



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Superposição de ideias em física ondulatória

Manoel Jorge Rodrigues Marim, Deise Miranda Vianna e Marcos Binderly
Gaspar

Material instrucional associado à
dissertação de mestrado de Manoel Jorge
Rodrigues Marim apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Física da Universidade Federal
do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
2014

ATIVIDADES

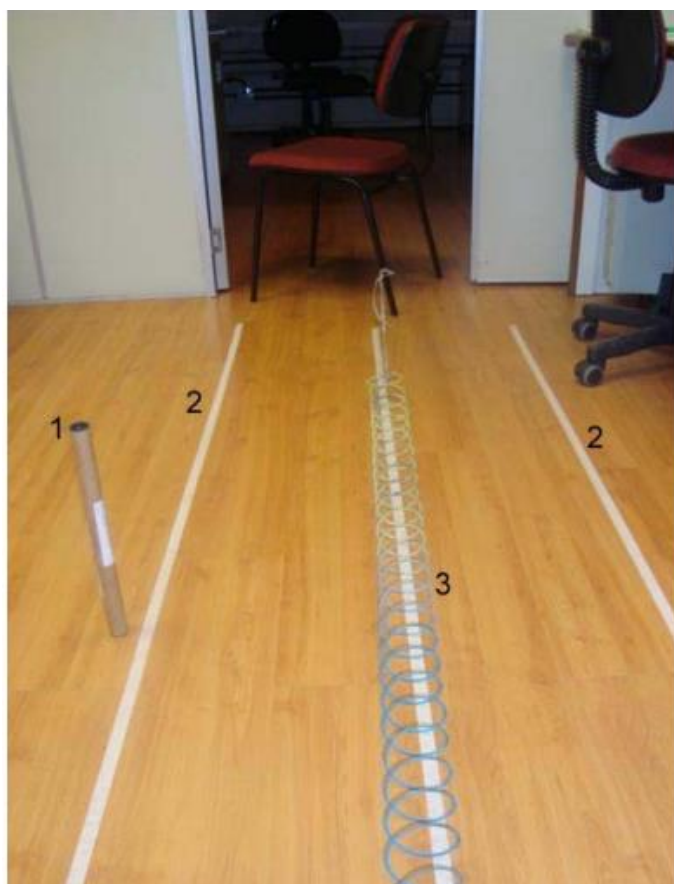
Primeira Atividade

A primeira atividade tem como objetivo abordar os fenômenos de interferência construtiva e destrutiva em pulsos e ondas. Essa atividade também possibilita a apresentação de alguns conceitos como: pulso, onda, amplitude e frequência.

Primeira parte

O professor apresenta a seguinte situação para os alunos:

Uma mola de brinquedo esticada e com suas duas pontas presas em mesas com barbantes, como se vê na Figura 1.



- 1- Objeto a ser derrubado
- 2 - Linhas que delimitam o movimento máximo das mãos
- 3 - Linha que orienta posição inicial da mola

Figura 1 - Primeira e segunda partes da atividade 1.

O que o professor propõe é que os alunos pensem e digam se é possível derrubar, com o auxílio da mola, o objeto comprido que está na

vertical perto do meio da mola. Não é feita nenhuma restrição sobre como os alunos devem fazer para derrubar o objeto (no nosso caso, uma garrafa).

Essa etapa do problema é de fácil solução para os alunos, e foi pensada para ser assim de modo a estimular os alunos a perderem o medo de compartilhar suas ideias. Sabendo que a maioria dos alunos de Física não está acostumada a verdadeiramente expor seus raciocínios, essa etapa se torna importante. Se um aluno decide sugerir alguma maneira de derrubar o objeto e o professor recebe bem a sugestão, independente de se a sugestão tenha potencial para alcançar o objetivo ou não, os outros alunos se sentem seguros para dar suas opiniões também.

Após a troca de ideias entre os alunos e professor sobre maneiras de se derrubar o objeto, o professor pede que testem suas conjecturas.

O fato da solução do problema ser fácil, permite que diferentes alunos tenham diferentes ideias de como derrubar o objeto e vários deles passam a querer participar quando percebem que um colega conseguiu derrubá-lo com a mola. A intenção é que entre as diversas formas que os alunos sugerem para derrubar a garrafa seja sugerida uma onda e/ou um pulso.

A onda, como uma possível solução do problema, é relativamente comum de ser sugerida, ainda que os alunos não utilizem o termo físico correto. O pulso não é comum de ser sugerido como hipótese para a solução do problema.

Após a troca de ideias entre os alunos e professor sobre essa possibilidade, o professor pede que testem suas conjecturas.

Logo após essa parte introdutória é perguntado se é possível fazer com a mão um movimento na mola que derrube o objeto, mas com as seguintes condições:

- A mola inicialmente deve estar em cima de uma das fitas, como visto na figura 1.
- O movimento da mão não pode ultrapassar o limite da fita branca da direita.
- A mola não pode ser desamarrada do objeto que prende suas extremidades.

- Não levantar a mola.

É importante esclarecer aos alunos que o que não pode passar da linha é a mão de quem faz o movimento, e não a mola. Os alunos algumas vezes entendem que o que não pode passar pela linha é a mola.

Pede-se que eles defendam se é possível ou não e por que. Nessa fase, os alunos normalmente querem utilizar logo as molas ao invés de discutir sobre o problema. Cabe ao professor insistir para que primeiro defendam se é possível ou não e porquê e só depois utilizem as molas.

Após um tempo determinado pelo professor, eles devem tentar verificar se suas ideias ou hipóteses são razoáveis ou não.

Caso acreditem que não é possível derrubar o objeto, devem mostrar ao professor essa impossibilidade, fazendo um pulso ou onda na mola que não consegue derrubar o objeto. É sugerido desafiar os alunos dizendo que é sim possível e pedindo que eles descubram como é possível.

Durante a fase das tentativas, os alunos utilizarão termos próprios para amplitude, frequência, pulsos e ondas. O professor aproveita essa oportunidade para ir introduzindo os termos corretos, na medida em que esses conceitos aparecem na atividade desenvolvida pelos alunos.

Essa fase traz também a possibilidade da discussão da influência da dispersão de energia que aparece diversas vezes em pulsos e ondas reais, nesse caso o atrito.

Parte dos alunos consegue perceber e/ou obter na prática que é possível derrubar o objeto desde que dois alunos façam pulsos cada um em uma extremidade da mola que vão se “somar” perto do objeto.

Um exemplo da possibilidade está disponível para visualização em <http://www.youtube.com/watch?v=79RUo0PwLog&feature=youtu.be>

Alguns poucos alunos conseguem obter na prática outra solução para derrubar o objeto, sozinhos e atendendo às restrições. Essa outra solução consiste em fazer uma onda estacionária. Com pequenos movimentos, desde que feitos com algumas das frequências de ressonância (harmônicos ímpares, pois a garrafa está no meio) da mola, é possível obter uma onda com uma amplitude bem maior do que o delimitado pelas fitas.

Essa solução, apesar de não ter sido pensada no desenvolvimento da atividade, é muito rica para uma discussão de ressonância, ondas estacionárias e assuntos correlatos. Caso o professor não deseje fazer essa discussão naquele momento, uma sugestão é mostrar aos outros alunos que foi obtida uma solução para o problema e perguntar se existe outra. Pode se utilizar a estratégia de dizer aos alunos que o grau de dificuldade será aumentado e então restringir para um o número de pulsos que cada aluno poderia fazer.

Voltando à solução que permite a discussão da superposição de pulsos, caso os alunos acreditem que com todas as restrições não é possível, algumas perguntas podem ser úteis para ajudar a perceber que é possível. Essas perguntas foram organizadas de modo que podem ser feitas na ordem proposta, de modo que só se faria a pergunta seguinte se, após fazer a anterior, a dificuldade permanecesse. Sempre deixando um tempo para os alunos refletirem sobre as perguntas.

- Ao invés de fazer um movimento/pulso na mola para derrubar o objeto será que é possível derrubar com mais movimentos?

- Faria alguma diferença ter outro aluno tentando ao mesmo tempo na outra extremidade da mola?

- Um pulso pode atrapalhar o outro, com o objetivo de derrubar o objeto?

- Um pulso pode ajudar o outro, com o objetivo de derrubar o objeto?

Depois de conseguirem derrubar o objeto, estimulam-se os alunos a descreverem suas atitudes e pensamentos que utilizaram durante a proposta. Utilizamos essa fase para sistematizar os conceitos de pulsos, ondas, amplitude, frequência e interferência construtiva.

Segunda parte

É apresentada a situação vista na Figura 2, quando perguntamos se é possível fazer um pulso em cada extremidade da mola ao mesmo tempo, com a máxima amplitude delimitada pelas fitas, de modo que nenhum dos dois objetos seja derrubado pela mola.

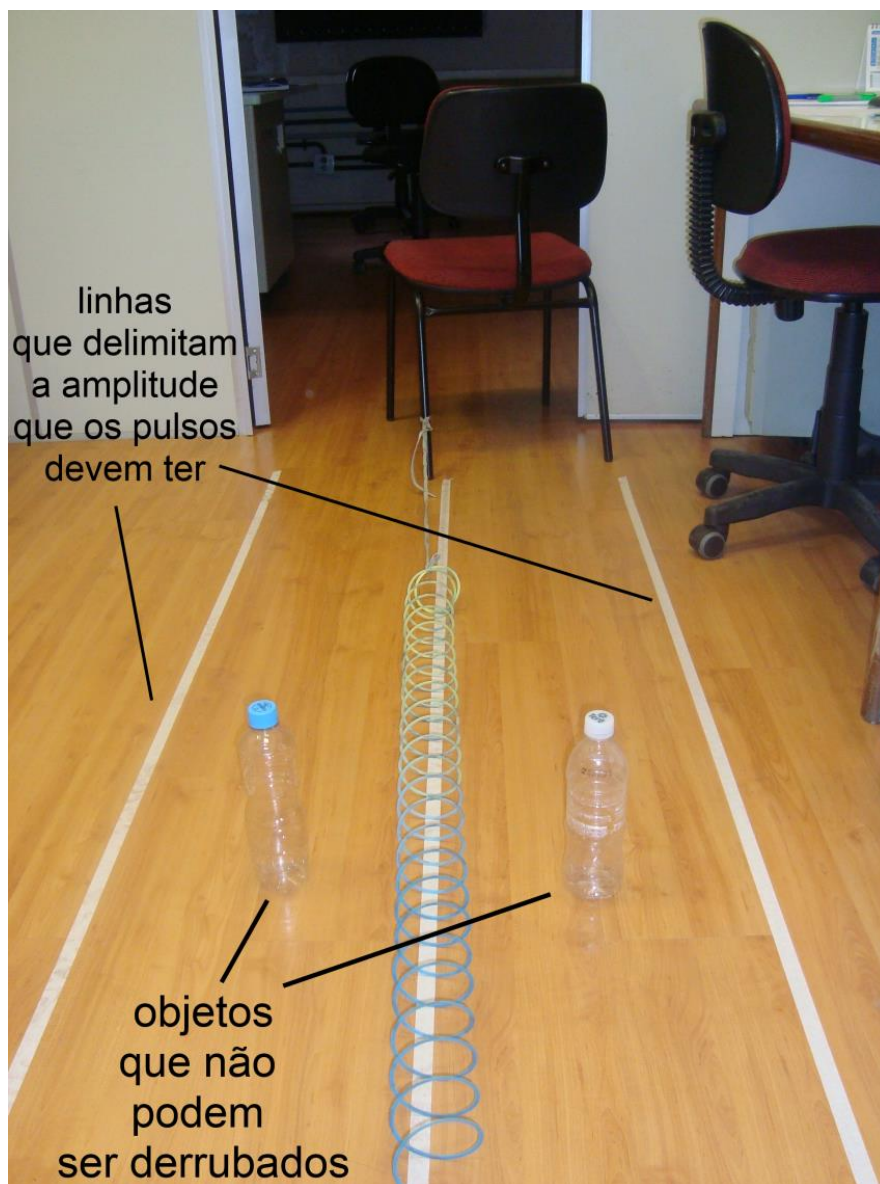


Figura 2 - Segunda parte da atividade 1.

Após reflexão e descrição (do por quê) de suas opiniões, pede-se que eles tentem, caso acreditem que sim. Caso acreditem que não, sugere-se que

seja dito que é possível e que seja proposto aos alunos o desafio de conseguir mostrar isso na prática.

Uma solução algumas vezes citada pelos alunos e que atende às restrições é a de fazer os pulsos transversais ao chão, ou seja, com movimento da mão para cima e para baixo.

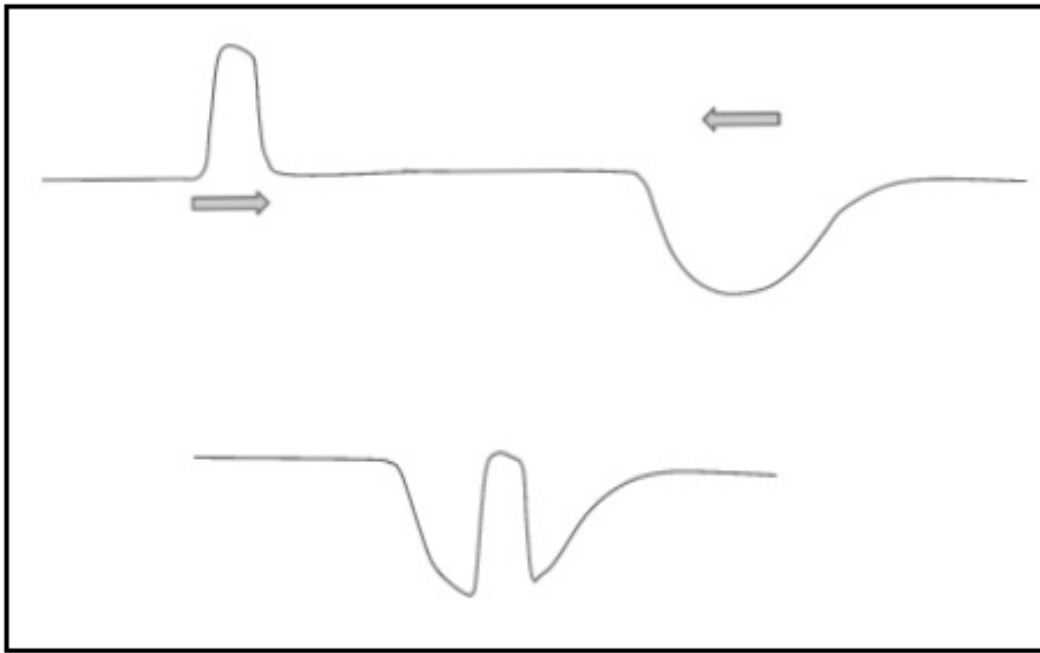
Caso seja apresentada essa solução para o professor ele pode mostrar a solução para o restante da turma, comentando que respeitava as restrições e que solucionava o problema.

Depois disso, uma sugestão é dizer que o grau de dificuldade seria aumentado e que a partir de então uma nova restrição seria feita: a de que a mola não poderia ser retirada do chão. Novamente o professor pode perguntar se seria possível ou não derrubar a mola com essas novas restrições e continuar a atividade.

Sabendo que alguns alunos trazem essa solução, uma questão que pode surgir é: por que não colocar essa restrição desde o início?

Achamos que não colocar essa restrição é uma maneira de valorizar a criatividade e o raciocínio dos alunos que se sentem mais seguros quando veem que conseguiram trazer uma solução para o problema. Além disso, acreditamos que alguns alunos pensam nesse procedimento, mas não falam por imaginar que essa não seria a solução que o professor queria ouvir. Mas ao notar que o professor a considerou como correta, esse aluno provavelmente deva se sentir mais seguro para participar com alguma ideia que acreditava correta, mas que não falava também por medo de achar que não era a resposta que o professor gostaria de ouvir.

Voltemos a nos referir à solução que permite que se discuta interferência destrutiva. Com um aluno em cada extremidade da mola fazendo pulsos em sentidos opostos e ao mesmo tempo, é possível atingir o objetivo proposto. Tecnicamente esse segundo desafio é mais difícil, pois requer uma boa sincronia entre as pessoas que fazem o pulso, e que elas consigam fazer pulsos com amplitudes muito parecidas. Além disso, o objeto precisa estar bem no meio para pulsos sendo feitos ao mesmo tempo. Não obstante, os pulsos precisam ter formatos parecidos, caso não tenham, a superposição não será “perfeita” e parte da oscilação dos pulsos pode “sobrar” e derrubar o objeto, uma ilustração dessa situação pode ser vista na Figura 3.



.Figura 3 - Superposição que derruba objeto.

Caso os alunos acreditem não ser possível, uma pergunta que pode auxiliar é:

- Se pensarmos o fenômeno da interferência construtiva visto na primeira parte como uma “soma” de pulsos, será que é possível realizar uma “subtração de pulsos?”

Com a reflexão e tentativa dos alunos para resolver esse desafio, surge a oportunidade de introdução do conceito de interferência destrutiva.

Essa atividade torna-se mais relevante com a filmagem das tentativas dos alunos permitindo que eles possam visualizar com maior cuidado e mais detalhes o que acontece nas diferentes tentativas que realizam. Recomenda-se o uso de um computador para visualizar esses vídeos, facilitando a análise dos alunos, para tentar explicar se é possível ou não atingir os objetivos propostos pelo professor.

Atualmente os sistemas operacionais mais populares são dotados de programas simples para visualização (players) de vídeos feitos em celulares ou câmeras de vídeo. Esses programas já são muito úteis para rever de maneira satisfatória as tentativas dos alunos. Apesar disso, caso se queira, é possível realizar uma análise quadro-a-quadro das tentativas utilizando programas de

edição de vídeo, como por exemplo o Windows Movie Maker que já vem instalado na maioria dos computadores que possuem Windows.

Os vídeos citados neste trabalho foram filmados sem equipamento profissional de gravação, apenas com um telefone celular.

Segunda atividade

O objetivo nesse segundo momento é investigar quais fatores influenciam na velocidade do pulso na mola, como também analisar qualitativamente a relação que existe entre a tensão na mola e a velocidade dos pulsos na mola.

É proposta aos alunos uma corrida de pulsos, onde dois grupos irão tentar fazer com que seu pulso seja mais rápido que o do grupo adversário. Nessa etapa também se recomenda a gravação para facilitar a decisão de qual grupo faz o pulso mais rápido.

Nessa etapa, colocam-se duas molas “idênticas” lado a lado e os grupos devem ser orientados a fazer pulsos simultaneamente, cada grupo em sua respectiva mola, para que se possa julgar qual pulso chega à outra extremidade primeiro.

Antes da corrida é importante perguntar aos alunos como eles fariam para que seu pulso seja mais rápido que o do adversário. Esse cuidado é necessário para estimular o raciocínio do aluno sobre quais variáveis ele acredita que influenciam na velocidade do pulso. A tentativa de explicação de suas hipóteses proporciona oportunidades de melhoria de sua argumentação e, com auxílio do professor, permite a apropriação do vocabulário esperado de um aprendiz em Física.

As variáveis normalmente mencionadas pelos alunos como as que influenciam a velocidade do pulso são força, amplitude, tipo de pulso (transversal ou longitudinal) e o quanto a mola está esticada.

O professor então explica aos alunos que no momento que fossemos testar suas hipóteses, pequenas diferenças na chegada dos pulsos não seriam levadas em conta, tendo em vista que um aluno pode começar seu pulso ligeiramente depois do outro. Além de que não é tão fácil ter a certeza de qual pulso chegou primeiro visualmente. Dessa forma, somente não se considera

empate quando a maioria dos alunos mencionar uma diferença significativa no tempo de chegada dos pulsos.

Na etapa da corrida em si é possível perceber que, desde que feitos ao mesmo tempo, as variáveis: formato do pulso, amplitude inicial, frequência (caso ache que os pulsos subsequentes façam com que o da frente ande mais rápido) não influenciam na velocidade do pulso.



Figura 4 – Exemplo de corrida de pulsos transversais.

Quando algum grupo resolve esticar mais sua mola pode perceber que seu pulso chega mais rápido. Com isso podem descobrir a relação de proporção entre a tensão na mola e a velocidade do pulso. Sugere-se que o professor peça que eles expliquem por que o pulso chega mais rápido, favorecendo a tomada de consciência da proporcionalidade.

Na hipótese de ninguém tentar com a mola mais tensionada, é possível que os alunos cheguem à conclusão de que não importa o que eles façam, os pulsos chegam sempre ao mesmo tempo. Se isto acontecer sugere-se que o professor entre na disputa com os alunos, mas a mola utilizada pelo professor deve possuir aproximadamente $3/4$ do tamanho das molas que estavam sendo

utilizadas pelos alunos. Como o tamanho é apenas um pouco menor é possível que os alunos não percebam de imediato a diferença.

Ao participar da corrida com os dois grupos iniciais, a mola do professor ficará mais tensionada por ser menor e com isso seu pulso chegará mais rápido que o dos alunos.

Com isso, pede-se aos alunos que descubram por que o pulso do professor é mais rápido. Em uma análise mais cuidadosa da mola vencedora, é possível verificar que ela está mais esticada, ou caso eles decidam analisar as molas relaxadas, umas ao lado das outras, perceberão que a do professor é menor. Sugere-se que o professor mais uma vez estimule os alunos a explicar o porquê seu pulso é mais rápido, ajudando os alunos a se darem conta da proporcionalidade existente.

Um exemplo disponível da corrida de molas está em <http://www.youtube.com/watch?v=jygUcMB7zuA&feature=youtu.be>. Nesse vídeo o aluno da esquerda faz um pulso longitudinal e o da direita faz um pulso transversal. Outro exemplo disponível está em: <http://www.youtube.com/watch?v=e1sHN7tizVo>. Nesse outro vídeo uma mola tem o dobro do tamanho da outra para facilitar a visualização da diferença de velocidade entre os pulsos.

A atividade da corrida de molas foi pensada inicialmente para abordar apenas o aspecto da tensão do meio em que o pulso se propaga. Apesar disso, apresentamos também uma demonstração investigativa para abordar o efeito da densidade da mola na velocidade de propagação do pulso. Essa atividade consiste em passar aos alunos uma mola grande, do tamanho das que foram utilizadas nas outras atividades; metade do comprimento dessa mola é composto na verdade de duas molas idênticas coladas de maneira a compor uma mola com o dobro da espessura da mola original. Ficamos então com uma mola onde metade do comprimento dela possui uma espessura, e a outra metade do comprimento possui o dobro da espessura.

Pede-se que cada aluno examine a mola e verifique o que essa mola tem de diferente das outras, rapidamente os alunos discutem e podem verificar que metade da mola é mais espessa, mais densa e conseqüentemente mais pesada. Em seguida, amarra-se a mola como nas outras atividades e o

professor cria um pulso na extremidade mais espessa da mola. A partir daí é possível ver um pulso que se propaga com uma velocidade na parte espessa da mola e que ao chegar à parte mais fina da mola passa a se propagar mais rapidamente.

O professor então pede que os alunos verifiquem do que depende a velocidade do pulso na mola nesse caso. Qual relação de proporção é possível verificar?

Com mais ou menos intervenção do professor, é possível que os alunos verifiquem que quanto maior a densidade da mola, menor a velocidade do pulso e vice-versa.

Em seguida apresenta-se a seguinte questão para que os alunos reflitam, discutam e respondam:

Qual das proporções representa melhor a velocidade do pulso que se propaga na mola?

Tabela 1 – Pergunta sobre variáveis que definem velocidade de um pulso.

a) $v \propto \frac{\mu}{T}$	b) $v \propto T \cdot \mu$	c) $v \propto \frac{T}{\mu}$
d) $v \propto T^2 \cdot \mu$	e) $v \propto T \cdot \mu^2$	f) $v \propto (\mu - T)$

Na Tabela 1 a letra v representa a velocidade do pulso, a letra T representa a tensão e a letra μ a densidade da mola. Na sequência dessas atividades, o professor pode sistematizar todo o conhecimento estudado, organizando as ideias dos alunos a partir das atividades desenvolvidas: conceituando pulsos e ondas, diferentes formas de pulsos, classificando pulsos e ondas de acordo com sua forma de propagação, apresentando a formulação matemática da velocidade de um pulso em uma corda, em função da tensão e da densidade linear da corda, etc.

É importante ressaltar que a sistematização é feita em um momento onde os termos e fenômenos fazem muito mais sentido para os alunos, e após terem discutido as variáveis que aparecem na formulação matemática da velocidade do pulso em um meio material.

Mesmo não tendo como fazer uma investigação sobre a raiz quadrada que aparece na fórmula, é razoável que a formulação matemática passe a fazer mais sentido após essas atividades.

Como dissemos no início, a gravação em vídeo de alguns momentos das atividades é muito útil para as aulas subsequentes ou na própria aula, na medida em que podem ser utilizadas didaticamente. Um exemplo é o vídeo que citamos, no qual fica claro o empate entre diferentes tipos de pulsos: <http://www.youtube.com/watch?v=jygUcMB7zuA&feature=youtu.be>, a edição desses vídeos pode certamente ser feita na própria aula rapidamente. Por exemplo, a câmera lenta vista no vídeo acima, é feita muito facilmente em alguns programas gratuitos de edição, e utilizamos o Windows Live Movie Maker, disponível nos computadores que possuem sistema operacional Windows 7 ou Windows 8.

A gravação também é muito útil para obter imagens para uso didático. As Figuras 5 e 6 são exemplos e servem para criação de slides a ser utilizados em aulas após as atividades:



Figura 5 - Exemplo de possível ilustração que pode ser utilizado em slide mostrando o que é um pulso transversal.

Exercícios

- 1) Imagine que cada quadrado do quadriculado da figura tenha aproximadamente 5 cm de lado, responda qual é a amplitude aproximada do pulso:
- a) 55 centímetros.
 - b) 50 centímetros.
 - c) Não faz sentido falar em amplitude desse pulso.
 - d) 5 centímetros.
 - e) 15 centímetros.
 - f) 120 centímetros.



Figura 6 – Exemplo de possível ilustração para ser utilizada didaticamente em slide de aula subsequente as atividades.