, sendo quatro delas compostas por quatro alunos e uma composta por seis alunos. Cada equipe efetuou uma atividade com o Tubo de Rubens, onde eles inseriram no software SoundWaves um determinado valor de frequência compreendido entre, 100 Hz e 900 Hz conforme pode ser visto na Figura 4.

Realizavam a medição do comprimento de onda com uma escala diretamente no tubo e calculavam usando a equação da velocidade de uma onda o valor desse comprimento, tomando como valor da velocidade do som no gás igual a 253 m/s e comparavam assim com o valor medido no tubo e no software.

Utilizando o software *Fourier: MakingWaves*, com o comprimento de onda fornecido pelo software, e utilizando o valor da velocidade do som no ar igual a 344 m/s, os alunos calculavam o valor da frequência no primeiro e no segundo harmônico e comparavam com as medições no tubo. Em outra aula de 50 minutos foi realizado um segundo teste com oito questões abertas relativas aos assuntos abordados na aula do laboratório, enfatizando os conceitos estudados nessa aula. A Figura 4 mostra os resultados obtidos com as frequências de 112 Hz, 155 Hz e 441 Hz, primeiro e segundo harmônico (882 Hz). O questionário do segundo momento está disponível para download em: <https://docs.google.com/forms/d/1TDKBMVS3lcpNm2XWs4OVkxD7FYUUGmODcOkmcR0fx7o/edit?usp=sharing>

Figura 4 - Resultados obtidos no Tubo de Rubens com frequências de 112 Hz, 155 Hz, 441 Hz e 882 Hz. (Próprio autor).



No terceiro momento da pesquisa, em uma aula de 50 minutos, onde estiveram presentes 16 alunos, foi realizado um teste contendo dois questionários. O primeiro questionário composto por quatro questões abertas teve como objetivo fazer o levantamento do nível de interesse dos alunos pela disciplina e a importância dela em sua vida cotidiana. O segundo questionário, composto por oito questões objetivas, teve por objetivo realizar um levantamento da disciplina ministrada durante o ano, enfatizando o número de aulas por semana, a qualidade das aulas realizadas durante o ano letivo e um comparativo entre as aulas ministradas durante a aplicação da pesquisa. Os questionários do terceiro momento estão disponíveis para download em:

<https://docs.google.com/forms/d/194ZhHrASa1BmKcWJzcKjZjZmgTMIWlz4M0UGm2q3Hs/edit?usp=sharing>

[https://docs.google.com/forms/d/1waWc12XnV7-](https://docs.google.com/forms/d/1waWc12XnV7-eHgB9hY8uMe9xZdrTkYr8ZwuZbzNOO0A/edit?usp=sharing)

[eHgB9hY8uMe9xZdrTkYr8ZwuZbzNOO0A/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/forms/d/1waWc12XnV7-eHgB9hY8uMe9xZdrTkYr8ZwuZbzNOO0A/edit?usp=sharing)

3.1 Análise e discussão dos resultados

3.1.1 Tratamento estatístico das respostas dos alunos no primeiro momento

Cada aluno foi identificado por um código contendo a letra “A” que corresponde à palavra aluno, seguido por um número que corresponde a sua ordem na lista de alunos que vai de A1 a A16, para preservação de suas identidades e anonimato. Já os questionários tiveram as questões identificadas pelas siglas “Q01” a “Q08”, o que corresponde às oito questões dos dois primeiros questionários.

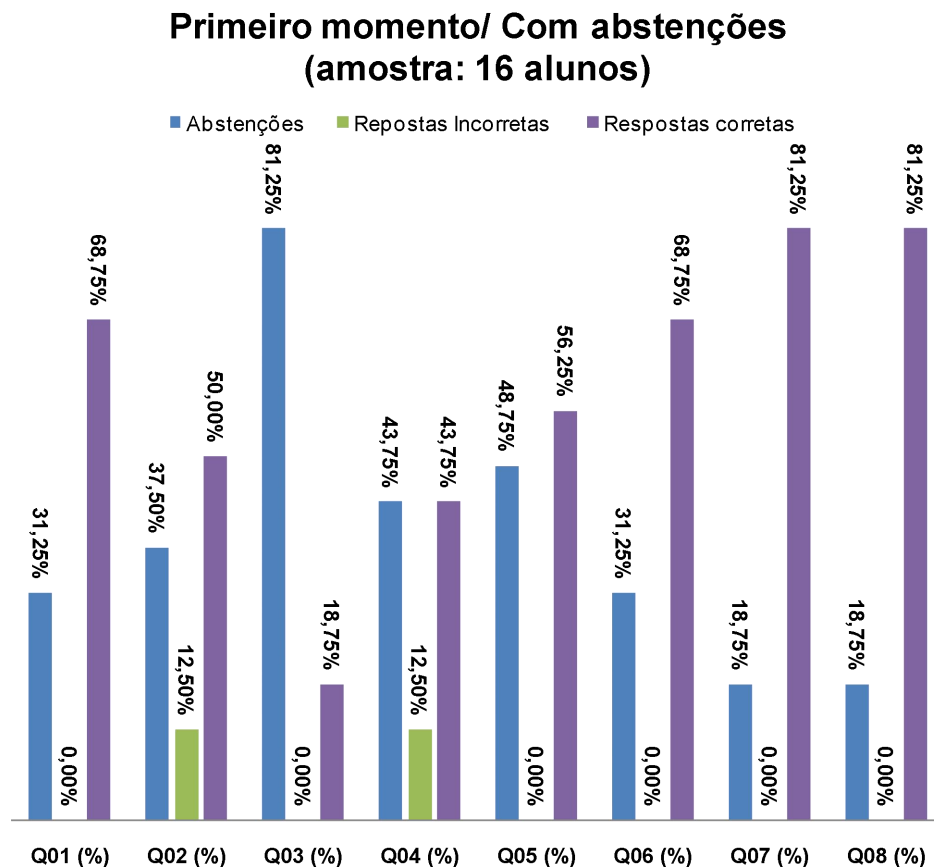
O Questionário do Primeiro momento se deteve em questões conceituais sobre definição de onda, partes que compõem uma onda, pulso, formas de interação da onda com a matéria, interferência de ondas, tipos de propagação de ondas e ondas sonoras.

O Questionário do Segundo momento se limitou ao conceito, propagação de ondas sonoras, meios em que elas se propagam e a relação entre o padrão de onda estacionária fora do Tubo de Rubens e dentro dele. Além de tratar da aplicação da equação da onda a partir dos parâmetros coletados no experimento.

Os Questionários do Terceiro momento (questionários 1 e 2) foram aplicados na intenção de colher informações sobre a motivação, interesse e importância que os alunos apresentam quanto a metodologia de ensino tradicional de Física na escola pública e que relação eles percebem entre a Física e o cotidiano fora das dependências da escola. Além de ter a intenção de saber da opinião dos alunos sobre as novas mídias incorporadas na aula de Física, a diversificação de metodologias e o uso de softwares para estimular o letramento digital.

Na Figura 5 são apresentados os percentuais dos números de alunos que se abstiveram, dos que responderam incorretamente e os que responderam corretamente as questões, em relação o espaço amostral de 16 alunos. É visível na Figura 5 que a taxa média de abstenções das respostas das questões do questionário do primeiro momento, é superior a 40%, com certeza um valor muito alto. No entanto, dentro do total de alunos que responderam, é bom destacar a alta taxa de repostas bem fundamentadas e baseadas nos conceitos apreendidos durante as aulas incluídas para esta análise, ou seja, mais de 60% em média. Isso sugere a importância primordial da inclusão do experimento como uma proposta didática viável. Esse comportamento é visível, uma vez que é perceptível uma tendência geral, na Figura 5, das repostas corretas em superarem as abstenções e as repostas incorretas.

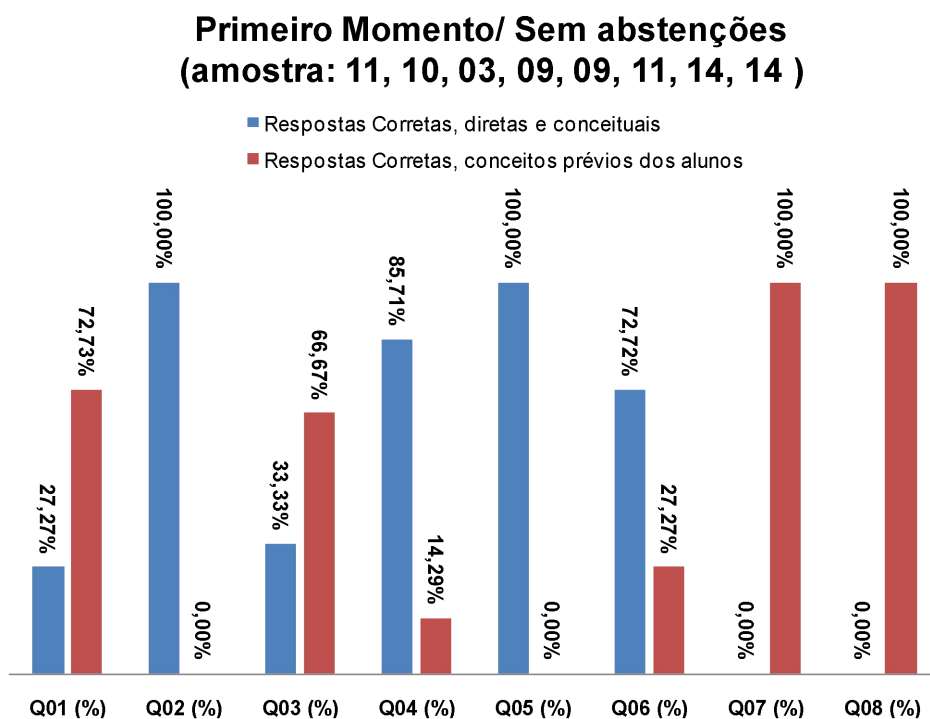
Figura 5 – Percentual de abstenções, respostas corretas e incorretas dos alunos relativas ao questionário do primeiro momento, em relação ao total de alunos testados (16). (Próprio autor).



Na Figura 6 são apresentadas as taxas relativas ao número de alunos que responderam a partir de conceitos prévios, ou que responderam de forma conceitual e direta. Ambas as taxas são calculadas em relação ao total de resposta de cada questão. O total de alunos que responderam corresponde a 11, 10, 03, 09, 09, 11, 14, 14, respectivamente, relativa às questões Q01, Q02, Q03, Q04, Q05, Q06, Q07 e Q08. Se observarmos melhor a Figura 6, percebemos que é maior a frequência relativa de respostas conceituais diretas em relação às respostas baseadas em conceitos prévios que os alunos vivenciam da sua experiência empírica diária, mas isso acontece porque não omitimos questões com alto índice abstenções. Quando desconsideradas as questões Q03, Q04 e Q05, com índices de abstenções de 81,25%, 43,75% e 48,75%, respectivamente, percebe-se que o índice de respostas baseadas nos conceitos prévios dos alunos supera o índice de respostas baseadas na forma direta mais conceitual. Esse comportamento é perceptível quando fazemos um comparativo das questões Q01 e Q07, que exigem uma maturidade e uma visão conceitual muito bem fundamentada, isso porque uma definição de qualquer que seja a grandeza física ou fenômeno físico é a síntese das propriedades, da dimensionalidade e das condições que favorecem a sua validade. No entanto, como comparação, as questões Q02 e Q06, são mais propensas ao fruto da observação de direta e até experimental do observador, sem uma necessidade mais generalista para sua validação. Conclusão, definir qualquer que seja a grandeza ou fenômeno (questões Q01 e Q07) exige uma leitura que vai além da

experiência cotidiana, já descrever, em qualquer que seja a linguagem expressa, ou relatar um evento mais relacionado à informação extraída da observação direta (questões Q02 e Q06) pode ser feito por meio de conceitos adquiridos da vivência cotidiana de cada indivíduo, por isso o menor índice de abstenções na Q08 (18,75%), porque exigem uma resposta fortemente baseada na vivência de cada aluno.

Figura 6 – Percentual de respostas conceituais ou dos conceitos prévios dos alunos no questionário do primeiro momento em relação apenas ao número de alunos que responderam cada questão. (Próprio autor).

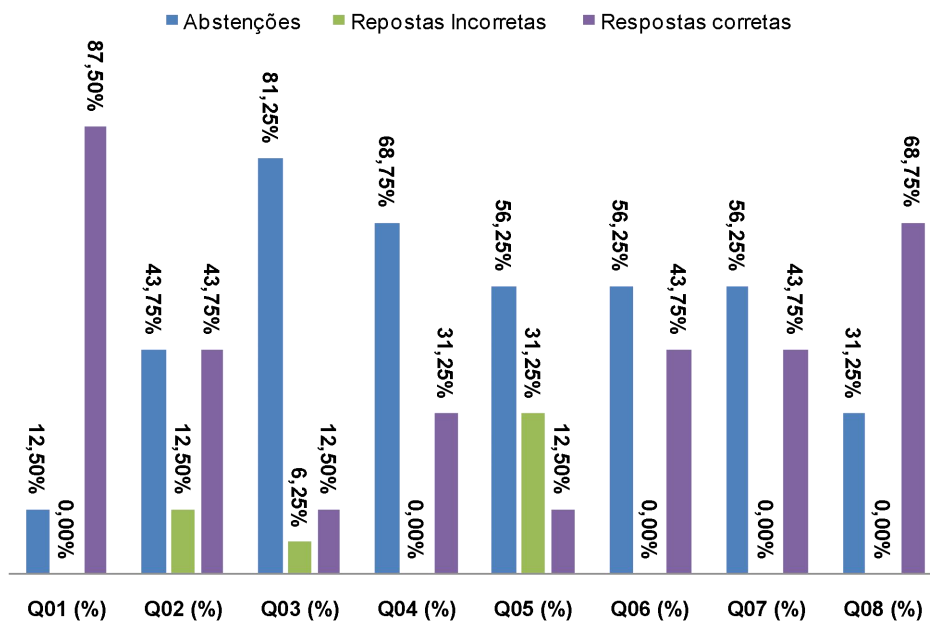


3.1.2 Tratamento estatístico das respostas dos alunos no segundo momento

Por causa do alto índice de abstenções nas questões Q03, Q04, Q05, Q06 (a Q07 permanecerá para melhor comparação), inicialmente será analisada na Figura 7, em comparação com a Figura 5, a influência da utilização do experimento do Tubo de Rubens nos índices analisados do segundo momento, quando comparamos questões que exigem maior arcabouço conceitual. Primeiramente, comparando essas figuras, observa-se que as questões mais conceituais (questões Q01 e Q07) tiveram comportamentos diferentes, a questão Q01 foi conceitualmente respondida da forma correta com 19% a mais em relação à questão Q01 do primeiro momento, e 44% maior em relação à questão Q07 deste segundo momento, que difere da anterior por exigir a definição e relação entre três grandezas físicas com o resultado esperado no experimento, abordagem que não é vista em livros didáticos do Ensino Médio (isso talvez explique o alto índice de abstenções).

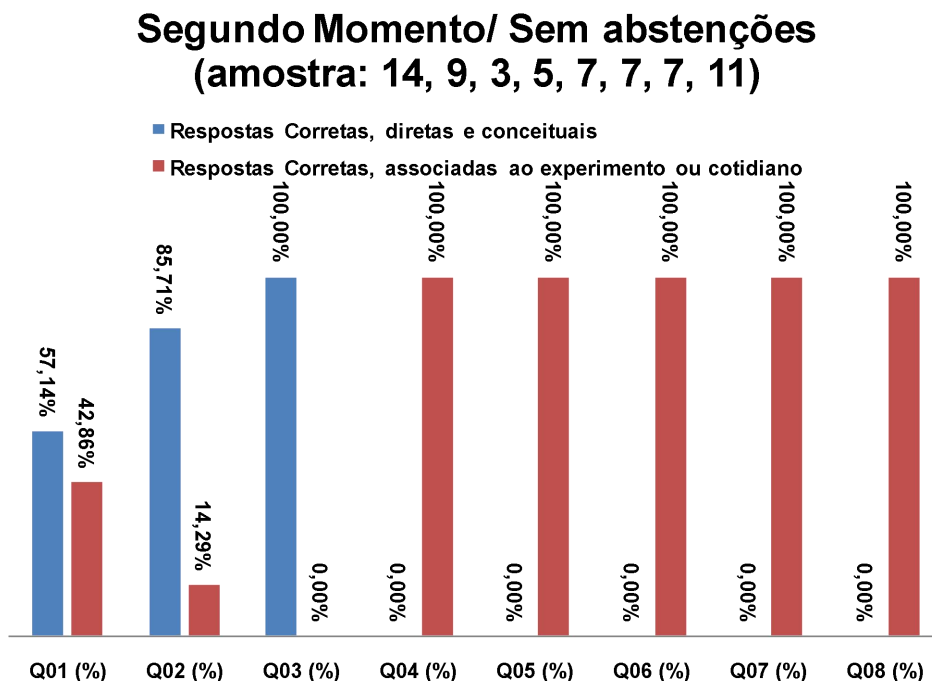
Figura 7 - Percentual de abstenções, respostas corretas e incorretas dos alunos relativas ao primeiro questionário do segundo momento, em relação ao total de alunos testados (16). (Próprio autor).

Segundo Momento/ Com abstenções (amostra: 16 alunos)



Portanto, é muito provável que o experimento tenha contribuído ao menos para melhor fortalecer a apropriação das definições já trabalhadas nos livros didáticos, pois sem ele o índice de acerto foi quase 20% nesse tipo de questão. Agora, com relação à questão Q02, manteve-se o índice, pois em ambos os questionários elas favorecem uma resposta mais visual, relacionada à observação direta. Já a questão Q08, como no primeiro momento, indicou uma resposta relacionada à observação direta do experimento ou baseada nos conceitos prévios dos alunos, isso porque a própria questão não carece apenas de resposta conceitual e, se assim fosse feita, exigiria uma leitura e conhecimento fora do contexto das aulas ministradas e dos livros didáticos utilizados em nossas escolas. Aqui ficam claras as observações já discutidas para a Figura 7. Na Figura 8, que desconsideramos, mais uma vez as abstenções, é revelada uma melhora significativa de quase 30% para respostas conceituais da questão Q01 do questionário do segundo momento em relação questão Q01 na Figura 6 do questionário do primeiro momento. Entretanto manteve-se razoavelmente o padrão quanto às questões Q02, Q07 e Q08, já comentadas no parágrafo anterior.

Figura 8 - Percentual de respostas conceituais ou dos conceitos prévios dos alunos no questionário do segundo momento em relação apenas ao número de alunos que responderam cada questão. (Próprio autor).



3.1.3 Tratamento estatístico das respostas dos alunos no primeiro questionário do terceiro momento

Nesta etapa da pesquisa foi utilizado um teste dividido em dois questionários. O primeiro questionário do terceiro momento é composto por quatro questões subjetivas de acordo com o modelo proposto por Ricardo, E. C., & Freire, J. C. A. (2007). Após a correção do questionário foi possível realizar um estudo sobre a percepção dos alunos em relação ao ensino de Física. É importante ressaltar que esse instrumento de pesquisa utilizado nessa etapa foi elaborado pelos alunos da disciplina de prática de ensino em Física I da Universidade Católica de Brasília e teve como ponto de partida as discussões feitas em sala de aula sobre algumas das dificuldades dos alunos em aprender Física (Ricardo, E. C., & Freire, J. C. A., 2007).

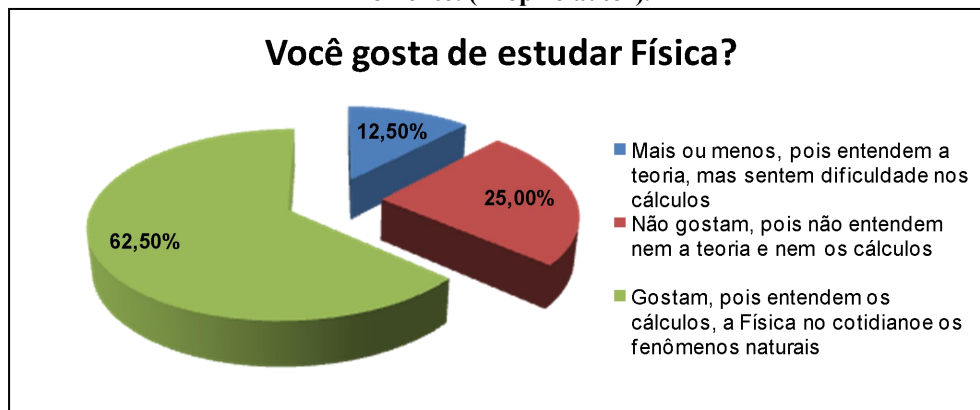
Tabela 1 - Percentual das respostas dos alunos relativo ao questionário 01 do terceiro momento. (Próprio autor).

Você gosta de estudar Física?	Percentual
Mais ou menos, pois entendem a teoria, mas sentem dificuldade nos cálculos	12,50%
Não gostam, pois não entendem nem a teoria e nem os cálculos	25,00%
Gostam, pois entendem os cálculos, a Física no cotidiano e os fenômenos naturais	62,50%
Qual a diferença que você vê entre Física e a Matemática?	Percentual
Não vêem diferença alguma	31,25%
Física é mais fácil de entender do que a Matemática	31,25%
Física estuda os fenômenos naturais e a Matemática estuda os cálculos	31,25%
Não responderam	6,25%
Você acha o ensino de Física importante?	Percentual
Sim, pois aprendem os cálculos	25,00%

Sim, pois compreendem os fenômenos naturais	18,75%
Sim, pois tem relação com o cotidiano	18,75%
Sim, sem justificativa	37,50%
Você vê relação como que você aprende em Física com o seu cotidiano e com as tecnologias?	Percentual
Sim	100,00%

Fonte: (Ricardo, E. C., & Freire, J. C. A., 2007).

Figura 9 - Percentual das respostas dos alunos relativo a questão 01 do questionário 01 do terceiro momento. (Próprio autor).



Com relação à questão 01, a matemática foi o fator predominante em relação às dificuldades relacionadas pelos alunos, os índices percentuais mostram uma rejeição por parte de 37,5% dos entrevistados, onde os cálculos matemáticos são apontados como entraves para o aprendizado. Pesquisas apontam que essas dificuldades matemáticas podem também interferir no estudo da Física no ensino superior (Admiral, T. D., 2016).

Figura 10 - Percentual das respostas dos alunos relativo a questão 02 do questionário 01 do terceiro momento. (Próprio autor).

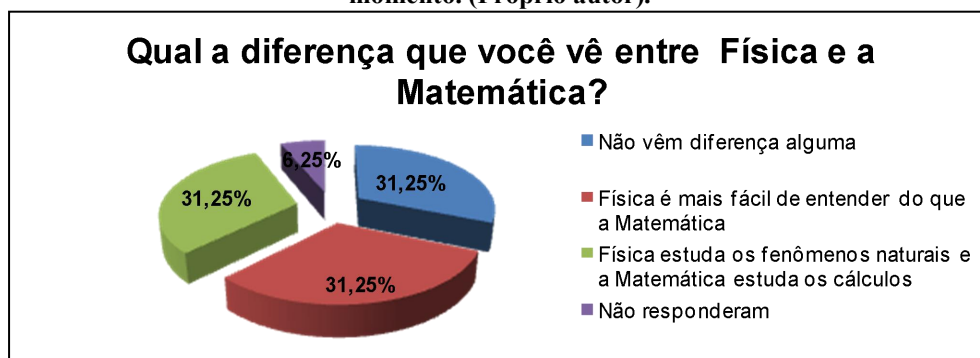
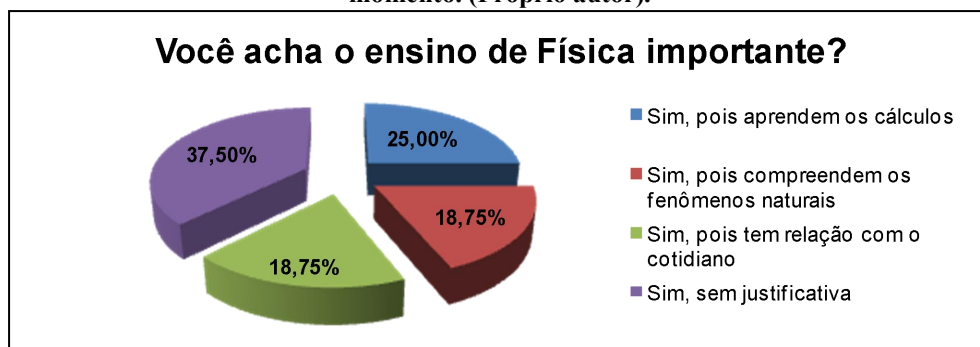


Figura 11 - Percentual das respostas dos alunos relativo a questão 03 do questionário 01 do terceiro momento. (Próprio autor).



A grande maioria dos alunos, cerca de 62,5%, relataram que gostam de cálculos, fazem uma ligação da Física com o seu cotidiano, querem entender os fenômenos da natureza e alguns almejam a profissão de professor de Física, no entanto, é evidente que existe entre os estudantes grande dificuldade em entender a relação entre Física e Matemática, muito embora mais de 30% dos estudantes tenha demonstrado uma noção superficial dessa relação.

3.1.4 Tratamento estatístico das respostas dos alunos no segundo questionário do terceiro momento

Em relação ao questionário 02 há uma perfeita correlação entre a negativa e a afirmativa de que só aula de laboratório é preferível ou só aula expositiva é preferível, pois os que negam a primeira confirmam positivamente a segunda e vice – versa. Todavia essa correlação é desfeita na medida em que todos os alunos entrevistados confirmam a necessidade de dividir a carga horária entre aulas expositivas tradicionais e de laboratório. Fato confirmado pela escolha 68,75% do total por aulas que favoreçam ambas as abordagens, tradicional e laboratorial, confirmando o que afirmam alguns autores sobre a importância das aulas práticas (Bassoli, F., 2014), (Leite, A. C. S., Silva, P. A. B., & Vaz, A. C. R., 2005). Além disso, 75% dos alunos consideram as aulas teóricas-práticas como sendo boas e 81, 25% afirmam que o uso de computadores não seria um empecilho para o aprendizado, concordando com alguns autores que utilizaram o computador como ferramenta didática (Arellada, I. L., & Rufini, S. E., 2013), (Gabini, W. S., & Diniz, R. E. S., 2007), (Gabini, W. S., & Diniz, R. E. S., 2007).

Tabela 2 - Percentual das respostas dos alunos relativo ao questionário 01 do terceiro momento. (Próprio autor).

Você gostou das aulas de Física ministradas em sua escola durante o ano?	Percentual
Foram boas aulas	75,00%
Não foram boas aulas	0,00%
Poderiam ser melhores	25,00%
Você acha suficiente o número de aulas de Física em sua escola?	Percentual
Sim	62,50%
Não	37,50%
Você gosta das aulas somente em sala de aula com o livro didático e o professor?	Percentual
Sim	37,50%

Não	62,50%
Você gostaria que as aulas fossem somente no laboratório de ciências?	Percentual
Sim	43,75%
Não	56,25%
Você gostaria que as aulas fossem melhor divididas entre a sala e o lab. de ciências?	Percentual
Sim	100,00%
Não	0,00%
Durante as aulas de Física ministradas, você acha que teve melhor aprendizado...	Percentual
Com as aulas tradicionais expositivas	0,00%
Com experimentos	31,25%
Com a junção das aulas teóricas e práticas	68,75%
Não teve aprendizado nenhum	0,00%
Você tem afinidade com o manuseio de computadores?	Percentual
Sim	81,25%
Não	18,75%
Você acha importante fazer uso do computador na aula de Física?	Percentual
Sim	93,75%
Não	6,25%

Figura 12 - Percentual das respostas dos alunos relativo a questão 01 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).



Figura 13 - Percentual das respostas dos alunos relativo à questão 02 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).

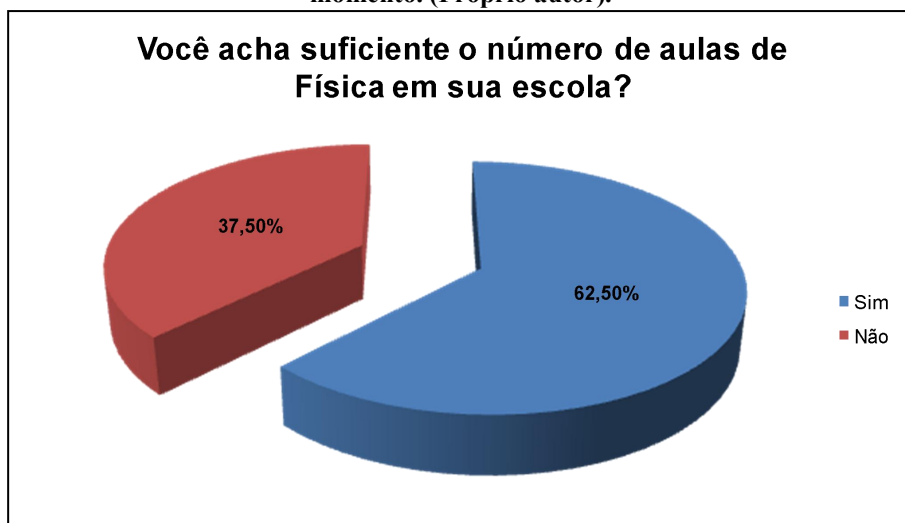


Figura 14 - Percentual das respostas dos alunos relativo à questão 03 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).

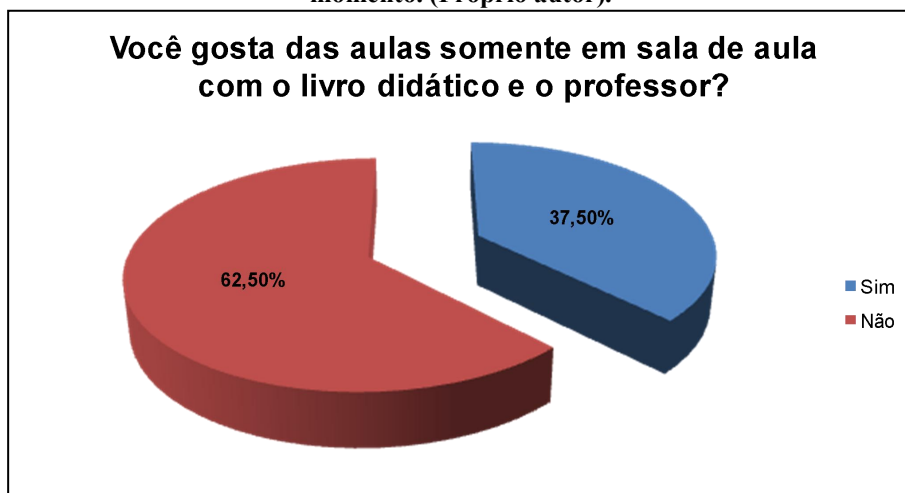


Figura 15 - Percentual das respostas dos alunos relativo à questão 04 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).

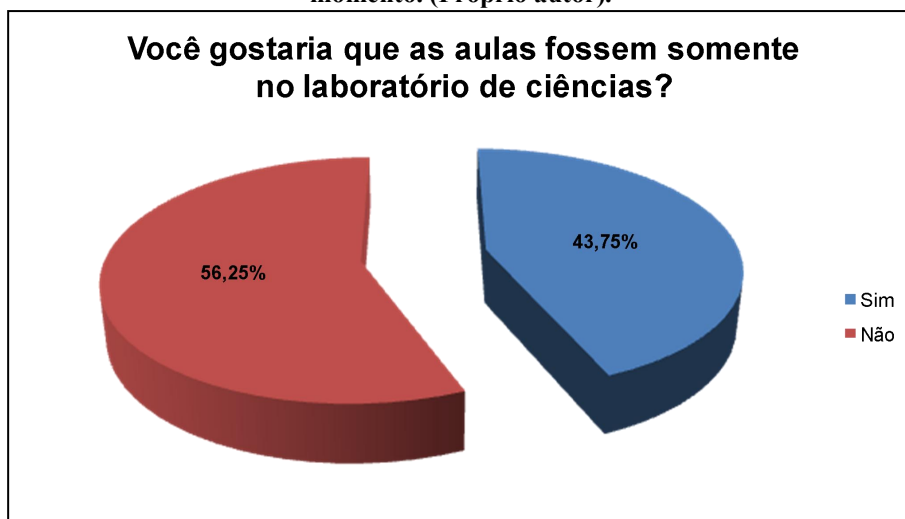


Figura 16 - Percentual das respostas dos alunos relativo à questão 06 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).

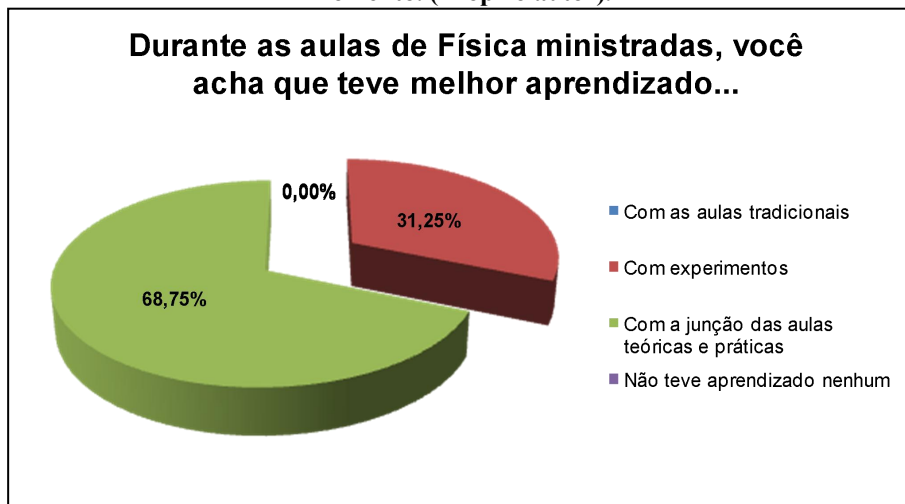


Figura 17 - Percentual das respostas dos alunos relativo à questão 07 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).



Figura 18 - Gráfico 16 - Percentual das respostas dos alunos relativo à questão 08 do questionário 02 do terceiro momento. (Próprio autor).



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados de ambos os testes propiciou duas vertentes de avaliação, uma relacionada ao índice de abstenção nas respostas das perguntas dos questionários e outra em relação ao índice de aprendizagem significativa dos alunos que responderam as questões propostas. Todos os valores percentuais são em relação à amostra da pesquisa que foi de 16 alunos.

No tocante ao índice de abstenção nas respostas do questionário 01, do primeiro momento, observa-se nos gráficos uma média de 38,90% de alunos que não responderam as questões do questionário 01. Em relação às abstenções no questionário 02, do segundo momento, os índices médios se mostram maiores, uma média de 50,78% dos alunos que participaram da pesquisa não respondeu as questões do questionário 02.

Os percentuais elevados de abstenção dos alunos nas respostas de algumas perguntas nos questionários 01 e 02, bem como o crescimento desse percentual no questionário 02 em relação ao questionário 01, comungam com os dados colhidos na secretaria da escola que apontam para um histórico de baixo rendimento escolar e reprovações em séries anteriores o que leva a crer que um dos fatores que contribuíram para esses índices foi a não compreensão do texto das perguntas, levando ao não entendimento das mesmas por parte dos alunos, já que as questões do questionário 02 eram bem mais contextualizadas que no primeiro questionário.

Com relação à proposta da pesquisa referente aos dados estatísticos relacionados aos alunos que responderam às questões nos questionários dos dois primeiros momentos, foi realizada uma análise a partir dos dados percentuais dos gráficos dos subitens 3.1.1 e 3.1.2., respectivamente.

Primeiramente observa-se um aumento no percentual de questões respondidas de forma incorreta do primeiro para o segundo questionário. A Figura 5, relativo ao questionário 01, mostra uma média percentual de questões incorretas de 3,12% enquanto que a Figura 7, relativo ao questionário 02, mostra uma média percentual de 6,25% de questões incorretas. Esse crescimento percentual também é justificado pelos mesmos motivos já citados anteriormente em relação às abstenções.

Consequentemente observa-se uma queda na média percentual de acertos no questionário 02 em relação ao questionário 01. A Figura 5 mostra uma média percentual de 57,98% de acertos no questionário 01, enquanto que a Figura 7 mostra uma média percentual de 42,96% de acertos no questionário 02.

Analisando os dados percentuais das Figuras 6 e 8, que tratam das questões acertadas utilizando conceitos formais e das questões acertadas utilizando os conceitos de forma contextualizada com o experimento e com os conhecimentos prévios dos alunos, nota-se que há um crescimento percentual das respostas contextualizadas do primeiro para o segundo questionário e um decréscimo percentual sutil das respostas conceituais diretas.

A Figura 6, relativo ao questionário 01, mostra uma média percentual de 47,62% de respostas contextualizadas, enquanto que a Figura 8, relativo ao questionário 02, mostra uma média percentual de 69,64% de respostas contextualizadas. Os valores de médias percentuais relativas às questões respondidas de forma conceitual direta são mostrados nas Figuras 6 e 8 respectivamente, com 52,38% no questionário 01 e 30,36% no questionário 02.

Após a análise da abordagem quantitativa dos gráficos que envolvem as atividades dos alunos nos dois primeiros momentos da pesquisa é notório que apesar dos elevados índices de questões não respondidas pelos mesmos, os valores da média percentual relativos às questões respondidas de forma contextualizada, onde o aluno associa os conhecimentos prévios ao experimento do Tubo de Rubens, teve um crescimento percentual de 22,02% no questionário 02 em relação ao questionário 01.

Com isso pode-se concluir que a utilização do experimento do Tubo de Rubens, onde os alunos tiveram participação ativa na construção do conhecimento, juntamente com os conhecimentos prévios dos alunos, os subsunçores, contribuíram de maneira efetiva para uma aprendizagem significativa dos conteúdos de ondulatória.

Vale ressaltar o terceiro momento da pesquisa, onde foram aplicados dois questionários que avaliam o nível motivacional dos alunos em relação à disciplina de Física e a suas opiniões em relação às aulas ministradas.

É perceptível que a maioria dos alunos gosta da disciplina de Física enquanto ciência que trata de fenômenos naturais e tecnologias, mas também é notória a aversão de alguns alunos quanto ao uso da matemática na disciplina, pois se sentem bastantes inseguros quando são obrigados a desenvolver os conceitos matemáticos e as equações. Em relação às aulas de Física ministradas durante o ano letivo, fica clara a aspiração dos alunos por aulas mais dinâmicas, no sentido da utilização de mais recursos como a informática e o laboratório de ciências agregadas às aulas expositivas.

Finalmente, esta pesquisa não tem a finalidade de ser a panacéia para os problemas do ensino da Física no ensino médio e sim promover uma alternativa para que outros professores possam desenvolver novos trabalhos nas áreas do ensino de Física. Também vem colaborar com as pesquisas em Ensino de Física, que é uma atitude de grande valor na busca pela melhoria da educação científica nas escolas públicas e privadas, e para instigar os alunos a ser parte integrante desse processo, pois são estes mesmos alunos que possivelmente darão continuidade a esta jornada nunca concluída pelo conhecimento.

REFERÊNCIAS

- Admiral, T. D. (2016). Dificuldades conceituais e matemáticas apresentadas por alunos de física dos períodos finais. *Rev. Bras. Ensino Fís.* São Paulo, v. 38, n. 2, e2502.
- Arellada, I. L., & Rufini, S. E. (2013). O uso do computador como estratégia educacional: relações com a motivação e aprendizado de alunos do ensino fundamental. *Psicol. Reflex. Crit.*, Porto Alegre, v. 26, n. 4, p. 743-751.
- Bassoli, F. (2014). Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções. *Ciênc. educ. (Bauru)*, Bauru, v. 20, n. 3, p. 579-593.
- Dix, G. R. (2006). Development and comparison of highly directional loudspeakers. MS thesis, *Department of Physics and Astronomy, Brigham Young University*, Provo, UT.
- Ficken, G., & Stephenson, C. (1979). Rubens flame-tube demonstration. *Phys. Teach.* 17, 306–310.
- Gabini, W. S., & Diniz, R. E. S. (2007). A Experiência de um grupo de professores envolvendo ensino de química e informática. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)*, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 9-20.
- Gabini, W. S., & Diniz, R. E. S. (2012). A formação continuada, o uso do computador e as aulas de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)*, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 333-348.
- Gardner, M., Gee, K. L., & Dix, G. (2009). An investigation of Rubens flame tube resonances. *J. Acoust. Soc. Am.* 125, 1285-1292.
- Gee, Kent L. (2009). The Rubens tube. *Proceedings of Meetins on Acoustics*, vol. 8, nº 1. doi.: 10.1121/1.3636076.
- Laburú, C. E. (2006). Fundamentos para um experimento cativante. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 3: p. 382-404.

- Leite, A. C. S., Silva, P. A. B., & Vaz, A. C. R. (2005). A importância das aulas práticas para alunos jovens e adultos: uma abordagem investigativa sobre a percepção dos alunos do PROEF II. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)*, Belo Horizonte, v. 7, n. 3, p. 166-181.
- Ricardo, E. C., & Freire, J. C. A. (2007). A concepção dos alunos sobre a Física do ensino médio: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, nº 2, p. 251-266.
- Rubens, H., & Krigar-Menzel, O. (1905). Flammenröhre für akustische Beobachtungen. *Annalen der Physik*. 17, 149-164.
- Séré, M. G., Coelho, S. M., & Nunes, A. D. (2003). O papel da experimentação no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.20, n.1, p. 30-42.