

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA VISANDO ABORDAR OS
FUNDAMENTOS DA TEORIA CAOS NO ENSINO MÉDIO

Francisca Pereira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres

Araranguá
Fevereiro e 2017

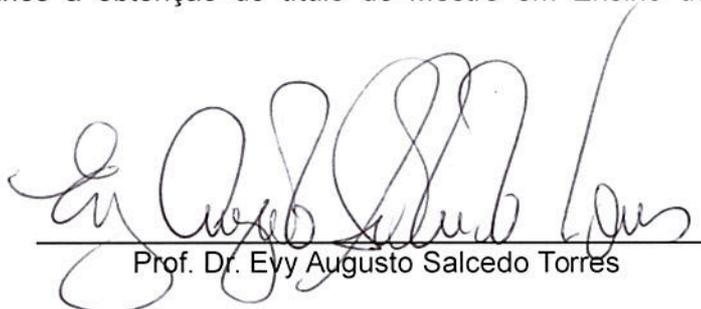
Proposta de Sequência Didática Visando Abordar os Fundamentos da Teoria
do Caos no Ensino Médio

Francisca Pereira

Orientador:
Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de
Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de
Física

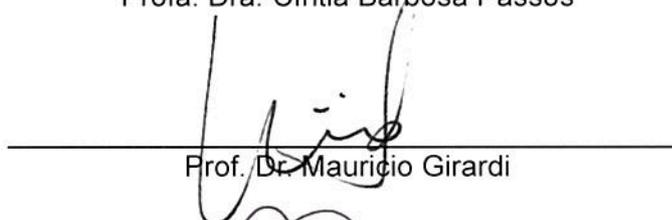
Aprovada por:



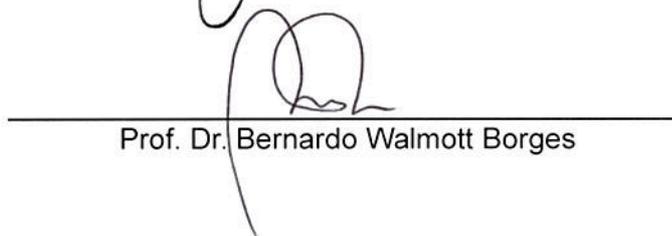
Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres



Profa. Dra. Cíntia Barbosa Passos



Prof. Dr. Mauricio Girardi



Prof. Dr. Bernardo Walmott Borges

Araranguá, SC
Março de 2017

MODELO de FICHA CATALOGRÁFICA

S586p Pereira, Francisca

Proposta de sequência didática visando abordar os fundamentos da teoria de Caos no Ensino Médio / Francisca Pereira - Santa Catarina: UFSC /SC, 2017.

Orientador: Evy Augusto Salcedo Torres

Dissertação (mestrado) – UFSC/ Universidade Federal de Santa Catarina / Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), 2017.

Referências Bibliográficas: f. 74-77.

1. Ensino de Física. 2. Teoria de Caos. 3. Determinismo. I. Pereira, Francisca. II Universidade Federal de Santa Catarina / Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) III. Teoria de Caos: Conceitos e Experimentos.

Dedico esta dissertação meus pais.

Agradecimentos

À minha família, pela compreensão, carinho e apoio não só durante este mestrado, mas por toda minha vida.

Ao meu marido Josiel Bristot Arigoni pela compreensão, companheirismo e pelas horas de estudo compartilhada;

À meu orientador Dr. Evy Augusto Salcedo Torres, pelo apoio, experiência, paciência, sabedoria e disponibilidade.

Aos alunos participantes desse projeto, pela disponibilidade e receptividade ao que foi proposto.

À CAPES, pelo suporte financeiro por meio da bolsa concedida.

RESUMO

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA VISANDO ABORDAR OS FUNDAMENTOS DA TEORIA CAOS NO ENSINO MÉDIO

Francisca Pereira

Supervisor(s):
Evy Augusto Salcedo Torres

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina- campus Araranguá Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Neste trabalho, apresentamos uma proposta de sequência didática para o ensino da Teoria de Caos para turmas de Ensino médio da Educação Básica. O resultado principal do nosso trabalho é um produto educacional destinado a professores de Ensino fundamental que pretendam inovar nas salas de aula apresentando um material multidisciplinar que não é abordado tradicionalmente nas escolas. O nosso produto é constituído por seis atividades e sua versatilidade e tanta que para certas turmas seria possível **uma interação mínima do professor**, devido ao material é em sua grande maioria são atividades experimentais. São seis atividades constituídas com ferramentas de fácil acesso e manuseio pelos professores e alunos, podendo serem trabalhadas de forma independente ou em conjunto, isso vai depender da maturidade da turma escolhida para trabalhar. A sequência didática se inicia com a identificação dos conceitos prévios dos alunos em relação à Teoria de Caos de um questionário, isso permite ao professor adequar o material à realidade da turma; seguidamente são propostas atividades que vão desde a apresentação de um filme, uma aula expositiva e diversos experimentos, todos eles tendo como fundamento teórico subjacente da Teoria do aprendizado Ausubel.

Palavras-chave: Ensino de Física, Teoria de caos, Determinismo.

Araranguá
Fevereiro de 2017

ABSTRACT

PROPOSAL OF DIDTICAL SEQUENCE TO ADDRESS THE FOUNDATIONS OF THE CHAOS THEORY IN MIDDLE SCHOOL

Francisca Pereira

Supervisor(s):
Evy Augusto Salcedo Torres

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

In this work, we present a proposal of a didactic sequence for the teaching of Chaos Theory for high the school classes in Basic Education. The main result of our work is an educational product intended for high school teachers who want to innovate in classrooms by presenting a multidisciplinary material that has not been traditionally addressed in schools. Our product consists of six activities and its versatility and so much that for certain classes it would be possible a minimal interaction of the teacher, because the material is in composed of experimental activities. There are six activities made of materials that are easily accessible and handled by teachers or students, this allow that activities can be developed independently by students ou guide by a teacher, this obviously, it depending on the student's maturity. The didactic sequence all sequence is based on Ausubel's assimilation theory of meaningful learning the sequence begins by proposing a questionnaire about basics concept of chaos theory, this allow to teacher to identify advance organizers and adapt the rest of sequence to the reality of students. The next activities, expositive class and several experiments.

Keywords: Physics Teaching, Chaos Theory, Determinism.

Araranguá

February and 2017

Sumário

Capítulo 1: Introdução	9
Capítulo 2: Fundamentação Teórica	12
2.1 Teoria de Ausubel	12
2.2 Caos	13
2.3 Determinismo.....	14
2.4 Dependência das Condições Iniciais.....	16
2.5 Descoberta de Lorenz	17
Capítulo 3: Metodologia.....	20
3.1 Planejamento e elaboração do Material de apoio para o professor	20
3.1.1 Pré-teste e aula expositiva: A Física do Século 21	20
3.1.2 Filme	21
3.1.3. Aprofundando conhecimento	21
3.1.3.1: Tábua de Galton	23
3.1.3.2: O pêndulo duplo	23
3.1.3.3: A Roda da água	25
3.1.4. Previsão do tempo	26
3.2 Contexto da aplicação	27
Capítulo 4: Implementações da sequência didática	29
4.1 Relato das aulas.....	29
4.1.1 Aula 1	29
4.1.2 Aula 2	31
4.1.3 Aula 3	34
4.1.4 Aula 4	35
4.1.5 Aula 5	39
4.1.6 Aula 6.....	41
4.1.7 Aula 7.....	43
Capítulo 5: Conclusão	45
Capítulo 6: Referências Bibliográficas.....	46
Apêndice A.....	49

Capítulo 1

Introdução

Com desenvolvimento deste material espera-se que haja uma contribuição para a cidadania. Num primeiro momento pretendemos desmistificar o que tange conceitos firmemente arraigados de Mecânica Clássica, onde se pressupõe que conhecidos as condições iniciais de qualquer sistema mecânico, pode-se conhecer com total certeza seu passado, presente e futuro. Com o advento da teoria do CAOS, mostrou-se que, mesmo os sistemas que consideramos ser determinista, não são. Pode-se verifica que um certo grupo de sistemas que apresenta uma dependência sensível às condições iniciais. Um exemplo desse tipo de sistema é a própria Terra. Mesmo que as equações que descrevem as massas de ar (atmosfera) sejam bem conhecidas, não é possível prever com total exatidão as condições climáticas de uma determinada região. No entanto, é possível ter ideia de outras grandezas que caracterizam o sistema, sendo essas as peças estudadas pela Teoria do CAOS (atratores estranhos, ciclos limites, etc.).

O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais significativas de minimizar as dificuldades de aprender e ensinar Física. Isto acontece porque sempre que os alunos têm a oportunidade de aprender por meio de metodologias de ensino que sejam significativas e não abstratas, há maior êxito no produto final do processo de ensino-aprendizagem, o conhecimento.

Apostar em uma nova didática não significa apenas atrair o aluno a uma sensação de novidade que uma atividade experimental pode proporcionar, mas sim utilizar desse artifício para construir um conhecimento mais próximo da sua realidade. Além disso, processos experimentais podem ser facilitadores de um conhecimento mais aprofundado quando relacionado aos

conhecimentos prévios dos alunos, aproximando assim a realidade deste com o conhecimento científico.” (Moraes 2014).

A nova informação e a que já existe serão modificadas na estrutura cognitiva do aluno se ocorrer a interação entre elas. Desta forma, as informações pré-existentes são modificadas pelas novas quando ocorre a aprendizagem significativa.

“Os organizadores prévios podem tanto fornecer “ideias âncora” relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem, ou seja, para explicitar a racionalidade entre os novos conhecimentos e aqueles que o aprendiz já tem, mas não percebe que são relacionáveis aos novos.” (Moreira 2012)

Todas as etapas da sequência didática elaboradas e implantadas pela autora sob a supervisão do orientador do Prof. Dr Evy Augusto Salcedo Torres, que é parte do corpo docente do curso de Mestrado Profissional em Física em Física da Universidade Federal de Santa Catarina – Polo Araranguá. A implementação do projeto ocorreu na Escola de Educação Básica Professora Neusa Ostetto Cardoso em Araranguá, durante o segundo semestre de 2016.

Para melhor estruturar este estudo, dividiu-se a fundamentação teórica em quatro partes: Primeiro trata-se do Referencial Teórico, apresenta uma síntese da Teoria da Aprendizagem Significativa segundo (Ausubel 2003) e (Moreira 1999). As outras três partes se discute brevemente os aspectos da Teoria do Caos, Determinismo e a dependência das condições iniciais.

Seguidamente, se realiza uma breve discussão da confecção e aplicação do produto educacional desenvolvido (uma discussão mais detalhada pode ser encontrada no apêndice A). Além disso, contextualizamos unidade educacional onde o produto foi aplicado.

No capítulo 4 descremos a implementação da sequência didática, relatando as aulas ministradas de acordo com o Material de Apoio ao Professor elaborado. Durante este capítulo uma análise superficial da aplicação do produto a fim de estimar se a nossa proposta serviu para modificar as concepções pré-existentes; devemos destacar que de forma algum nosso objetivo é a validação do produto educacional desenvolvido. Por fim, são analisamos se foi alcançado duas condições que Ausubel: Pré-disposição em apreender e o material potencialmente significativo.

Finalmente são apresentadas as conclusões este trabalho resultou em um material de apoio ao professor utilizando recursos didáticos diversificados que contribuíram com o processo de ensino e aprendizagem do aluno e abordado a Teoria de Caos no ensino médio.

Capítulo 2

Fundamentação teórica

2.1 Teoria de Ausubel

De acordo com Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se relaciona de alguma maneira (não literal e não arbitrária) com as informações pré-existentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Ocorre uma interação entre a nova informação e a estrutura cognitiva do sujeito. A informação já existente na estrutura cognitiva do sujeito serve de ancoradouro para a nova informação, e a aprendizagem significativa vai ocorrer quando a nova informação se ancorar na pré-existente. A aprendizagem significativa se caracteriza por uma interação entre a nova informação e a já existente (Moreira, 1999).

Ausubel deixa claro quais condições necessárias são para que haja aprendizagem significativa. A primeira é que o material a ser aprendido esteja relacionado com o que já existe na estrutura cognitiva do sujeito. Se isto ocorrer ele chama este material de *potencialmente significativo*. Ele deve ser suficientemente não arbitrário e não aleatório. Além disto, o sujeito deve possuir os conceitos necessários para que os novos conceitos do material sejam ancorados. A segunda condição para que a aprendizagem significativa ocorra, de acordo com Ausubel, é que o sujeito manifeste uma *predisposição em aprender*. Com esta condição podemos perceber que, se os estudantes não tiverem a intenção de memorizar o que lhes é ensinado, nenhum material potencialmente significativo vai fazer com que a aprendizagem significativa ocorra. Porém, o contrário também é verdadeiro: mesmo se o sujeito tiver a intenção de aprender significativamente o que lhe é ensinado, isto não será possível se o material não for potencialmente significativo (Moreira 1999).

Para manipular a estrutura cognitiva do sujeito para facilitar a existência de condições para que ocorra a aprendizagem significativa, Ausubel sugere a estratégia chamada por ele de *organizador prévio*. Esta estratégia pode ser constituída por materiais introdutórios apresentados antes do material instrucional em si, em um nível alto de generalização e abstração que serve de ponte entre o conhecimento prévio do sujeito e o campo conceitual que se pretende que o aluno aprenda significativamente. Organizadores

prévios podem ser vistos como pontes cognitivas. Eles podem fornecer ideias âncora relevantes no campo conceitual a ser introduzido. Ele pode servir de ponto de ancoragem inicial quando o sujeito não possui os conceitos necessários para que a aprendizagem significativa ocorra. Sua principal função é a de mostrar ao sujeito a relação entre o conhecimento que ele já tem e os novos a serem apresentados em seguida.

2.2 Caos

No final do século XIX, o francês Heny Poincaré, estudando o comportamento de três corpos, um asteroide sujeito a atração gravitacional do Sol e Júpiter, percebeu que a orbita do asteroide era imprevisível já que dada duas condições iniciais arbitrariamente próximas resultaram no futuro em órbitas muito diferentes. A partir desse trabalho Poincaré dá início ao estudo do que hoje chamamos de Teoria do Caos.

“O Meteorologista Edward Lorenz, do MIT, trabalhando, no início da década de 60, sobre simulações, em computadores, de modelos de previsão de tempo, Lorenz, ao repetir uma série de cálculos, inadvertidamente modificou o número de casas decimais no programa. Após alguns instantes, os gráficos gerados tomaram comportamentos completamente diferentes dos anteriores. Comprovou-se, assim, a enorme sensibilidade do sistema às condições iniciais.” (Thomaz 1993)

A Teoria do Caos estabelece que uma pequena mudança ocorrida no início de um sistema físico pode ter consequências inesperadas no futuro. De acordo Silva (2015): Caos é um padrão de organização dentro de um fenômeno desorganizado.

A palavra “Caos” palavra que tem algumas interpretações fundamentalmente diferentes entre si. Seu significado comum refere-se à desordem e confusão ou, então, ao estado em que a matéria estava antes da criação do Universo (Stewart, 1991). Mas em termos da Física Contemporânea, Caos tem outro significado. Segundo Stewart (1991), caos é um “comportamento estocástico que ocorre num sistema determinístico”. Desta afirmação, temos mais dois conceitos, que podem parecer contraditórios de início, mas que são fundamentais para a teoria: estocástico e determinístico.

Estocástico refere-se à aleatoriedade, ao caos que acontece em um sistema Físico, a uma situação ou em um meio. Por exemplo, quando uma bola de sinuca é acertada pela bola branca e começa a ricochetear nos cantos da mesa, em um movimento que não parece respeitar uma linearidade ou um padrão, parece ficar à margem da aleatoriedade.

Devido ao fato de que estes comportamentos estão presentes em alguns sistemas determinístico, onde os eventos ocorrem de forma previsível, têm-se a impressão de que há uma contradição. No entanto, não há contradição, pois, todas as realizações do sistema são deterministas. O que nós não conseguimos prever é qual dessas realizações é a que acontece.

2.3 Determinismo

Determinismo é um conceito científico que propõe que todo acontecimento é preestabelecido ou que o futuro e o passado são fixos (Silveira, 1993). Newton e Laplace eram grandes apoiadores do determinismo. Eles acreditavam que conhecendo todas as forças atuantes em um sistema e analisando a interação delas era possível prever o que aconteceria com esse sistema no futuro. Isso passava a ideia que o futuro era mesmo fixo e já predeterminado.

O determinismo é um conceito antigo, remontado aos tempos de Descartes (1596 – 1650). Aliás, foi com Descartes que se iniciou o Determinismo Mecanicista. Depois dele, outros filósofos como Leibniz também estudaram e criaram teorias em relação a esse conceito. Mas foi com Isaac Newton (1643 – 1727) que o determinismo ganhou força dentro do meio científico. Sobre isto Santos (2010) diz: “ ... já na antiguidade clássica se discutia a relação entre determinismo e acaso para entender os fenômenos naturais. Com isso, Tales de Mileto conseguiu prever um eclipse em 585 a.C. Esse acontecimento corroborou para um determinismo científico. ”

Newton era um grande entusiasta do determinismo, pois a partir da Mecânica Newtoniana o determinismo se fortificou (Silveira 1993). Com suas leis, Newton podia prever quando um novo eclipse Lunar voltaria a acontecer ou quando um cometa voltaria a passar próximo da Terra. E isso era calculável, porque ele conhecia as forças agindo no sistema em estudo, tornando possível prever quando aconteceria novamente.

“... a concepção determinista é muito antiga, sendo encontrada, por exemplo, nos filósofos atomistas

gregos; ela foi fortalecida pela Mecânica Newtoniana. A teoria de Newton possibilitou representar matematicamente a evolução temporal de inúmeros sistemas e, então, prever estados futuros ou retro dizer estados passados destes sistemas. As corroborações que a Mecânica Newtoniana teve - entre outras, na previsão do retorno do cometa de Halley (cientista contemporâneo a Newton que previu o retorno do cometa que leva o seu nome) - e também o sucesso de suas aplicações tecnológicas, influíram decisivamente para que a concepção determinista do mundo fosse fortalecida.” (Silveira, 1993)

Logo depois de Newton, Laplace (1749 – 1827) deu continuidade a esse conceito, acreditando que o mundo era determinista, Laplace criou um exemplo imaginário, dizendo que se existisse uma inteligência tão grande que pudesse analisar todo o Universo, ela seria capaz de prever acontecimentos futuros. Essa inteligência ficou conhecida como “Demônio de Laplace”.

“Devemos considerar o estado presente do universo como efeito dos seus estados passados e como causa dos que se vão seguir. Suponha-se uma inteligência que pudesse conhecer todas as forças pelas quais a natureza é animada e o estado em um instante de todos os objetos uma inteligência suficientemente grande que pudesse submeter todos esses dados à análise, ela englobaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e também dos menores átomos: nada lhe seria incerto e o futuro, assim como o passado, estaria presente ante os seus olhos (Laplace.1990, p.326).”(SILVERA, 1993)

Tal inteligência é impossível de ser alcançada, pois teria que ser **maior que o Universo existente** para esta conhecer todas as forças atuantes no cosmos. E mesmo assim, é muito difícil prever, por exemplo, onde estará Marte daqui a um milhão de anos.

Cálculos assim se tornam extremamente complicados e com pouca chance de se chegar a um resultado verdadeiro.

“Como disse Laplace, seria necessária uma inteligência infinita... e o determinismo científico já parece mostrar seus limites quando se coloca a questão da estabilidade do movimento dos planetas. Se a questão é saber onde a Terra estará precisamente em um bilhão de anos, parece realmente inacessível...”. (LEYS)

O determinismo é baseado em um conceito chamado de princípio da causalidade (LEYS). O princípio da Causalidade trata das causas que levam determinada situação a provocar um acontecimento.

2.3 Dependência Sensível às Condições Iniciais e atratores

O próprio termo já nos permite ter uma ideia do que se trata. As condições iniciais de um sistema são extremamente importantes para determinar o futuro do mesmo. Antes de nos adentrar no conceito de sensibilidade de condições iniciais vamos discutir brevemente sobre a área da Física que trata destes temas. Isso permitirá nos situarmos cognitivamente.

Segundo Batista (2006), “o sistema é dito dinâmico quando os estados do sistema, incluindo as relações (interações) entre suas partes (elementos), andam com o tempo”, e a área da Física que estuda esses sistemas é conhecido por Dinâmica. Na Dinâmica, temos sistemas lineares e não-lineares. No primeiro caso, a evolução do sistema é diretamente proporcional à própria ação, mas no segundo caso, a evolução do sistema não é diretamente proporcional à própria ação, ou pelo menos, não é simplesmente proporcional ao estímulo aplicado.

“... em mecânica clássica o resultado de uma força agindo sobre um corpo é uma aceleração do corpo proporcional à força atuante porque a massa do corpo é constante e não depende da velocidade do corpo; em mecânica relativística isso não é verdade, já que a massa do corpo depende da sua velocidade.” (Batista, 2006)

Sistemas simples e que têm uma dinâmica não-linear, geram comportamentos caóticos. Por serem extremamente sensíveis e dependentes das condições iniciais esses sistemas parecem evoluir para a aleatoriedade. Porém, mesmo assim, ele não fica entregue a aleatoriedade, possuindo uma ordem subjacente que coordena o sistema.

Um sistema caótico se comporta de forma comum de início, mas com o passar do tempo ele se mostrará totalmente diferente do esperado.

Uma propriedade interessante dos chamados sistemas caóticos é que muitos deles, independentemente da sua particularidade e das condições iniciais utilizadas, evoluem para estados denominados atratores, que não depende das condições iniciais, sistemas podendo evoluir para um mesmo comportamento característico. Alguns atratores são simples pontos dentro do **espaço de fase**, já outros são estruturas geométricas complexas. Além disso, esses atratores podem ser caóticos, que aparecem apenas após o começo do caos, ou não caóticos, que são previsíveis e de trajetória regular (Alves 2011).

2.4 Descoberta de Lorenz

Edward Lorenz (1917 – 2008), um meteorologista, matemático e filósofo estadunidense, analisava o comportamento atmosférico, tentando desenvolver um modelo simples que lhe permitisse prever fenômenos meteorológicos. Ele trabalhava para o Instituto Tecnológico de Massachusetts e para auxiliar em seus estudos de previsões fazia uso de computadores e equações diferenciais. Em seus estudos, Lorenz conseguiu prever o tempo usando apenas três variáveis em suas equações diferenciais: temperatura, pressão atmosférica e velocidade dos ventos (TÔRRES).

Com os dados necessários em mão, Lorenz plotou um gráfico que previa como o clima se comportaria em função do tempo. Após algumas simulações ele notou que os resultados eram notadamente diferentes ao serem aplicadas as mesmas condições iniciais de temperatura, pressão atmosférica e velocidade dos ventos. Isto o intrigou, pois, ao inserir as mesmas condições iniciais, o gráfico deveria ter a mesma forma que o anterior, caso contrário o determinismo havia falhado. Ao analisar o que aconteceu, Lorenz percebeu que os dados do segundo gráfico tinham sido arredondados pelo computador, perdendo a precisão de antes, gerando assim um erro.

“Lorenz descobriu, por acaso, que uma mesma

equação para dinâmica meteorológica fornece, depois de um adequado tempo de evolução, resultados bastante diversos para condições iniciais ligeiramente diferentes (Gleick, 1989; Lorenz, 1996). Assim, Lorenz, descobriu que séries temporais para previsões climáticas dependiam sensivelmente das condições iniciais. ” (UEMA, 2004)

Com os dados não tão precisos o gráfico seguiu a mesma curvatura que o anterior, mas a partir de certo momento essa curva começou a se modificar tornando-se muito diferente do primeiro gráfico. Lorenz percebeu, depois de algum tempo de estudo, que apesar das condições iniciais serem as mesmas, percebeu uma pequena alteração nos dados geraria resultado final totalmente diferente. A esse comportamento chamamos de Dependência Sensível às Condições Iniciais. Falaremos com um pouco mais detalhe dessa característica adiante no texto.

Lorenz notou que as condições iniciais alteraram o resultado, mas isso não quer dizer que devemos abandonar o Determinismo e dizer que o mundo é um caos e que não podemos mais prever o estado futuro de um sistema. No caos determinístico o determinismo e a imprevisibilidade coexistem (UEMA, 2004), como já ressaltamos.

Uma simples alteração, por menor que seja, em determinado momento, vai alterar todo um estado futuro e as consequências vão ser totalmente diferentes. Podemos ter duas situações idênticas, mas uma simples diferença nas condições iniciais, com o passar do tempo, vai modificar totalmente os destinos das duas situações. Isso nos faz voltar à definição de caos (comportamento estocástico que ocorre num sistema determinístico) e compreender que por mais que pareça contraditório, ela está coerente.

“A teoria do caos determinístico não é uma teoria da desordem ou do caos primordial. Nela, determinismo e imprevisibilidade coexistem. O determinismo está presente porque a dinâmica do sistema é fornecida por equações ou por regras bem definidas. A imprevisibilidade ocorre porque há dependência sensível às condições iniciais (d.c.i.), isto é, devido à presença de não-linearidades no

sistema, pequenas diferenças nas condições iniciais são amplificadas exponencialmente e, para um tempo suficientemente longo, trajetórias do sistema, partindo de condições iniciais ligeiramente diversas, se distanciarão. Sistemas que apresentam essa sensibilidade às condições iniciais são chamados caóticos. Assim, leis de evolução deterministas podem levar a comportamentos caóticos, inclusive na ausência de ruído ou de flutuações externas.” (UEMA, 2004)

Apesar de vivermos em um mundo determinístico, regido por leis e equações matemáticas, que descrevem uma certa linearidade, percebemos fenômenos que não parecem ter um padrão. Apesar disso, ao analisarmos melhor, quase todos esses fenômenos, que parecem caóticos de início, possuem um padrão e ele se repete com o decorrer do tempo.

“Devido à extrema sensibilidade às condições iniciais e aos parâmetros do sistema, um sistema caótico pode parecer ter um comportamento completamente aleatório. Mas há uma ordem subjacente em tal comportamento. Por exemplo, números aleatórios gerados por computador parecem não ter qualquer tipo de ordem, quando de fato os números são produzidos de uma maneira muito ordenada e determinística.” (BATISTA, 2006)

Isso quer dizer que mesmo em um sistema que pareça caótico, por ele ser governado por leis deterministas, é possível controlá-lo. Segundo Batista (2006), através de métodos da dinâmica não linear e a teoria do caos determinístico podemos fazer análises e modelagens de fenômenos caóticos.

Capítulo 3

Metodologia

Este estudo procurou planejar, construir e aplicar uma sequência didática sobre Teoria do Caos destinada a alunos do ensino médio, tendo como substrato teórico a proposta de D. Ausubel. Em nossa sequência didática propomos a utilização de aula expositiva, filme e várias experiências práticas, sendo que todo material foi selecionado e organizado de forma a se relacionar com estrutura cognitiva pré-existente do sujeito; desta forma, segundo Deivid Ausubel, esperamos potencializar o aprendizado.

3.1 Planejamento e elaboração do Material de apoio ao professor

Para desenvolver os experimentos procurou-se utilizar material de baixo custo de forma a tornar acessível e atrativa, a outros professores, a sequência desenvolvida. Todas as práticas elaboradas citadas nesse capítulo possuem roteiros de desenvolvimento e aplicação, disponíveis no material de apoio ao professor (Apêndice A), sendo que nesta seção somente falaremos brevemente da elaboração do material.

3.1.1 Pré-teste e aula expositiva, *A Física do século 21*

Inicialmente, foi montado um pré-teste, com intuito de determinar o grau de conhecimento de cada aluno em relação aos conceitos da teoria de caos a serem tratados durante a sequência. As argumentações dos alunos irão orientar o professor nos ajustes e desenvolvimento da próxima atividades.

Em seguida, propomos uma aula expositiva que objetiva discutir o conceito de determinismo na Física e a existência de vários fenômenos complexos na qual a Física Clássica não consegue tratar de forma eficiente. Neste ponto foi elaborada uma aula levando em consideração os resultados alcançados do pré-teste. [Aula contém figuras animadas\(dinâmicas\), vídeos exemplificando o determinismo na Física Clássica, que possibilitem a discutir a existência de fenômenos simples, porém de enorme complexidade, nos quais as leis deterministas clássicas não levam, necessariamente, a definições profundas.](#)

[Esta aula contém figuras animadas, vídeos exemplificando o desenvolvimento é alcança que o determinismo na Física Clássica possui é a partir daí se discute a existência](#)

de fenômenos simples, porém de enorme complexidade, nos quais as leis deterministas clássicas não levam, necessariamente, a conclusões profundas.

3.1.2 Filme

Nesta segunda atividade, revisitamos de forma lúdica os conceitos de causalidade e determinismo mediante a utilização de material audiovisual. Escolhemos a utilização do filme “As férias da minha vida”, mesmo sabendo que existem outros filmes que abordam esta temática específica (por exemplo, “O efeito borboleta”), pois é uma comédia que tem um único **ponto de bifurcação**, utilizando aqui a terminologia própria da teoria de caos. De acordo com várias pesquisas relacionadas à aplicação de Devid Ausubel, filmes podem ser utilizados como organizadores prévios e dessa forma auxiliariam no desenvolvimento de novos conceitos dentro da estrutura cognitiva do indivíduo.

A seção de apresentação do filme é seguida por uma discussão onde se parte dos conceitos sobre determinismo e causalidade que o filme apresenta de forma simples. No final aplica-se um pequeno questionário a fim de observar se houver alguma mudança cognitiva, utilizando como forma de referência o primeiro teste aplicado.

O filme irá contribuir na interação dos alunos com as atividades que serão trabalhadas e com aulas prévias já aplicadas. Despertando a curiosidade dos estudantes e organizando os conceitos pré-existentes.

Resumidamente, o filme tem duração de uma hora e trinta minutos e tem como personagem principal a Geórgia Byrd, personagem interpretada por Queen Latifa. A história é uma comédia dramática e se desenrola em torno da vida de Georgia. Georgia vive uma vida monótona na qual, devido as responsabilidades do cotidiano, deixa de lado seus sonhos, mas não suas esperanças, as quais traduz em letras que num caderno que ela chama de livro das possibilidades. Após uma visita ao médico ela se descobre portadora de uma doença terminal e, a partir desse momento, ela decide tornar realidade todas os sonhos descritos no caderno.

3.1.3. Aprofundando o conhecimento

Para despertar pré-disposição em aprender dos alunos, foram elaborados experimentos de baixo custo, que os alunos com auxílio de roteiro procedimentais possam manipular o objeto de estudo. Para construção desses experimentos foram necessários dois anos de pesquisa e elaboração.

Os experimentos escolhidos para serem trabalhados, foram Tábua de Galton, Pêndulo duplo e Roda de água. Logo, iniciou-se a montagem do primeiro experimento criado foi a Tábua de Galton, que consiste de pregos fixos, em forma ordenada, sobre uma tabua. A maior dificuldade na sua construção foi manter o ângulo reto entre o prego e a madeira. Antes de conseguir uma versão definida do experimento, foram construídos três modelos diferentes, visando sempre obter o melhor produto com menor custo possível. Nossa última versão foi construída sobre uma superfície plana de isopor e utilizando alfinetes, em lugar dos pregos.

O segundo experimento montado foi o pêndulo duplo. Neste caso também foi necessário algum tempo de desenvolvimento uma vez que as primeiras versões não se comportavam como esperado; o problema identificado foi atrito excessivo entre as partes moveis dos pêndulos. A solução para esse problema foi a utilização de rolamentos de skate, conseguindo dessa forma um produto satisfatório, porém com um custo mais elevado. A versão final do produto foi construída em acrílico, com elevado custo de aproximadamente 350 reais por conjunto o que nos levou a utilizar a versão anterior, que era construída em madeira. A versão em acrílico foi utilizada para servir de demonstração para os alunos e as versões em madeira foram construídas em número suficiente de forma a poder atender mais de um grupo de alunos.



Figura 3.1: Pêndulo duplo de acrílico montado e conjunto de braços no lado direito. Fonte: Arquivo da autora.

A terceira prática a ser trabalhada foi roda da água. Este é outro experimento do curso acesso fácil de elaboração. A roda de água foi construída utilizando uma roda de bicicleta à qual foi acoplado um conjunto de copos, uniformemente distribuídos em torno de seu perímetro. O maior problema na confecção deste experimento está no material dos copos, uma vez que nem todo copo admite ser furado sem quebrar.

3.1.3.1 Tábua de Galton

Francis Galton (1822-1911) idealizou uma placa com pregos fixados em posições alternadas e em fileiras, de forma que formasse um triângulo equilátero entre os pregos, com mostra figura 3.4. Na base dessa placa, entre cada prego, ficaria uma canaleta ou caixinha para armazenar as bolinhas lançadas.

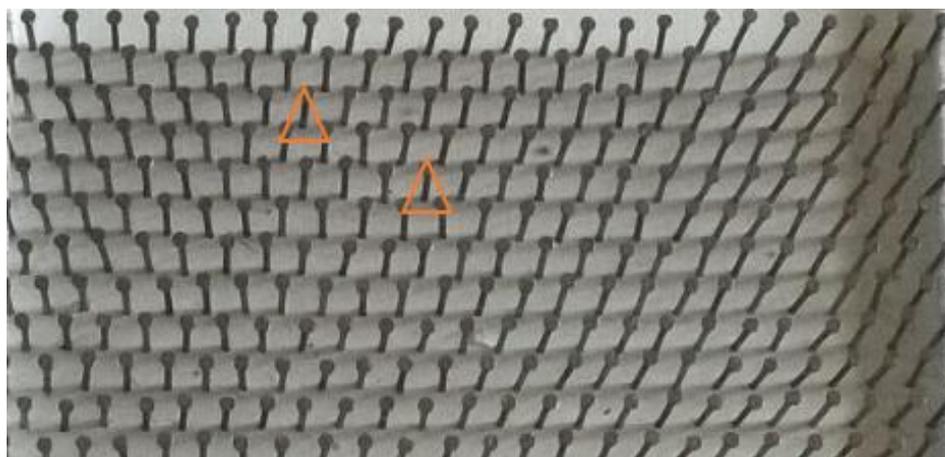


Figura 3.2: Formato da equilátero (em forma de triângulo, ilustrado acima), por onde as esferas irão descer. Fonte: Arquivo da autora

Como a essência do experimento consiste em deixar cair as esferinhas entre os pregos, as bolinhas utilizadas devem ser escolhidas de forma a permitir o seu livre trânsito entre os pregos.

Os alunos irão receber o Kit da tábua de Galton para realizar o experimento em pequenos grupos, sendo que o objetivo principal desta atividade é determinar a trajetória de uma esfera, à medida que se desloca entre os pregos.

3.1.3.2 O Pêndulo Duplo

Este é um experimento que exemplifica bem os conceitos da Teoria do Caos determinístico, principalmente a dependência sensível às condições iniciais. Apesar de

existir o pêndulo simples, o seu uso como instrumento para demonstrar a sensibilidade a condição inicial é difícil, ao contrário do pêndulo duplo (ou pêndulo caótico como é também conhecido), que apresenta uma dinâmica mais complexa em relação ao pêndulo simples (Oliveira 2009).

“Modelos matemáticos de pêndulos são utilizados para estudos de diferentes sistemas físicos. Isso torna o estudo do comportamento pendular importante, pois os avanços obtidos na análise de seu modelo matemático podem ser aplicados a outros sistemas, cujos modelos matemáticos sejam isomórficos aos modelos utilizados para sistemas pendulares.” (OLIVEIRA, 2009)

Pêndulos são objetos muito utilizados para estudos por físicos e matemáticos. Além disso, ele é de fácil construção, possibilitando que professores o utilizem em sala de aula.



Figura 3.3 Um pêndulo duplo é composto por uma base e duas hastes móveis presas entre si.

Fonte: Arquivo da autora

O pêndulo duplo é composto por duas hastes móveis, que quando colocados em movimento, realizam oscilações caóticas. Observa-se que a trajetória percorrida pelas hastes depende da velocidade com que estas iniciaram o movimento, assim como da posição da qual são soltas. Como mostrado na figura acima, nossos pêndulos são montados em uma base que permite colocar em movimento simultaneamente dois deles. Isso possibilita ao estudante notar que uma variação ligeira nas condições iniciais de um

dos pêndulos acarretará numa trajetória que, ainda que inicialmente similar, com o passar do tempo irá divergir.

“Observa-se que pequenas diferenças na posição inicial de dois lançamentos do pêndulo produzem movimentos que, apesar de inicialmente semelhantes, tornam-se completamente distintos após um certo intervalo de tempo. O sistema constituído pelo pêndulo e a configuração magnética apresentam dependência sensível às condições iniciais.” (UEMA 2004)

Foram desenvolvidos pêndulos em quantidades suficientes de forma a montar vários kits. Esses kits foram distribuídos entre os alunos que podem analisar individualmente a trajetória descrita pelos braços no seu movimento. Cada kit foi construído com três pares de braços de diversos tamanhos a fim de verificar a importância deste parâmetro no movimento do pêndulo.

3.1.3.3 Roda d'água

A roda d'água consiste em uma estrutura circular que pode ser madeira, metal ou outro tipo de material, com recipientes espalhados de forma simétrica na circunferência da estrutura. Essa roda é colocada próxima de uma fonte de água, de forma que consiga encher um dos recipientes.



Figura 3.4: Roda d'água, com os copos de perfuração média. Fonte: Arquivo da autora.

Assim que os primeiros recipientes são enchidos a roda começa a se movimentar, permitindo que outros recipientes sejam preenchidos com água. Mas cada recipiente possui um furo no fundo, que permite o escoamento da água. Assim dependendo de qual vazão da água o movimento executado pela roda irá variar, podendo passar de uniforme para caótico.

A roda d'água, foi elaborada para uma aula demonstrativa uma vez que nem toda escola tem um local apropriado para que todos os alunos, ou um grupo deles, possam, simultaneamente, interagir diretamente com o equipamento. No entanto recomenda-se permitir aos alunos, após a demonstração, o seu manuseio, afim de enriquecer tornar ainda mais significativo o aprendizado. Esta experiência foi guiada pelo professor (Anexo A). Durante essa atividade o professor deve fazer perguntas de forma a estabelecer uma conexão com aulas prévias. O processo de montagem e o desenvolvimento dessa prática está na sequência didática no Anexo A.

3.1.3.4 Previsão do tempo

A meteorologia é o estudo dos processos atmosféricos terrestres, os fenômenos que ocorrem na atmosfera e as interações entre seus estados físico e químico, nos resulta em nossa previsão do tempo.

Nesta experiência os alunos devem coletar informações sobre previsão climática durante uma semana. A ideia é perceber que a previsão climática é fortemente determinada pelo tempo entre o momento da previsão e o dia ao qual se refere a previsão. Assim espera-se que uma previsão realizada de sexta para sábado seja melhor do que uma previsão de segunda para sábado. No momento da discussão o professor deve explicar que a medida que o tempo passa as “trajetórias” no espaço de fase, (é claro o uso desse termo permite remeter o aluno à experiência com a tábua de Galton) seguidas pelo clima e da previsão irão divergir. Nesse ponto recomenda-se utilizar a tábua de Galton para exemplificar este fato, como explicado no apêndice A. Finalmente o professor deve explicar que além das condições iniciais há limitações em relação ao modelo e equipamentos utilizados pelos meteorologistas para prever o clima.

3.2 Contexto da aplicação

A Escola de Educação Básica Professora Neusa Ostetto Cardoso foi criada 1958. Os 900 alunos que frequentam a escola são oriundos de famílias de trabalhadores do comércio, da indústria e, principalmente, da agricultura. A escola tem como objetivo acompanhar o processo ensino-aprendizagem na relação professor-aluno e os procedimentos a serem tomados em cada caso, visando avaliar o desenvolvimento da aprendizagem do aluno.



Figura 3.5: Fachada da Escola Educação Básica Professora Neusa Ostetto Cardoso.
Fonte: Arquivo da autora.

A proposta pedagógica da escola leva em conta a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e o Estatuto da Criança e do Adolescente. A escola oferece o Ensino Fundamental e Médio, observadas em cada caso, a legislação e as normas especificamente aplicáveis no planejamento de cada ano letivo. A escola busca desenvolver no educando suas potencialidades assegurando ao mesmo o prosseguimento da educação iniciada na família, partindo da realidade da comunidade e adaptando conteúdo para um melhor aprendizado.



Figura 3.6: Jardim de entrada da escola. Fonte: Arquivo da autora.

Na turma de primeiro ano, na qual foi aplicado o material era constituída por 10 alunos com idades entre dezesseis e dezoito anos. Uma característica dessa turma é que era composta por alunos que já estão no mercado de trabalho, por isso as aulas eram realizadas no período noturno das 19:00 horas até as 22:30 horas.

Capítulo 4

Implementação da sequência didática

Neste capítulo apresentarei um relato detalhado das atividades realizadas, juntamente com alguns dados coletados durante a aplicação da nossa sequência didática. Vale ressaltar que não houve a intenção, em momento algum, de avaliar o material desenvolvido. No entanto, a partir de alguns questionários aplicados durante a aplicação sondamos, superficialmente, se a metodologia seguida despertou à vontade em apreender o tema em questão. A coleta de dados foi diversificada, dando o relato dos alunos nos questionários sobre os experimentos e observações do professor durante as aulas. Os dados serão apresentados de forma individual para cada experimento realizado.

4.1: Relato das aulas

Inicialmente os alunos foram convidados a participar da sequência didática relacionada ao tema. Foi entregue aos 10 alunos o Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento (TCLE Apêndice- A). Como grande maioria era menor de idade, eles encaminharam para os seus responsáveis legais para assinarem termo de autorizando a participação de seu filho na sequência didática.

4.1.1 Aula 1

A sequência se inicia com aplicação do pré-teste (apêndice A), cujo objetivo é identificar os conceitos pré-existentes sobre os temas que serão abordados na sequência didática. Esta atividade também serviu para identificar os subsunçores (conhecimento prévios) dos alunos através de dez questões abertas que foram formuladas, com o intuito de explorar algumas percepções prévias dos discentes em relação ao tema que será trabalhado, determinismo e a teoria do caos.

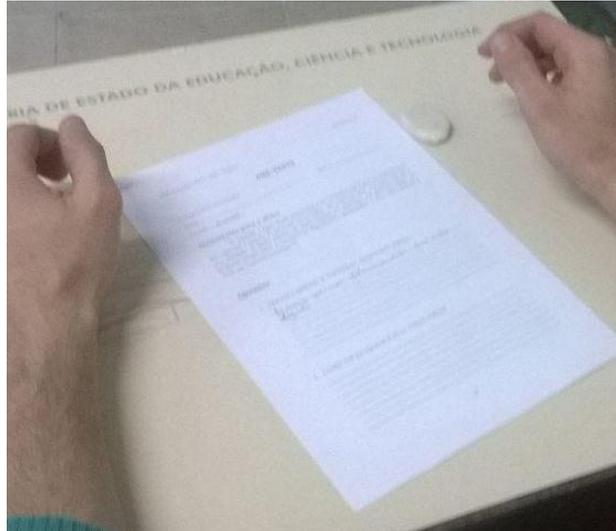


Figura 4.1. Execução da primeira atividade.

Fonte: Arquivo da autora.

No pré-teste observou-se que a maioria dos estudantes não tinha conhecimento sobre caos e determinismo. Durante a realização da atividade os alunos debatiam com os colegas para poderem responder as questões. O resultado do pré-teste auxiliou no ajuste das próximas atividades, sendo possível à autora identificar que os alunos apresentaram bastantes conceitos distorcidos como se mostra na resposta dada por um dos alunos:

Pergunta: Sabe você o significado de determinismo, caso afirmativo, explique.

Resposta aluno A: É uma pessoa determinada que não desiste

Pergunta: Como explica você que o goleiro de um time de futebol saiba onde se jogar para pegar bola, ele é adivinho, explique?

Resposta aluno A: Por que ele treina todos dias.

Pergunta: Já escutou o termo caos, caso afirmativo, o que você entende por caos?

Resposta aluno A: Destruição

(colocar outras resposta)

4.1.2 Aula 2

O segundo encontro iniciou-se com uma aula expositiva sobre a Física do século 21 desenvolvida de acordo com o pré-teste. Nessas aulas foram abordados os conceitos de determinismo e da Teoria do Caos na Física, utilizando vídeos, o experimento de Hooke e figuras animadas.

Inicialmente foi perguntado aos alunos se “*podemos prever o futuro*”. O grupo de

alunos respondeu que *não*. Como já haviam respondido no pré-teste, foi feita uma segunda pergunta: “*Em um jogo de futebol um jogador da lateral direita chuta a bola para o lateral esquerdo ambos correndo, por acaso o lateral direito não prevê que o esquerdo estará na posição e é para lá que ele chuta?* ” O grupo de meninos respondeu “*ele sabe onde o colega está, com muito treino. E pelo fato deles estarem correndo juntos*”. No terceiro slide foi apresentado pedacinho da aula ministrada pelo professor Walter Levin do MIT, que ilustrava a energia se transformando de energia potencial em energia cinética e voltando novamente a se converter em potencial. Os alunos haviam trabalhado com professor titular sobre o assunto, quando perguntei aos alunos “*Como o professor soube que ao soltar a bola não bateria nele quando voltasse*” os alunos responderam “*por causa do atrito com o ar, a transformação de energia se transforma de potencial para cinética, quando a esfera estiver no ponto mais alto, maior a energia potencial e menos cinética e no ponto mais baixo é o contrário*”. Nesta resposta vemos que os alunos apresentam dificuldades em abstrair o problema. Eles não percebe que as perdas por atrito são baixas, comparadas à energia do sistema, além de dar uma resposta baseada nas definições mostradas em aulas, deixando de lado o conceito que seria mais imediato, a conservação de Energia Mecânica. Na projeção 4 à 6 foi abordado pêndulo de galileu, o pêndulo estudado por Robert Hooke ou Lei de Hooke e o pêndulo cônico na figura 4.3.



Figura 4.3: Aula ministrada no laboratório de informática, explicando a Lei de Hooke.

Fonte: Arquivo da Autora

O determinismo intrínseco no sistema massa-mola, através da Lei de Hooke, nos

permite determinar a massa dos objetos a partir da medida do comprimento da mola. Aproveitamos para demonstrar, na prática, o determinismo resultante da Lei de Hooke. Para isso utilizamos duas molas com constante elásticas diferentes, cadernos e estojos da turma. Fixamos uma das extremidades da mola em uma cadeira e no outro extremo da mola, colocamos os diversos materiais acima citados, (figura 4.4). Discutimos que poderíamos facilmente determinar a massa de qualquer objeto se soubéssemos a massa pelo menos de um deles e com isso seríamos capazes de calibrar nossa balança.



Figura 4.4: Realizando o experimento sobre a Lei de Hooke.

Fonte: Arquivo da autora.

Nas seguintes transparência foi abordada Lei da Gravitação de Newton, onde os alunos comentaram que professor já havia trabalhado com este tema no início do ano letivo, em seguida foi mostrado aos alunos que podemos colocar um satélite em órbita num cometa, com foi feito com a sonda Rosetta, ou mesmo podemos coordenar a colisão de prótons no LHC (Grande Colisor de Hádron).

Nas últimas transparência foram ilustradas fotos de distribuição de padrões na natureza, como por exemplo modelo Ising, uma amostra de Permalloy (multicamada de Ni₈₀Fe₂₀), uma zebra, padrões na areia formadas pelo vento, Multicamada de Fe/Gd e FeGdTb, peixe balão do congo.

Multicamada de Ni₈₀Fe₂₀

Nada se cria, tudo se copia!!



Figura 4.5: Interação entre a relação modelo de Ising e as listras de uma zebra.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Patterns_in_nature

Foi perguntado aos alunos “*Se há relação entre o modelo de Ising, as listras da zebra e os padrões na areia formadas pelo vento?*” Quando os alunos observaram a Figura 4.6, responderam “Aluno A: *os desenhos são parecidos*, Aluno B: *São o formato é igual, mas os reagentes são diferentes*”



Figura 4.6: Padrões na areia formadas pelo vento.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Patterns_in_nature

Foram apresentados aos alunos padrões ramificados, por exemplo os pulmões e as ramas de uma árvore, chamamos a atenção para as suas similaridades. Esses padrões são conhecidos na Física como Fractais, é possível encontrar várias cópias da mesma figura dentro de si mesma.

4.1.3 Aula 3

Nesta atividade os alunos foram direcionados para sala de informática para assistir ao filme “As Férias da minha vida”, finalizando a noite respondendo ao questionário referente ao filme.

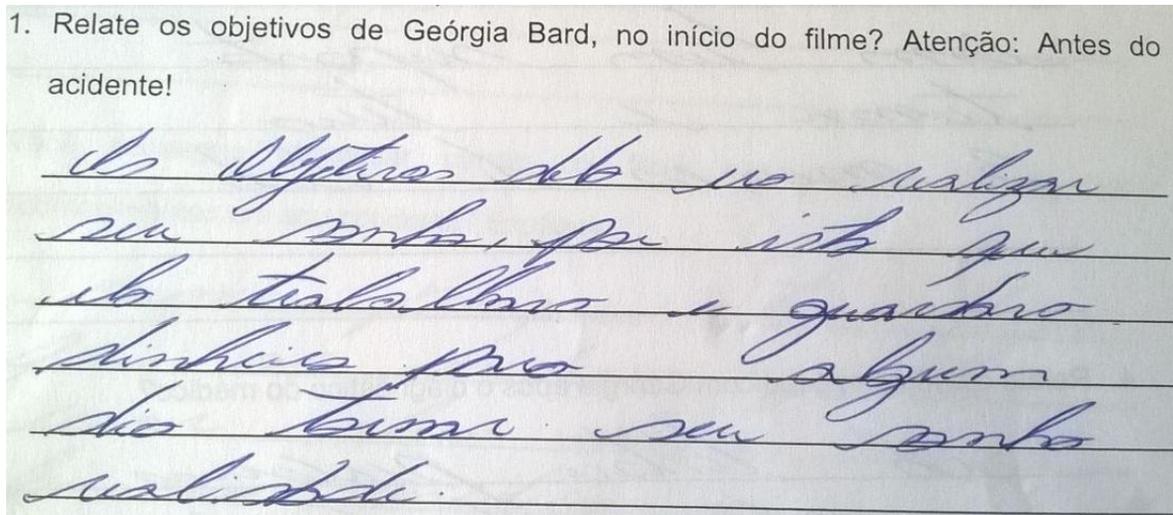


Figura 4.7: Dados recolhidos no questionário: Introdução aos conceitos de Causalidades e Determinismo mediado por um filme. Fonte: arquivo da autora.

4.1.4 Aula 4

Foram revisando os conceitos abordados nas aulas anteriores, em seguida foi dada continuidade nas atividades. A turma foi dividida em dois grupos, sendo que para cada grupo foi entregue um kit de pêndulos duplo. Diferentemente das atividades anteriores, os alunos manipularam diretamente o objeto de estudo, no final desta aula eles responderam o questionário que os guiou na observação dos comportamentos caóticos do pêndulo. Essa atividade foi realizada na sala de aula.

O roteiro experimental (Apêndice A), descreve cada um dos procedimentos experimentais separados em partes, A, B e C com seus questionários, que consistem em analisar o movimento dos braços dos pêndulos.



Figura 4.9. Os alunos manipulando os braços dos pêndulos.

Fonte: Arquivo da autora

Os alunos leram a introdução em grupo, onde um aluno leu em voz alta e outros colegas acompanharam a leitura. Em seguida deram início á prática analisando o comportamento do pêndulo simples. Primeiro os alunos observam a oscilação do pêndulo, repetindo quatro vezes o mesmo procedimento variando os ângulos de início (medido em relação a posição de repouso do pêndulo), Figura 4.9, anotando as observações na tabela dos roteiros que receberam e por último responderam ao questionário.

Ângulo	Observação
30°	Eu e Meu colega concluímos que o Pêndulo No ângulo de 30° oscila em uma velocidade constante No começo e começa a Perder a Velocidade durante a oscilação e saltar os dois Pêndulos juntos ou alguns Problemas e os dois Pêndulos Não oscilam Juntos

Figura 4.10. Dados da tabela do grupo A, durante o experimento A.

Fonte: Arquivo da autora.

A mudança do ângulo afeta o movimento realizado pelas bases?

Sim, quanto maior o ângulo maior a velocidade

Figura 4.11: Dados do questionário A, durante o experimento brincando com o pêndulo duplo.

Fonte: arquivo da autora.

Na etapa B, os alunos analisaram o movimento executado por um pêndulo duplo, utilizando uma base e braço P1. Os alunos tinham que soltar a união de pêndulos de acordo com Figura 4.9. Os alunos repetiram o procedimento da etapa A nos ângulos de 30° , 45° , 60° e 90° , porém mantendo o mesmo ângulo inicial igual para análise.

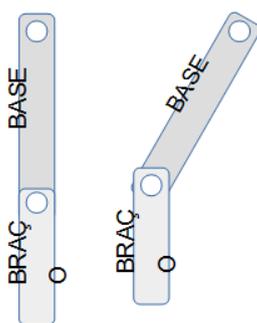


Figura 4.9. Disposição inicial e lateral do braço e a base.

Fonte: Arquivo da autora

Após todas as observações os alunos, responderam cinco perguntas do questionário B, direcionadas a Base e braço P1, Figura 4.13.

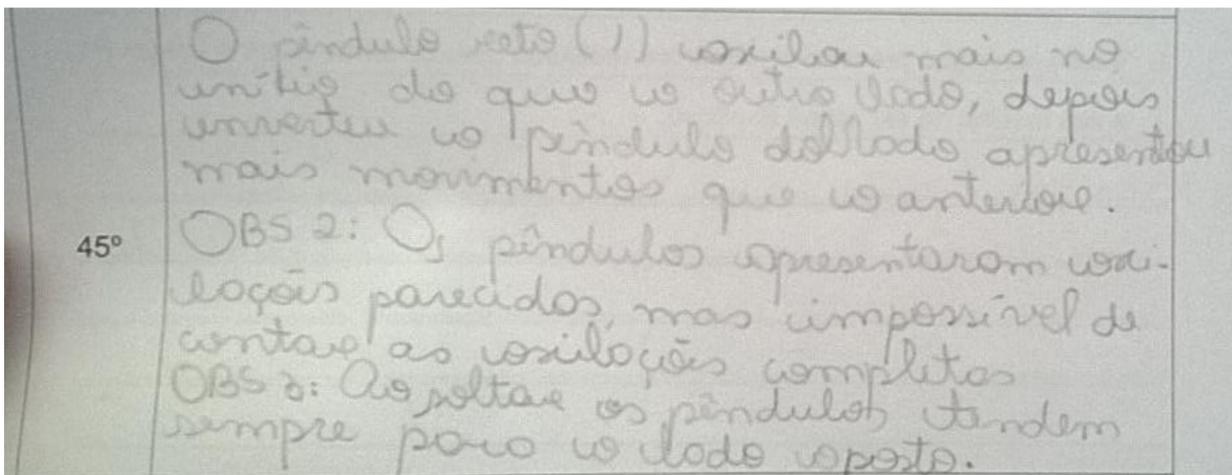


Figura 4.12: Dados da observação dos alunos no experimento B.

Fonte: Arquivo da Autora.

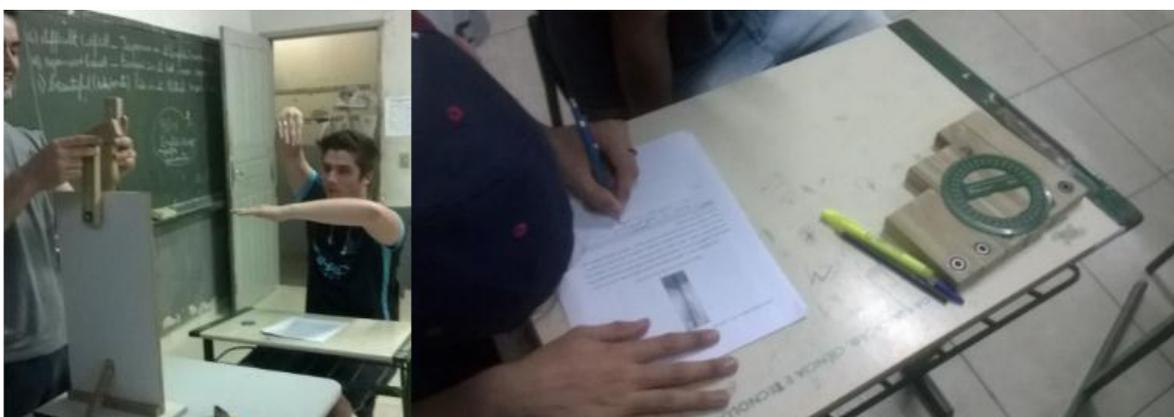


Figura 4.13: A figura do lado direito mostra os colegas conversando sobre procedimento experimental. Ao lado os alunos preenchendo a tabela com as observações realizadas. Fonte:

Arquivo da autora.

Nesta última etapa, os alunos compararam o movimento dos pêndulos duplos de comprimentos de braços diferentes. No lado esquerdo do suporte era colocado uma base e o braço P1. No lado direito montaram base e um braço dos pêndulos P1, P2 e P3, repetindo cada procedimento duas vezes com cada conjunto de pêndulos. Após terem feito todas as observações com os diferentes braços, responderam às últimas três perguntas do questionário.



Figura 4.10: Na figura do lado direito os alunos arrumando os braços para soltar e no lado esquerdo trocando o braço para seguir com atividade. Fonte: Arquivo da autora.

No experimento A, os grupos fizeram suas observações, descrevendo em uma tabela os quatro procedimentos realizados em cada ângulo (Figura 4.11). Nesta primeira etapa os alunos conseguiram realizar sozinhos e em grupos separados. Todos membros das duas equipes ficaram interessados pelos assuntos, nos debates para preencher o questionário. Um dos ângulos que mais chamou dos estudantes foi de 90° , pois quando soltava as bases, não se movimentavam para o mesmo lado.

Nesta segunda etapa, B, os alunos utilizaram base acoplado no pêndulo P1. Os alunos soltaram os dois pêndulos duplos do mesmo ângulo, mas um lado do suporte diferente do outro, (Figura 4.8). Nesse procedimento experimental os grupos observaram apenas um kit de pêndulos. Após realizar todas as observações nos diferentes ângulos os grupos responderam ao questionário B.

Após o término das atividades foi levantada uma discussão de interação entre o filme e comportamento dos pêndulos.

4.1.5 Aula 5

O início deste encontro foi marcado por uma breve revisão sobre desenvolvimento das atividades das aulas anteriores. Os estudantes se mostraram bastante participativos.



Figura 4.12: Os alunos ajudando a montar o experimento. Fonte: Arquivo da Autora.

Este encontro foi realizado no pátio da escola, onde a autora realizou o experimento da Roda d'água, relacionada a um regime caótico. Os alunos receberam um texto introdutória da atividade, em seguida foi iniciada demonstração da prática. Durante a realização os alunos fizeram anotações no roteiro disponibilizados.



Figura 4.13: Os alunos dialogando em grupo e fazendo anotações da experiência.

Fonte: Arquivo da autora.

O experimento possui três conjuntos de copos perfurados, nas duas laterais para fixação na roda com um parafuso e porcas. A perfuração do fundo dos copos é separadas em pequeno, médio e grande. Diversificando a coleta de dados foi separada em três

procedimentos. No primeiro foi utilizado o conjunto de copos que possui o furo maior, soltando água com baixa vazão e depois aumentando-o, para que os alunos possam observar e anotar o comportamento da roda. Esse procedimento foi realizado com os outros copos.



Figura 4.14: Os alunos interagindo no experimento, utilizando os copos médios. Fonte: Arquivo da autora

Os alunos foram questionados se este experimento teria alguma relação com o pêndulo duplo: Aluno B “*Achei parecido com pêndulo duplo, quando acho que ele vai estabilizar, os pêndulos realizam vários loops. Neste a roda vai de um lado para outro, coisa de louco!*”. Aluno C “*Concordo com o colega, mais que me deixa curioso que quanto mais água coloca, mais rápido ele gira e o pêndulo quando mais alto mais maluco fica os pêndulos*”. Já outros colegas não se pronunciaram, mas pediram para refazer o experimento e ajudaram os colegas com preenchimento do questionário. Os alunos aparentemente estão correlacionando o comportamento caótico com desordem induzido pela condição inicial.

Finalizaram o experimento com o preenchimento do questionário, discutindo no grande grupo as observações realizadas durante o desenvolvimento das atividades. A aula foi finalizada com uma conversa sobre o experimento e os alunos refazendo a prática.

4.1.6 Aula 6

No início deste encontro foi realizado uma pequena revisão. Em seguida foi

apresentado o kit da tábua de Galton, dando início a realização da prática. Como neste dia estavam presentes seis alunos, foi montado apenas um grupo.



Figura 4.15: Os alunos manipulando a tábua de Galton. Fonte: Arquivo da autora.

Os estudantes iniciaram com a leitura de familiarização com a tábua de Galton, em seguida deram continuidade no desenvolvimento da prática, que está dividida em três etapas: No primeiro momento os alunos analisaram a trajetória das esferas durante a descida. Antes de iniciar o experimento, os alunos preencheram uma tabela, tentando prever em qual prego de cada linha a esfera iria bater. Na segunda parte do experimento eles repetiram o procedimento da tabela realizado na prática A, mas analisaram apenas a linha 6. Na terceira parte do experimento, analisaram novamente a linha 6, mas modificando os ângulos em 30° , 45° , 60° e 90° . O momento mais esperado pelos alunos, a última parte, em soltar todas esferas e analisar o comportamento de descida. Finalizando com o questionário relacionando os três processos experimentais.



Figura 4.15: Os alunos manipulando e trabalhando em grupo na tábua de Galton. Fonte: arquivo da autora.

Está prática foi realizada em sala de aula, manipulada diretamente pelos alunos. Neste dia os alunos aparentavam estar cansados, mas realizaram a prática com muito dialogo no grupo. Vejamos alguns comentários dos alunos durante prática:

Aluno B: *Como é difícil saber em qual prego a esfera irá colidir na linha 6.*

Aluno E: *Quando professora de aula expositiva, falou do cometa e da colisão de prótons que podemos determinar? Algo calculável, mas no experimento é possível.*

Os três experimentos são difíceis de determinar os movimentos dos braços, da roda dependo da roda e agora a bolinha. mas quando a professora lembra as cenas do filme e liga com a prática parece ficar mais fácil.

Figura 4.16: Relato dos alunos. Fonte: Arquivo da Autora.

4.1.7 Aula 7

No primeiro encontro os alunos receberam tabelas, para coletar informações da previsão tempo durante uma semana. O objetivo desta atividade é mostrar um uso prático de conceitos da teoria do caos e sensibilidade das condições iniciais abordado às previsões do tempo.

Alguns alunos não realizaram a pesquisa por falta de tempo pois trabalham durante o dia e estudam de noite. Esta é uma coleta diária e aqueles alunos que estavam sem pesquisa sentaram com o colega que fez. Com as informações em mãos, os alunos receberam o roteiro experimental completo, deram início a análise das tabelas e depois responderam o questionário, durante a o desenvolvimento o aluno A falou que *seu avó que mora no interior, sabe quando vai chover quando as Garças cinza voam cantam, quando é vento sul as Araucuan cantam pela manhã, ao nascer do Sol avermelhado sinal de chuva, o pôr do Sol alaranjado tem bom no amanhecer, quando aumenta as vazão da nascentes sinal de úmida e chuva, quando os ventos se encontrar forma-se redemoinhos conhecido como “bailarina do vento” ou “dança da areia” é sinal de troco bom para chuva, quando uma pessoa fez uma cirurgia ou algo parecido sente doer ou fisgadas e sinal de troco de tempo”*.

Após os alunos finalizarem o preenchimento do questionário. Foi feita uma simulação da previsão do tempo na tábua de Galton, com o intuito que eles observasse como os efeitos prévios afetam a previsão do tempo. Durante os primeiros lançamentos das esferas analisamos as primeiras linhas. Era mais fácil determinar o prego que a esfera colidir, mas com aumentar a quantidade de linhas os alunos já não conseguiam determinar com certeza onde esfera colidiria. Foi perguntado aos alunos, *o que acontece quando esfera chega a linha 5 e 6, caso eu solte cinco vezes individualmente cada esfera, quantas vezes a esfera atingiu o mesmo prego? A esfera colidiu em pregos vizinhos? Com relação no filme como você explicaria vida de Georgia Bard? Como você explicaria o clima na linha 6?*

Aluno A: *A esfera não atingiu o mesmo prego, passou próximo aos vizinhos, se fosse nas primeiras linhas seria mais fácil de prever de teria como determinar, na linha 6 é um caos, depende de uma série de fatores.*

Aluno B: *A esfera não atingiu o mesmo prego, mais passou umas vezes no prego do lado e as outras mais afastadas, determinar previsão na linha 6, seria impossível.*

Aluno C: *A esfera não atingiu o mesmo prego, chegou próximos algumas vezes, dificilmente.*

Capítulo 5

Considerações finais

O nosso propósito neste trabalho não era chegar a uma mudança conceitual, já que isso não ocorre repentinamente. Conforme destacam Acedo e Ferrara Junior (2008) a dificuldade do aprendizado de determinados temas pelos estudantes pode estar relacionada à abordagem que preza pela memorização dada a muitos temas de ciências e a pouca, ou nenhuma, interação dos temas entre as diferentes áreas da ciência. A principal preocupação esteve em motivar os estudantes a ter uma predisposição em aprender, juntamente com um material que chamasse a atenção deles.

A sequência didática elaborada neste trabalho, foi toda fundamentado na teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, desenvolvendo uma abordagem experimental que possibilita despertar o interesse do aluno em aprender novos conceitos e perceber que a Física não está somente na sala de aula, mas no seu cotidiano. De acordo com Ausubel, aprender significativamente que o novo conceito deve ser ancorado em conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno, o material pode ser potencialmente significativo, assim despertando a disposição em aprender no aluno.

Aplicamos um questionário inicial (pré-teste), para obter conhecimento prévios dos alunos sobre o tema. No primeiro momento de aula, com perguntas relacionadas como cotidiano dos alunos, esses conceitos serviram como base para alicerce para construção das próximas atividades. Os alunos tiveram muita dificuldade no preenchimento da atividade, sendo que a maioria dos alunos não sabia o que era Caos e Determinismo, deixando em branco as perguntas. Apesar dos alunos terem tido dificuldade em responder a atividade inicial, não os impediu de participarem das atividades. Isso indica que uma das condições para que ocorra aprendizagem significativa, a pré-disposição em apreender, foi alcançada. Para atingir a segunda condição, que o material seja potencialmente significativo, demos continuidade às aulas teóricas, interagindo com os conceitos abordados e com os pré-testes aplicandos.

A aula expositiva introduziu os alunos a Física do século 21, a Física que não é de padrões rígidos, a Física que ajuda a Biologia, a Economia, a Geografia, a História, a Física da Terra, a Física dos sistemas não lineares e complexos. Acreditamos que essa introdução de diversos recursos permitiu aos estudantes uma melhor compreensão do assunto, muitas vezes construindo e/ou reconstruindo o conhecimento.

A utilização de práticas referentes a conceitos da Teoria do Caos, organizadores sequenciais, teve um grande potencial, seu despertando nos alunos a vontade de aprender, visto o seu poder de interação com o seu cotidiano. Os dados obtidos através dos questionários aplicados, buscando evidências da aprendizagem significativa. Observou-se que apesar de alguns alunos se mostrarem passivos e com maior grau de dificuldade, as estratégias do estudo conseguiram fazer com que os alunos participassem das atividades experimentais propostas, criando significados aos novos conceitos.

A última atividade foi mostrar um uso prático de conceitos de teoria do caos e sensibilidade às condições iniciais no caso de um problema do qual todos temos conhecimento, a previsão climática. Alguns alunos não conseguiram coletar os dados para realização desta atividade, mas participaram com aqueles que coletaram o tempo. Por fim, trabalhou-se a prática Tábua de Galton envolvendo a previsão tempo, ilustrando para os alunos como é imprevisível prever a previsão climática a longas datas.

A partir de isso nossas observações acreditamos que a proposta de sequência despertou a curiosidade em aprender por parte dos alunos, já que como isto previamente, em diversas ocasiões ouvimos manifestações nesse sentido por parte dos alunos. E por isso disponibilizamos todo o material na forma digital, contendo guia de apoio ao professor, guia das atividades e roteiros das aulas, para livre reprodução, adaptação e aplicação. Todo o material produzido está sendo disponibilizado na *internet* no endereço (<http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>).

Capítulo 6

Referências Bibliográficas

ALVES, C. A.. **Teoria do Caos e as Organizações**. Periódicos Uni-FACEF, São Paulo, 2011. Disponível em:
<<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/viewFile/207/59>>. Acesso em: 25 de jan. de 2016.

BATISTA, C. A.. **Métodos emergentes de Física-Estatística aplicados a séries**

temporais. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Departamento de Estatística e Informática – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <<http://www.pgbiom.ufrpe.br/dissertacoes/2006/d2006-03.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. de 2016.

BUENO, N. P.. **Algumas evidências da presença de não-linearidades compatíveis com caos determinístico no IBOVESPA na década de 1990**. Revista Economia Aplicada. Jan. de 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Newton_Bueno/publication/237021646_Some_Evidence_of_the_Presence_of_Non-Linearities_Compatible_with_Deterministic_Chaos_in_the_BOVESPA_Index_in_the_90s_%28in_Portuguese%29/links/55256b730cf24b822b403700.pdf>. Acesso em: 20 de jan. de 2016.

GLASS, L.. **Dos relógios ao caos: Os ritmos da vida**. Michael C. Mackey; tradução de Vitor Baranauskas, Cintia Fragoso; revisão técnica de Luiz Henrique Alves Monteiro. Vol. 14 – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1997. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=N3ZSjDhChEMC&oi=fnd&pg=PA13&dq=caos+determin%C3%ADstico&ots=dRGFfawWDR&sig=iD2g8uk-TzhNRUZOkHbpISvSer8#v=onepage&q=atratores&f=false>>. Acesso em: 01 de Jan. de 2016.

LEYS, J.; GHYS, É.; ALVAREZ, A.. **Chaos**. Disponível em: <<http://www.chaos-math.org/pt-br>>. Acesso em: 30 de Dez. de 2015.

LIMA Jr, P.; SILVEIRA, F. L.. **Discutindo os conceitos de erro e incerteza a partir da tábua de Galton com estudantes de graduação: uma contribuição para a incorporação de novas abordagens da metrologia ao ensino de física superior**. 10.5007/2175-7941.2011v28n2p400. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n2p400>>. Acesso em: 11 de Jan. de 2016.

MANICA, E.. **Controle de caos em uma cadeia trófica de três espécies, descrita através do modelo de Hastings e Powell**. 2000. 198 f. Dissertação (Matemática Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Matemática Aplicada – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28976/000294825.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 12 de jan. de 2016.

MOREIRA, M. A.. **Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS**. Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63. 2011. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2014.

MOREIRA, Marcos A.. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa**. Revista chilena de educación científica, INSS 0717-9618, Nº 2, 2008, p.23-30.

NETO, R. dos S.; LATINI, R. M.. **Teoria do Caos no Ensino Médio: Caminhos para a Inserção da Física Moderna e da Educação Ambiental**. REMPEC - Ensino, Saúde e Ambiente, v.3 n 2 p.26-37, Agosto 2010. Disponível em: <<http://www.ensinosaudeambiente.uff.br/index.php/ensinosaudeambiente/article/view/112/110>>. Acesso em: 10 de Jan. de 2016.

OLIVEIRA, E. S. de; et al.. **Construção e proposta de um pêndulo duplo caótico para demonstração de comportamento não-linear em disciplinas de engenharia**. COBENGE, Pernambuco, 2009. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2009/artigos/684.pdf>>. Acesso: 08 de Jan. de 2016.

PÁGINA DOS MELOS CAMPOS. Disponível em: <<http://to-campos.planetaclix.pt/fractal/lorenz.html>>. Acesso em: 24 de Jan. de 2016.
SILVEIRA, F. L.. **Determinismo, previsibilidade e caos**. Cad.Cat.Ens.Fís., v.10, n.2: p.137-147, ago.1993. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/7279/14918>>. Acesso em: 05 de Jan. de 2016.

SILVA, Dominicano Corrêa Marques Da. "Teoria do Caos"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/fisica/teoria-caos.htm>>. Acesso em 12 de novembro de 2015.

STEWART, I.. **Será que Deus joga dados? A nova matemática do Caos**. 2ª ed.. Editora Zahar, Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fvoe6nmLoDYC&oi=fnd&pg=PA13&dq=caos+determin%C3%ADstico&ots=Iqx0eY2rZj&sig=u0OMvtxN826EAG2eclR3-HI20CE#v=onepage&q=caos%20determin%C3%ADstico&f=false>>. Acesso em: 31 de Dez. de 2015.

TECNOMUNDO. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/ciencia/32061-como-sao-formados-os-furacoes-.htm>>. Acesso em: 17 de Jan. de 2016.
TÔRRES, J.. **Teoria da complexidade**. Disponível em: <<http://www.teoriadacomplexidade.com.br/teoria-do-caos.html>>. Acesso em: 25 de Jan. de 2016.

UEMA, S. Nª; FIEDLER-FERRARA, N.. **Atividades curtas multi-abordagem para o ensino médio: trabalhando o conceito de dependência sensível às condições iniciais**. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_atividadescurtasmulti-ab.trabalho.pdf>. Acesso em: 13 de Jan. de 2016.

SILVA, Domiciano Corrêa Marques Da. "Teoria do Caos"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/fisica/teoria-caos.htm>>. Acesso em 12 de novembro de 2015.

Apêndice A

Material de apoio ao professor

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA VISANDO ABORDAR OS
FUNDAMENTOS DA TEORIA CAOS NO ENSINO MÉDIO**

FRANCISCA PEREIRA

ARARANGUÁ

2017

APRESENTAÇÃO

Caro (a) Professor(a)

O material aqui apresentado é o produto educacional exigido como requisito para a obtenção do título de Mestre junto ao programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Polo Araranguá, o qual é um dos polos do Programa Nacional de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). O material didático é constituído por um conjunto de atividades que visam instrumentalizar os alunos em um dos conceitos fundamentais da teoria do caos.

A autora não pretende que os professores que adotem este guia sigam a risca cada uma das atividades para atingir o objetivo que este trabalho se propõe, na verdade cada atividade pode ser trabalhada de forma independente dependendo da maturidade em conceito de Física que os estudantes possuam. Todas as atividades visam uma única explicação: a sensibilidade de alguns problemas às condições iniciais.

O projeto foi pensado para ser aplicado em estudantes de Ensino Médio, no entanto como tem um caráter lúdico pode ser facilmente transportado para o Ensino Fundamental, sendo necessário a substituição do filme da I atividade por um desenho com temática similar, a fim de aumentar a empatia dos estudantes.

Introdução

Uma das características mais marcantes das ciências em geral é a sua capacidade preditiva, pessoalmente foi um dos aspectos que mais chamou minha atenção durante os primeiros contatos com esse saber humano e pelo que me lembro meus colegas também se mostraram fascinados por esse mesmo aspecto. Esse fascínio não é estranho, ele está intimamente ligado à superação de nossos medos como indivíduos e como civilização. Em um dia de chuva você percebe um aumento da claridade e se prepara para o estrondo, o trovão, que em muitas ocasiões estremece as paredes das nossas casas. Esse exemplo é bastante ilustrativo pois tanto a ciência do primeiro grau, a Física e outras áreas do saber proporcionam são relações causais que nos permitem superar esses medos, de fato, praticamente a Física de todo o segundo grau se dedica a discutir sobre essas relações causais, até passa a impressão de que o universo é um sistema regido por leis estritas. Essa conclusão não é exclusiva dos alunos. Um pensador ilustre, como Pierre de Laplace, no século XIX chegou a uma conclusão semelhante, ele afirmou que poderia se conhecer o passado e o futuro do Universo se soubéssemos o estado (posição e velocidade) de cada átomo do Universo. Agora, por que nós quando estudantes, os nossos estudantes e Laplace chegamos a uma conclusão semelhante? A resposta é simples: porque o Ensino de Física nas escolas é baseado exclusivamente nos conhecimentos da chamada Física Clássica.

A ruptura com as concepções clássicas é dever da escola pois promove a cidadania do indivíduo, como se afirmar no PCN de ciências

“Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a relatividade ou as ideias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia.”

Essa ruptura pode se dar através do estudo de fenômenos quânticos, porém, na minha opinião, essa tentativa se vê um pouco frustrada devido ao fato de que a interação do aluno como fenômenos quânticos é mediada em demasia pela explicação dada pelo professor.

Tomando como premissa de trabalho a hipótese anterior, compilei neste

trabalho uma série de experimentos simples, muito deles de baixo custo, que propiciam a ruptura dos paradigmas que a escola tradicional firmemente construiu durante anos. Neste trabalho abordamos um dos aspectos mais conhecidos da teoria do Caos, a sensibilidade às condições iniciais.

Breve introdução à teoria do Caos

A teoria do caos é uma daquelas teorias contemporâneas que está presente em várias áreas da Ciências e na própria Matemática. De fato, em 2015 o Brasileiro Artur Ávila foi agraciado com a Medalha Fields, a maior distinção outorgada aos matemáticos, o equivalente ao prêmio Nobel, por suas pesquisas em sistemas que apresentam caos.

Caos, diferentemente do que a palavra indica, não é sinônimo de desordem ou aleatoriedade no sentido popular da palavra. Para um sistema ser caótico ele deve ser determinista, o que significa que existe uma lei física subjacente ao fenômeno que nos permite estabelecer relações causais temporais. Por exemplo, num jogo de sinuca realizado numa mesa de sinuca normal, se uma bola é tacada numa certa direção você pode prever o percurso que a bola seguirá (de fato esse é o espírito desse jogo). Tanto é verdade que se nós tacamos outra bola, mas desta vez a posição inicial for ligeiramente deslocada para um lado, a trajetória resultante será paralela à primeira trajetória por todo o percurso, conforme pode ser visto na figura abaixo.

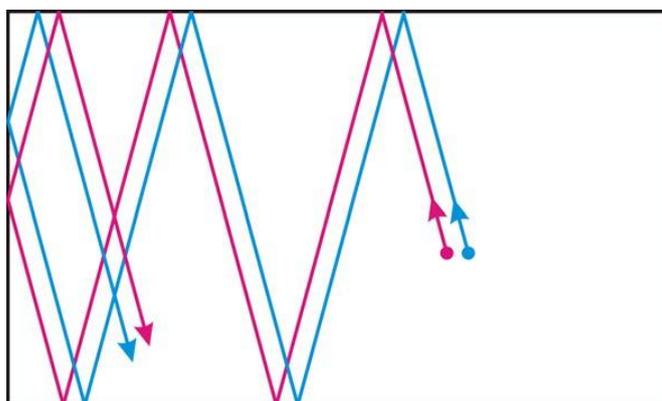


Figura 1: Simulação de uma mesa de sinuca quadrada.

Fonte: Elaborado pelo orientador Profº Dr. Evy Augusto Salcedo Torres

Agora suponha que temos uma mesa de sinuca um pouco diferente pois em cada um dos cantos colocamos semicircunferências. Se repetirmos o experimento descrito anteriormente veremos que o resultado será completamente diferente, ainda que seja possível prever a trajetória de cada bolinha, a posição relativa das bolinhas parece não ter

mais um padrão, parece ser aleatório.

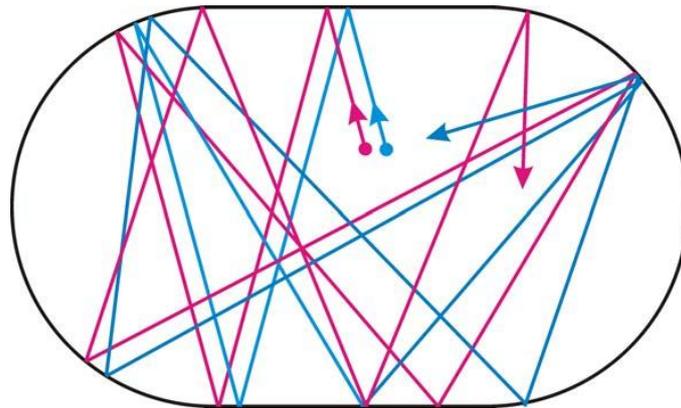


Figura 2: Mesa de sinuca com as bordas redondas.

Ou seja, uma pequena mudança na posição da tacada inicial resulta uma trajetória totalmente diferente da outra. Esse comportamento não é exclusivo da mesa de sinuca com laterais semicirculares, diversos sistemas físicos apresentam essa sensibilidade às condições iniciais e muitos desses sistemas são classificados como sendo sistemas caóticos. De fato, para um sistema ser dito caótico ele tem que apresentar sensibilidade às condições iniciais.

Planejamento das atividades que constituem o produto

O objetivo deste trabalho é mostrar aos alunos que mesmo sendo capazes de prever o efeito imediato que uma determinada ação produz sobre alguns sistemas físicos, previsões de longa duração se mostram difíceis independente de termos a nossa disposição as leis da física que governam o movimento do sistema e enfatizar que essa impossibilidade tem como origem o fato desses sistemas serem sistemas caóticos.

Pré-teste

É recomendável que o professor aplique um pré-teste para avaliar os conhecimentos prévios de seus estudantes. Será que os alunos têm consciência do conceito de determinismo? Quais são as concepções prévias que tem a esse respeito? O resultado desse teste pode orientar o professor na melhor forma de abordar os conteúdos das aulas seguintes, principalmente no que diz respeito à linguagem utilizada.

Atividade 1: aula expositiva, A Física do século 21

O nível e tipo de discurso utilizado durante a preparação desta aula deverá levar em consideração os resultados obtidos durante o pré-teste aplicado. A ideia é mostrar aos alunos que um dos grandes aportes da Física à humanidade é esse papel preditivo que permite aos humanos, de certa forma, serem donos do seu destino. O uso de demonstrações simples e rápidas (com exemplos tirados do entorno imediato do aluno no momento da aula) permitirão que o professor discorra sobre o assunto. O professor deve utilizar recursos multimídias de forma a reforçar ainda mais os conceitos determinísticos e assim se permitindo explorar situações ainda mais complexas: a possibilidade de determinar a trajetória de uma sonda, por exemplo a viking (ou qualquer outra façanha da engenharia moderna). Aproveitando a ideia de determinismo introduzida, o professor deverá mostrar que isso é resultado de uma observação diferente dos processos naturais, para isso o aluno deve ser conduzido a ver a regularidade de sistemas naturais. Por exemplo, a terra na sua órbita ao redor do sol nos proporciona uma periodicidade tal que as plantas e muitos animais são programados para seguir essa periodicidade, aproveite para mostrar um gráfico, mesmo que aproximado (enfatizar que é um modelo); igualmente periódico, mostrar uma figura de um eletrocardiograma, discutindo que ambos são comportamentos periódico para finalmente mostrar uma figura de disparos de um neurônio e enfatizar, cadê a regularidade???, como é possível que isso funcione???, mostre fotos de distribuição de padrões na natureza, como por exemplo em

https://en.wikipedia.org/wiki/Patterns_in_nature. Para finalizar pergunte para eles, se é dever da Física explicar sistemas da natureza, como é possível explicar isso, “que não tem um padrão”...??? E convide o aluno a entrar no mundo da Física do século 21, a Física que não é de padrões rígidos, a Física que ajuda a Biologia, a Economia, a Geografia, a História, a Física da Terra; convide eles a ingressar à Física dos Sistemas não lineares e Caóticos.

Atividade 2: Filme

Como segunda atividade propomos a apresentação de um filme. Existem muitos filmes que exploram a ideias do caos, no trabalho aqui exposto escolhi utilizar o filme “As férias da minha vida” (*Last Holiday*) o qual é uma comédia dramática, protagonizado por Queen Latifah. Dentro do contexto do caos, esse filme se caracteriza por possuir um ponto explícito de mudança na vida da personagem que facilmente o aluno percebe, diferente de outros filmes com a mesma temática que apresentam várias mudanças que podem escurecer de certa forma a utilidade do filme. A ideia desta atividade é, dentro do marco da teoria de David Ausubel, utilizar o filme como um organizador prévio de forma a identificar os subsunçores presentes nos estudantes, ou seja, vamos tentar identificar quanto eles conhecem sobre teoria do caos, e quanto eles misturam a ideia coloquial de caos com a ideia científica sobre caos, utilizando para isso um questionário que será aplicado após o fim do filme.

O professor deve ler as respostas dos alunos de forma a preparar a próxima atividade. É recomendado que antes de aplicar a segunda atividade o professor faça um rápido debate com os alunos de forma a salientar os pontos importantes da primeira atividade, ressaltando o fato de que a decisão tomada pela protagonista do filme (caso utilize o mesmo filme) resultou numa sequência de eventos cujo desfecho foi totalmente imprevisível, no entanto se são analisadas pequenas decisões menores que foram todas, todas têm uma certa previsibilidade. O professor deve ter o cuidado de não apontar essa sequência de evento como sendo caótica no sentido científico, e sim caótica no sentido popular, salientar que cada indivíduo tomaria uma decisão diferente caso se encontrasse frente a um problema como o enfrentado pela protagonista, utilizando para isso de uma discussão descontraída com os estudantes no qual cada um expõe o que teria feito no lugar da protagonista.

Atividade 3: o pêndulo duplo

A segunda atividade consiste em analisar o movimento do pêndulo duplo. Diferentemente da primeira atividade, os alunos manipularão diretamente o objeto de estudo. Os estudantes terão que responder um questionário que os guiará a observação dos comportamentos caóticos do pêndulo.

No fim da atividade experimental, o professor deverá iniciar uma discussão com os alunos na qual estabelecerá paralelos entre o filme e o comportamento do pêndulo. Para isso o professor deverá ele mesmo fazer a experiência para todos verem.

Primeiro discuta sobre a vida prévia ao acidente da protagonista no filme, deve utilizar esse comportamento como exemplificação de algo determinísticos e mostrar para os alunos que o comportamento do pêndulo é similar, já que no limite de baixas oscilações o pêndulo duplo se comporta como um pêndulo simples, sendo possível prever os movimentos de cada uma de suas partes.

A continuação o professor deve lembrar o que aconteceu à protagonista após o diagnóstico da sua enfermidade, reforçar a ideia que o comportamento imprevisível adotado pela protagonista é similar ao comportamento “imprevisível” do pêndulo no limite de grandes oscilações.

Finalmente o professor está em condições de discutir sobre a diferença entre o conceito de caos coloquial e a teoria do caos dos cientistas. Para isso será necessário utilizar um simulador (por exemplo o encontrado em <http://studios.clockworkmagpie.com/content/double-pendulum>). Deve se tentar mostrar que se as condições iniciais são exatamente as mesmas, o percurso do pêndulo é o mesmo, mas se mudada a condição inicial, mesmo que ligeiramente, o resultado é completamente diferente.

Atividade 4: a roda de água

A quarta atividade é uma aula demonstrativa. Para realizar esta demonstração é necessário que o colégio conte com um lugar onde seja possível despejar água livremente, por exemplo um pátio. Ressalta-se que a quantidade de água que será desperdiçada é pouca e já estamos trabalhando em uma forma de tornar o projeto sustentável.

Resumidamente, este experimento permitirá explorar como um sistema físico pode passar para o regime caótico com a simples mudança de um parâmetro, o fluxo de água que cai nos copos. A roda de água, ou roda de Lorenz, pode adotar 3 (ou mais) estados diferentes, ou ela roda (aqui a rotação não necessariamente será uniforme), ou ela oscila periodicamente ou ela oscila periodicamente.

No momento da discussão após o experimento o professor deve chamar a atenção ao determinismo existente no movimento circular e oscilatório. Deve citar parâmetros que são utilizados para caracterizar este movimento, no caso do movimento circular temos o ângulo no instante de tempo zero (ou/e velocidade angular inicial) e o período/frequência, e para o caso do movimento oscilatório é a amplitude inicial (ou/e velocidade inicial) e a frequência/período. Deve citar que a regularidade do movimento circular é a causa de termos as estações do ano, o dia e a noite, deve enfatizar que nosso cérebro espera essa regularidade das coisas. Por outro lado, o movimento oscilatório é o responsável pelo funcionamento dos relógios, é encontrado no movimento realizado por uma massa acoplada a uma mola, etc. Nesse momento o professor deve fazer com que os estudantes lembrem que o movimento do pêndulo duplo para pequenas oscilações é um movimento oscilatório, e que da mesma forma que aconteceu com o pêndulo duplo, a roda de água pode entrar num regime caótico (oscilação aperiódica). Uma forma de fazer com que os alunos percebam que estão no regime caótico é se concentrando num copo específico de preferência um copo que este bem no alto, é por isso que os copos são numerados, quando a água fizer a roda rodar esse copo não alcançará a mesma altura que originalmente tinha, na segunda rodada pode ser que até ultrapasse essa altura, e assim sucessivamente, ou seja, o professor deve chamar a atenção a perda de regularidade desse copo.

Para finalizar, é interessante que o professor fale resumidamente sobre o processo de convecção que acontecem na atmosfera, os quais são bem similares à roda de água, onde a água representa o calor adquirido pela massa de ar (os copos) e a perda de água é a perda de calor para o ambiente.

Atividade 5: a tábua de Galton

Considerar o experimento com a tábua de Galton como representante de um sistema caótico pode parecer estranho para um professor que dê uma rápida olhada na

internet sobre o tema já que ele, em 99,99% das publicações é considerado um sistema aleatório, mas não é, é um sistema 100% determinístico governado pela lei da gravidade e a conservação do momento.

Nesta atividade os estudantes terão uma experiência sensorial ainda maior do que nos outros experimentos/demonstrações, eles deverão montar a sua própria tábua de Galton e dessa forma esperamos poder mostrar a eles os erros que são introduzidos no equipamento experimental na hora da sua construção.

Na discussão subsequente à realização do experimento, o professor deve chamar a atenção para o fato de que ainda que a trajetória seguida pela esfera sempre seja diferente, na verdade essa diferença se deve ao fato de que não temos um controle preciso no momento do lançamento. Para esclarecer esse conceito pode ser mostrado um jogo simulado de “pinball”, por exemplo pode ser utilizado o jogo que acompanha o livro “Core HTML5 Canvas” de David Geary disponibilizado no site <https://github.com/corehtml5canvas/code/archive/master.zip>. Utilize esse jogo para discutir com eles o fato de que são capazes de prever a trajetória seguida pela bola e que os melhores jogadores são aqueles que podem prever com maior precisão essa trajetória. Mostre que no fundo o comportamento desse jogo é o mesmo que o da tábua de Galton, e o princípio Físico por traz de tudo é a conservação do momento linear, a lei da reflexão é válida nesse caso.

Previsão do tempo

A ideia desta atividade é mostrar um uso prático de conceitos de teoria do caos e sensibilidade às condições iniciais, no caso de um problema do qual todos temos conhecimento, a previsão climática.

Esta atividade inicia-se com o início da sequência didática, no mesmo dia da atividade 1. Os alunos devem coletar informações sobre previsão climática durante uma semana. No dia da discussão, após responderem o questionário, o professor deve mostrar, com a ajuda da tábua de Galton, que a previsão do clima é complexo. Da mesma forma que os alunos não podiam prever a posição da esfera enquanto ela desce pela tábua de Galton, com a previsão do tempo também é impossível realizar esse tipo de análise já que os números de efeitos prévios afetam de forma significativa a previsão. O professor deve comentar que os meteorologistas têm modelos (melhores do que a tábua de Galton) para

tentar prever o clima, e o que eles fazem é mudar pouco a condição inicial e observar o resultado final. Assim, se o resultado do modelo em que quatro das tentativas para um dia deu chuva, então a previsão é que teremos 40% de chances de chuva. É importante que se afirme que o clima é previsível em princípio, pois é um sistema determinista, mas não se conhecem com precisão as condições iniciais e nem temos computadores suficiente para considerar todos as variáveis que afetam o sistema (pode utilizar a seguinte analogia, temos uma tábua de Galton construída por alguém com um pulso tremulo e ao lançarmos a bolinha esta gruda nos dedos de forma descontrolada).

Manual dos experimentos

Pêndulo Duplo

Para realização do pêndulo duplo serão necessários os seguintes materiais:

- Uma tábua de madeira para os pêndulos (Tábua de Pinus);
- Base para o suporte (17 cm x 33 cm), Suporte (27 cm x 51 cm) pode ser de MDF ou madeira;
- Sarrafo (27 cm x 2x2 cm) (Tábua de Eucalipto);
- Régua ou trena;
- Caneta ou lápis;
- Lixa para madeira;
- Duas chaves 13;
- Uma barra roscada de 11 cm;
- 6 Porcas;
- 4 aréolas;
- 2 Parafusos (10 cm x 8 mm) com porcas e aréolas;
- Parafuso Philips de 3,5 cm ou 4 cm;
- Serrote ou serra;
- Furadeira e as seguintes brocas 2.5 mm, 8mm e 22mm;
- Devastador;
- Chave Philips;
- 14 Rolamento (608 2RS);
- Para realização do suporte serão necessários os seguintes materiais:
- Dois pedaços de MDF ou madeira de (17 cm x 33 cm) e (27 cm x 51 cm);
- Um sarrafo de madeira (27 cm x 2 cm x 2 cm);
- 12 Parafusos Philips de 3,5 cm ou 4 cm;

Preparação do pêndulo duplo

A preparação dessa prática experimental é necessária da ajuda de um adulto, que saiba utilizar as ferramentas para elaboração.

Para formar os pêndulos devemos cortar a madeira, com o auxílio de um serrote ou de uma serra circular, com a medidas relacionada na tabela 1. Depois de serrar os pedaços de madeira, é necessário lixar as extremidades de todos eles, para facilitar manuseio da prática.

	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
Base	20	3,6	2
P 1	17	3,6	2
P 2	15	3,6	2
P 3	10	3,6	2

Tabela 1: Tamanho dos braços do pêndulo duplo.

Fonte: Elaborado pela autora

Devem ser perfurados os braços P1, P2, P3 com auxílio de uma furadeira. Para facilitar é necessário realizar uma marcação com auxílio de uma régua em um lado de cada braço. Sendo que cada braço tem 3,6 cm de largura a marcação tem que ser a metade, onde X se encontra, já no comprimento mede-se em uma das extremidades 3,6 cm, Figura 1.



Figura 1: Marcação para perfuração dos braços.

Fonte: Arquivo da autora.

Já na base é necessário fazer as marcações, comentadas acima, nas duas extremidades e dos quatro lados Figura X, já que uma extremidade será fixa no suporte e a outra ficará para anexar os braços.

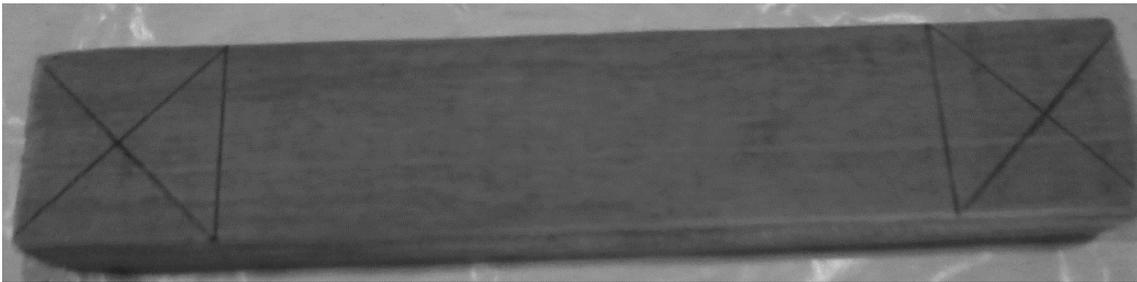


Figura 2: Base dos pêndulos, marcadas para ser feitas as perfurações

Fonte: Arquivo da autora.

Já com todas as marcações feitas, utilize uma furadeira com uma broca 22 mm, para fazer os furos no centro de cada marcação, figura 3. Lembrando que na base serão necessários quatro furos, dois furos em cada extremidade, nos braços P1, P2, P3 será perfurado apenas uma extremidade em um lado. É importante que o furo seja aproximadamente com mesmo diâmetro do rolamento, para que quando colocar o rolamento não fique folgado. Em seguida finalize trocando a broca da furadeira de 22 mm para o de 8 mm, para fazer uma perfuração de um lado ao outro Figura 4.



Figura 3: Primeiro furo com a broca de 22 mm, no centro da marcação, no meio do X.

Fonte: Arquivo da autora.



Figura 4. Furo ao centro de dos braços. Fonte: Elaborado pela autora

Agora com todos braços, bases perfuradas finalize anexando os rolamentos. Em caso alguma das perfurações feitas na base ou nos braços, terem ficado largos, será necessário refaze-lo.



Figura 5: No lado esquerdo demonstração dos pêndulos perfurados. No lado direito um braço com rolamento. Fonte: Arquivo da autora

Para a união da BASE e de um pêndulo é necessário usar um parafuso, que atravesse a base e o pêndulo desejado, fechado com uma aréola e uma porca figura 6.



Figura 6. Processo passos: Na primeira figura esquerda é inserido um parafuso na perfuração feita de uma base. Na figura do meio unindo base e um braços P1 e por fim com auxílio de chave fechando o conjunto com porca. Fonte: Arquivo da autora.

Desenvolvimento do suporte

Para facilitar a montagem do suporte será feito uma identificação dos pedaços de madeira que serão utilizados: o pedaço de MDF de (17 cm por 33 cm) vou chamar de placa A e o pedaço de MDF (27 cm por 51 cm) placa B. Na placa A, deverá ser feito um risco de 27 cm horizontalmente onde serão fixados o sarrafo e a placa B, essa marcação é necessária para que as placas fiquem fixas.

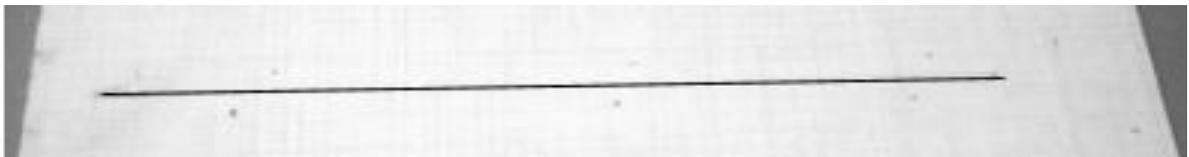


Figura 7: Marcação de uma linha de 27 cm na placa A onde será colocado a placa B. Fonte: Arquivo da autora.

Próximo a linha faça 6 furos, três de cada lado da linha. Primeiro utilize a furadeira com uma broca 2,5 mm. Depois troque a broca pelo o desbastador para abrir os furos.

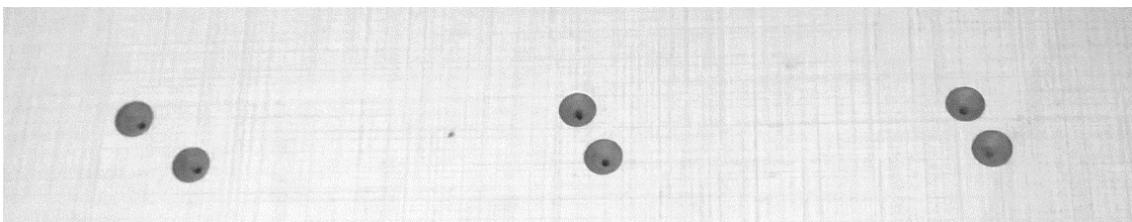


Figura 8: Resultados dos furos próximos a linha de 27 cm, lembrando que primeiro foi a broca de 2,5 mm e depois o desbastador. Fonte: Arquivo da Autora.

No sarrafo de madeira de (27 cm x 2cm x2 cm) faça três furos com uma furadeira utilizando a broca 2,5 mm, logo após utilize o desbastador para abrir os furos como ilustra a figura 9.



Figura 9: Sarrafo com três furos, para anexar entre as placas A e B. Fonte: Arquivo da Autora.

Para fixar a PLACA B na PLACA A em ângulo de 90°, utilize os parafusos e uma chave Philips. Para dar sustentabilidade na prática é necessário anexar o um sarrafo de madeira na placa A e B, Figura 10, com o auxílio de parafusos e uma chave filiphes.



Figura 10: Sarrafo para evitar erros no experimento. Fonte: Arquivo da Autora.

Para deixar o suporta mais estável, coloque uma escora (17 cm x 2 cm x 2 cm), entre as placas A e B, utilizando as ferramentas necessárias, figura 11. Quanto mais firme o suporte ficar, melhor será o desempenho da prática.



Figura 11: Escora anexada entre as placas A e B. Fonte: Arquivo da Autora.

Na placa B, com uma furadeira e uma broca de 8 mm, fazer um furo no centro da parte superior do suporte, sendo que a largura é 27 cm de comprimento e a metade é 13,5 cm de comprimento e 5 cm de altura. Para colocar a barra roscada de 11 cm no suporte, sendo que ela fique 5 cm para cada lado, colocar 2 arruelas e uma porca de cada lado.

Vincular a base dos pêndulos no suporte, com duas porcas. Atenção: A base não pode ficar apertada, ela terá de ficar firme. Escolha um dos braços P1, P2, P3 para anexar na base unindo-os com um parafuso (10cm x 8mm) e duas porcas, para firmar as porcas utilizam-se duas chaves número 13, para que fiquem firmes. Agora é só explorar sua prática experimental.

Roda de água

Para realização da roda de água serão necessários os seguintes materiais

- Um Aro alumínio de bicicleta (26) com os rolamentos;
- 8 Parafusos 6,5 cm;
- 8 Porcas porlock;
- 24 Copos plásticos (Podem ser encontrados em 1,99);
- Tabua eucalipto 27 cm de largura com 60 cm de comprimento;
- 1 sarrafo pino 3 cm;
- Chave Philips;
- Furadeira;
- Broca 4,5 mm, 5 mm, 6 mm e 8mm.

Materiais necessários para roda de água

- 15 parafusos
- A: Um sarrafo de 50 cm de comprimento por 5,5 cm de altura e 2,5 cm de largura.
- B: Um sarrafo de 90 cm de comprimento por 6 cm de largura e 2,5 cm espessura.
- C: Um sarrafo de 20 cm de comprimento por 6 cm de largura e 2,5 de espessura.
- D: Dois escoras de 32 cm de comprimento por 3,0 de largura e de espessura 2,5 cm;
- E: Uma madeira de 60 cm de comprimento e 27 cm de largura.

Preparação da Roda de água

É necessário dividir o aro da bicicleta em 8 partes, em cada ponto marque com um lápis. Em seguida com uma furadeira e uma broca de 6mm, fazer os furos atravessando Aro de um lado ao outro.



Figura 13: Aro da bicicleta, com oito perfurações entre círculos brancos, onde ficarão os copos pendurados. Fonte: Arquivo da Autora.

Perfurar todos copos com auxílio de uma furadeira com uma broca 6mm de um lado no outro, próximo a borda. Agora, separe os copos em três grupos de 8, em cada grupo será feita uma furação diferente.

Primeiro, utilize uma furadeira com uma broca 4,5 mm, para fazer um furo no centro do fundo do copo. No segundo grupo fure o fundo com uma broca de 6,5 mm e último grupo com uma broca de 8 mm.

Para montagem da roda da água, escolha um conjunto de 8 copos com mesma perfuração. E coloque os parafusos no aro, os copos passando na perfuração das laterais próximo a borda e por fim coloque as porcas, mas deixe os copos com folga.



Figura 14: Montagem da roda da água. Fonte: arquivo da autora.

Preparação do suporte da roda de água

Para facilitar a montagem do suporte da roda de água será feito uma identificação dos pedaços de madeira com letras A, B, C, D e E.

A: Um sarrafo de 50 cm de comprimento por 5,5 cm de altura e 2,5 cm de largura.

B: Um sarrafo de 90 cm de comprimento por 6 cm de largura e 2,5 cm espessura.

C: Um sarrafo de 20 cm de comprimento por 6 cm de largura e 2,5 de espessura.

D: Dois escoras de 32 cm de comprimento por 3,0 de largura e de espessura 2,5 cm;

E: Uma madeira de 60 cm de comprimento e 27 cm de largura.

Na madeira de 60 cm por 27 cm, será para construir todo o suporte. Parafuse o sarrafo A na madeira E, na figura 15.



Figura 15: Sarrafo anexado na madeira que será o suporte. Fonte: arquivo da autora.

No conjunto montado acima, coloque no centro do sarrafo A o sarrafo B, onde ficará a roda com os copos, lembrando que a sarrafo B deve ser parafusado na madeira e no sarrafo A, utilize uma chave Philips e parafusos, têm de ficar bem firme.



Figura 16: Anexando os sarrafos B no sarrafo B, montando um T de ponta cabeça. Fonte: arquivo da autora.

Agora finalize com as duas escorras D, fixando nos sarrafos A e B, figura 6. Para colocar a roda com os copos, fure com uma furadeira com uma broca de 8mm, o sarrafo B, agora encaixe o aro no sarrafo.



Figura 17: Estrutura da roda da água, pronta para ser explorada. Fonte: arquivo da autora.

Tábua de Galton

Para realização dessa prática o professor possui duas possibilidades, construir em uma placa de MDF ou de ISOPOR.

Serão necessários os seguintes materiais:

Se opção for a placa de ISOPOR, serão necessários os seguintes materiais:

- 1000 Alfinetes;
- 10 garrafas pet transparente;
- 500 esferas de aço;
- Um pedaço de papelão;
- Uma placa de isopor;
- Régua;
- Lápis ou caneta;
- Tesoura;
- Estilete.
- Folha de ofício ou uma folha milimétrica.

Se opção for a placa de MDF, serão necessários os seguintes materiais:

- 1000 Esferas de aço podem ser encontrar em oficinas de bicicletas;
- Uma placa de MDF (65 cm de comprimento e 27 cm de largura);
- Martelo;
- 10 Garrafas transparente;
- Tesoura;
- Isopor;
- Régua.
- Folha de ofício;
- Cola;
- Fita.

Para realização do suporta da tábua de Galton serão necessários os seguintes materiais:

- A: Dois sarrafos de 30 cm de comprimento e 2,5 de largura por 2,2 cm de espessura.
- B: Dois sarrafos de 15 cm de comprimento e 2,5 de largura por 2,2 cm de espessura
- C: Dois sarrafos de 25 cm de comprimento e 2,5 de largura por 2,2 cm de espessura.
- D: Um sarrafo de 26 cm de comprimento e 2,5 de largura por 2,2 cm de espessura.
- E: um sarrafo de 55 cm de comprimento e 2,5 de largura por 2,2 cm de espessura.
- F: quatro sarrafos de 2 cm de comprimento e 2,5 de largura por 2,2 cm de espessura.
- 12 parafusos de 4 cm filipês;
- Dois pregos de 19 x39.
- Lixa.
- Furadeira e broca 4mm.

Preparação da Tábua de Galton de ISOPOR.

Primeiro é necessário fazer uma folha quadriculada, para anexar os alfinetes na placa em forma de triângulos, sendo que tal formato depende da esfera que for utilizada, para uma esfera de 0,6 cm de diâmetro, é preciso que na horizontal tenha 0,4 cm de afastamento de um ponto ao outro, já vertical é necessário um afastamento de 0,8 cm, assim na aplicação dos alfinetes de forma intercalada, formando triângulos. Assim quando for soltar as esferas de aço na parte superior ela possa passar no meio dos obstáculos.

Em uma placa de ISOPOR (20 cm x 15 cm) anexar à folha quadriculada encima do isopor ou a folha milimétrica;

Os alfinetes devem ser colocados de forma equilátera e fique o mais perpendicular com tábua em 90°.

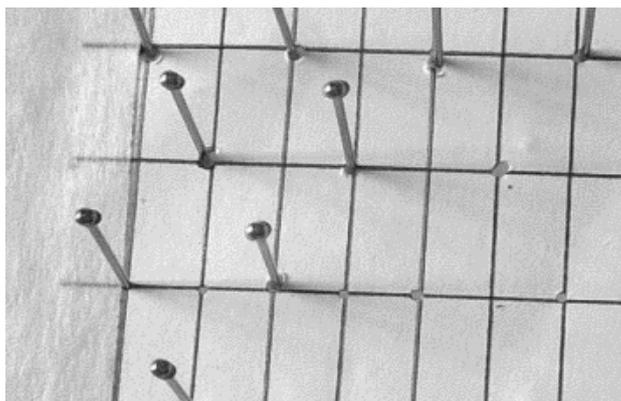


Figura 18: Folha quadriculada, com os alfinetes colocados de forma equilátera. Fonte: Arquivo da autora.

Montagem das Canaletas

1. Corta a garrafa pet, tirando o fundo e o bico, deixando a parte lisa inteira, formando uma placa.
2. Fazer tiras de 1,5 cm de largura x 9 cm de comprimento;
3. Para a fixação das canaletas no isopor utilizar uma régua e um estilete fazendo cortes de 0,5 cm de profundidade da última carreira de alfinete até a parte de baixo da placa.
4. Para fazer as laterais da base, cortar o isopor com as medidas de 1,5cm de altura por 1,5 de largura. Fixar as laterais com cola e alfinetes.

Preparação da Tábua de Galton de MDF:

Primeiro é necessário fazer uma folha quadriculada (1 cm por 0,5 cm), para anexar os pregos na placa em forma de triângulos, sendo que quadriculado da folha depende da esfera que for utilizada. Nesta placa a esfera será de 0,8 cm de diâmetro, para ocorrer o intercalar em formato de triângulos é preciso que na horizontal tenha 0,5 cm de afastamento de um ponto ao outro e na vertical 1 cm.

Em uma placa de MDF (65 cm x 27 cm) anexar à folha quadriculada ou a folha milimétrica. Os pregos devem ser colocados de forma equilátera e fique o mais perpendicular com a tábua, em 90°.

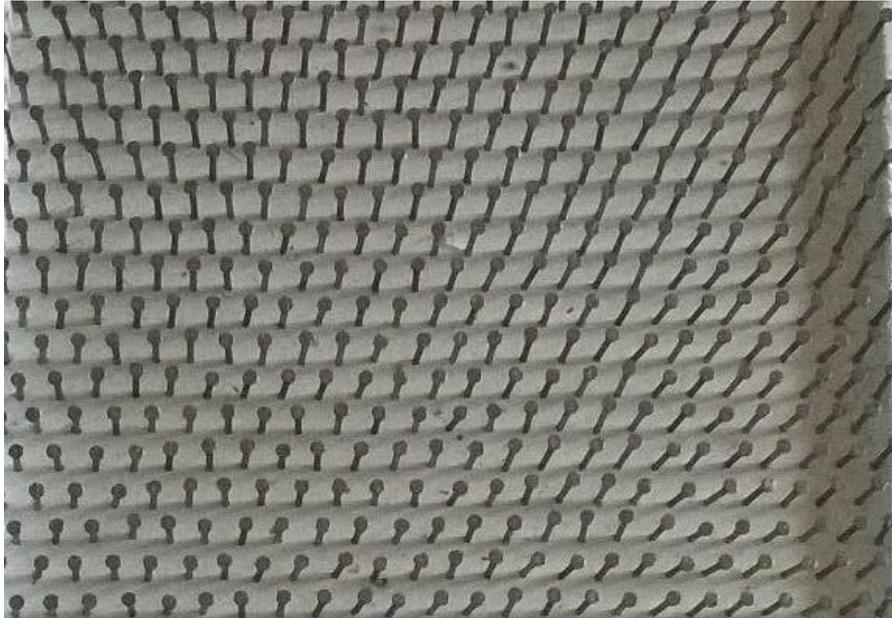


Figura 19: Labirinto de pregos, da tábua de Galton. Fonte: Arquivo da Autora.

Preparação e montagem das canaletas para Tábua de Galton de MDF

Inicialmente corte a garrafa pet, tirando o fundo e o bico, deixando a parte lisa inteira, formando uma placa. Faça tiras de 1,5 cm de largura por 30 cm de comprimento. Para fixar as canaletas no MDF, irá utilizar pregos e martelo. Na última carreira do labirinto, faça uma linha com pregos continua, com intervalo de 2,5 cm um do outro. Lembrando que as medidas das canaletas são 1 cm um da outra. Trace as tiras confeccionadas de garrafa pet, entre os pregos.

Para finalizar fazer as laterais é preciso de uma placa de isopor e estilete:

Corte 2 laterais na vertical de 65 cm de comprimento x 1,5 cm de largura x 1 cm de espessura. Na horizontal (parte superior e inferior da placa) 23 cm de comprimento x 1,5 cm de largura x 1 cm de espessura. Agora é só colar.

Preparação do suporte da tábua de Galton

IMPORTANTE: Os sarrafos A, devem possuir furos de 4 mm e 6 cm parte superior do sarrafo, o mesmo faça outra perfuração de 4 mm a 1cm da extremidade inferior. Nos sarrafos D e E, fazer um furo de 4 mm a 1 cm de uma extremidade.

Parte I: Primeiro lixar todas as extremidades, caso tenham farpas. Em seguida agrupar os sarrafos A nos B, parafuso e chave filipls em apenas um lado, como ilustra a figura 20.

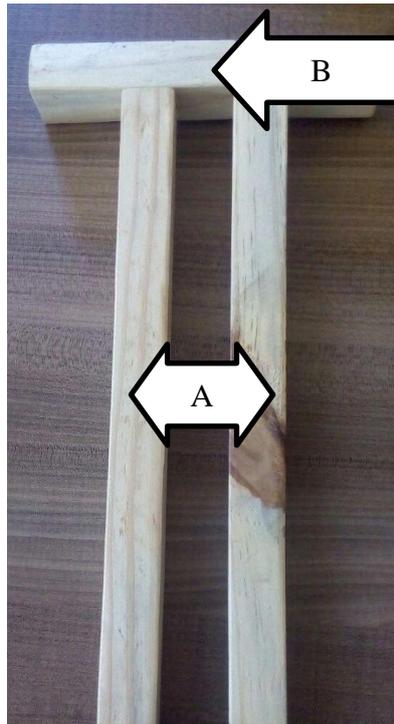


Figura 20: suporte parte I. Fonte: Arquivo da Autora.

Do outro lado que ficará o apoio para tábua de Galton, é colocado o sarrafo b por cima dos dois sarrafos A, de acordo com Figura 21.



Figura 21: Sarrafo B colocado em 90°. Fonte: Arquivo da Autora.

Parte II, colocar os sarrafos D nas laterais no sarrafo E, na parte que têm o furo deixar 16 cm. Após medir os ângulos de 30°, 45°, 60° e 90°. Como mostra a figura abaixo.



Figura 22: Sarrafos *D* e *E*, os toquinhos representa os ângulos. Fonte: Arquivo da Autora.

Para concluir, coloque a estrutura da parte e coloque o sarrafo *E* que possui o furo entre os sarrafos *A* da parte *I*, passe o prego pelos furos. Em seguida coloque o Sarrafo *D* entre os sarrafos *A*.



Figura 23: Tripé da tábua de Galton. Fonte: Arquivo da Autora.

Aula, testes e material para o aluno

Pré-teste

Professora: Francisca Pereira

Aluno: _____

Data: __/__/__

Duração: 90 minutos

Orientações para o aluno

As questões a seguir foram desenhadas para determinar o grau de conhecimento que você tem a respeito do tema que iremos tratar nas próximas aulas. Portanto, isto não é uma avaliação de forma alguma, só espero que suas respostas possam me direcionar nas próximas aulas. As perguntas versam sobre os conceitos de determinismo, aleatoriedade e caos. Devo lembrar a vocês que, conforme informado no início da aula, esta atividade não será atribuída uma nota

Questões

1. Você sabe o significado de determinismo? Caso afirmativo, explique.

2. Você acredita que seja possível prever o futuro? Explique.

3. Como você explica que o goleiro de um time de futebol saiba onde se jogar para pegar a bola? Ele é um adivinho? Explique.

4. Quando você coloca uma lata de refrigerante dentro uma geladeira em funcionamento o que espera que aconteça após algumas horas? Explique. Considera isso uma previsão?

5. Na expressão, isso é um jogo de azar, qual é o significado da palavra azar? Explique.

6. Já escutou o termo caos? Caso afirmativo, o que você entende por caos?

7. Já escutou o termo aleatório? Caso afirmativo, o que você entende por aleatoriedade?

8. Você considera que azar, aleatório e caos são palavras que expressam a mesma ideia? Explique.

Quando se joga uma moeda ao ar para se obter cara ou coroa, você considera o resultado como sendo azar, aleatoriedade ou caos? Explique.

9. Você considera que a brincadeira de criança na qual uma delas esconde uma moeda numa mão e na outra não tem nada e pede para tentar determinar em qual mão está a moeda, o resultado é um exemplo de azar, aleatoriedade ou caos? Explique.

Texto de apoio: A Física do século 21

Introdução

A primeira atividade consiste de uma apresentação onde o professor tentará mostrar ao aluno a ideia de determinismo e de caos na Física. Esta aula contém vários vídeos e figuras animadas de forma a tornar-lhe mais interessante. Um outro objetivo que procurei atingir, com esta apresentação, é mostrar algumas poucas aplicações onde a teoria do caos é utilizada.

A seguir darei uma breve explanação das ideias que me nortearam no momento da criação dos slides, espero que sirvam de base para que os professores que utilizem esses slides em sala de aula possam construir a partir deste material, a suas próprias reflexões.

Descrição dos Slides

Primeiro Slide

O slide de apresentação aparece o título desta seção e os órgãos que fizeram possível a construção do material, como devem saber este material é parte integral de meu trabalho de conclusão do curso do mestrado profissional em ensino de Física o qual é uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Física e foi sediado na Universidade Federal de Santa Catarina

Segundo Slide

Podemos prever o futuro? A resposta a essa pergunta é inesperada para muitos já que sim, podemos prever o futuro. No entanto, aqui temos que explicar um pouco mais detalhadamente essa resposta. Em princípio não é possível prever qual é a roupa que nosso colega utilizará amanhã, mas prever acontecimentos que estamos rotineiramente acostumados sim é possível. Muito provavelmente você dirá, isso não é uma previsão, isso é um fato. Mas pense por um momento em um jogo de futebol. Quando o lateral esquerdo chuta a bola para o lateral direito e ambos estão correndo, por acaso o lateral esquerdo não prevê que o direito estará numa dada posição e é para lá que ele chuta? Agora você dirá, isso não é previsão isso é calcular. Seja como for eu estou falando de eventos que podem ser determinados com 100% de certeza. Por exemplo, se eu largo o apagador que tenho na minha mão agora, tenho certeza que ele baterá no chão em uns segundos. Essa afirmação é possível porque a natureza apresenta uma regularidade

assustadora, parece um relógio. De fato, o cérebro de muitos animais foi desenvolvido para tirar proveito dessa regularidade. As plantas também tiram proveito disso, é por isso que elas se adaptam as diversas estações do ano.

Terceiro Slide

Nós, seres humanos, enxergando essa regularidade desenvolvemos uma ciência que tenta descobrir quais são os fundamentos de todos os processos naturais, por exemplo, vejamos o seguinte trecho de aula ministrada pelo professor Walter Levin no MIT (o qual se lê “*em-ai-ti=emaiti*”).

Como ele soube que ao soltar a bola ela não bateria nele quando voltasse? Como vimos em outras aulas, um dos nossos maiores descobrimentos é que a energia se conserva, portanto esse sistema (pêndulo) transforma toda a energia potencial em energia cinética e depois essa energia cinética é convertida em potencial novamente. Como inicialmente ele tinha energia potencial dada por $U = mgh$ (sendo m a massa, g a constante de gravidade e h a altura), quando o pêndulo ir e voltar, poderá atingir no máximo a altura h .

Quarto Slide

O primeiro a estudar as propriedades do pêndulo foi Galileu Galilei. Ele percebeu que os pêndulos têm a propriedade de conservar o período de oscilação (sob determinadas circunstâncias). Mas o Galileu além de analisar o movimento do pêndulo também sentou as bases do que conhecemos como cinemática, foi ele quem descobriu a regularidade nos movimentos retilíneos uniformes e uniformemente acelerado, além da lei da inércia ou I lei de Newton. É considerado por muitos o Pai da Física, pois foi ele que, além de perceber que a única forma de descobrir aquelas regularidades da Natureza é através do método científico, o colocou em prática e descobriu tudo aquilo do que já falamos.

Quinto Slide

Mas não foi só o Galileu quem se dedicou a estudar a regularidade dos movimentos. Christiaan Huygens estudou meticulosamente o comportamento do pêndulo e a partir dos seus estudos desenvolveu o relógio de pêndulo. Observe que mesmo hoje o princípio de funcionamento de nossos relógios é o mesmo, só ficou mais complexo. Outro cientista que estudou o pêndulo foi Robert Hooke. Ele percebeu que o comportamento do

pêndulo era similar ao comportamento dos sistemas massa mola, ambos sistemas físicos se comportam como sistemas de vaivém periódico. O determinismo intrínseco do sistema massa-mola permitiu a Hooke formular a famosa lei de Hook a qual nos permite determinar a massa de muitos objetos (*fazer o experimento da mola*).

Sexto Slide

Observe que o experimento nos permite formular uma lei, a qual conhecemos como lei de Hooke, onde a força de restauração da mola é proporcional à massa que é pendurada no extremo da dela. Com essa lei simples podemos determinar a massa de outros objetos, utilizando para isso uma mola. Esse princípio básico de funcionamento é o que permeia as balanças que vemos nos supermercados, até mesmo as eletrônicas.

Sétimo Slide

Outro sistema analisado por Hooke foi o pêndulo cônico. Na sua análise ele determinou as bases do movimento circular e a existência da força centrípeta. Diferentemente da ideia de René Descartes e Christiaan Huygens, Hooke percebeu que no movimento circular o corpo sempre tende a se mover em linha reta (inércia – falar sobre o termo sair pela tangente) mas muda continuamente de direção devido à força em direção ao centro de rotação. Hooke, baseado nessa descoberta, comentou numa carta a Newton que o movimento dos planetas em torno do sol deveria ter origem numa força que apontasse na direção do Sol. Infelizmente Newton, ao que parece, não colaborou com Hooke e anos depois publica sua obra magistral, principia, onde plasma as ideias de Hooke como sendo próprias.

Oitavo Slide

(Passar o vídeo da maçã) Mas nós não podemos descartar a contribuição de Newton, que foi enorme. Ele estende o conceito de gravitação para a própria Terra e afirma que o peso se deve à atração que a Terra exercer sobre os corpos, ele faz ainda mais, ele afirma que a mesma força que mantém junto os planetas, é a que mantém a Lua e é a que nos mantém presos ao chão da Terra. Hoje em dia utilizamos o resultado de Newton e podemos explicar o porquê de as massas suspensas esticarem a mola. Isso se deve ao fato da força de Gravidade puxar as massas para o centro da Terra e a mola puxa as massas no sentido contrário com uma força de mesma intensidade, conceito de equilíbrio de forças.

Newton era ousado, ele afirmou que se disparássemos uma bala de canhão com suficiente velocidade essa bala ficaria rodando em torno da Terra. Na época dele isso era impossível, mas hoje em dia os seres humanos fazem isso corriqueiramente. Colocamos satélites de forma relativamente simples e podemos prever em que posição devemos colocar de forma a que ele fique parado sempre sobre o mesmo lugar (geoestacionário).

Nono Slide

De fato, esse poder de determinação nos permitiu colocar um satélite na órbita de um cometa. Em 2 de março de 2004 a agência espacial europeia (ESA) enviou a sonda espacial Rosetta com o objetivo de interceptar o cometa 67P Churyumov-Gerasimenko. (passar o filme).

A sonda foi enviada para uma órbita próxima à de Júpiter e foi colocada para hibernar por 3 anos, desde maio de 2011, até que o cometa estivesse suficientemente próximo do Sol para Rosetta interceptar (pois os painéis solares devem captar energia para ela funcionar), o único que foi feito antes da hibernação foi colocar ela para rotar de forma que os painéis sempre captassem luz solar suficiente para não desligar completamente. A Rosetta foi programada para acordar e enviar uma mensagem à Terra no dia 20 de janeiro de 2014. Após acordar os controladores em Terra encaminharam Rosetta na direção de Churyumov-Gerasimenko e em 6 de agosto do mesmo ano Rosetta o intercepta em 12 de novembro de 2014. O módulo Philae pousa (bate) na superfície do cometa, mas desafortunadamente Philae pousou numa região escura que não lhe permite captar luz, fazendo com que ela se desligasse após um tempo.

O pouso sobre o cometa é, a nosso ver, o maior feito que o determinismo/previsibilidade das leis de Newton nos tem permitido, alcançar um corpo que viaja a aproximadamente 100 000 km/h e estava a 514 milhões de quilômetros da Terra.

Décimo Slide

Mas o determinismo não só permite atingir coisas extremadamente grandes (o cometa tem 10 quilômetros e Rosetta é do tamanho de um fusca). Somos capazes de coordenar a colisão de prótons contra prótons dentro do Grande Colisor de Hádron (LHC em inglês). Utilizando campos magnéticos ultrapotentes, os físicos da organização

Européia para a Pesquisa Nuclear (CERN em Francês), conseguem acelerar grupos de prótons em direções opostas. Para isso são colocados a rodar 2808 pacotes cilíndricos de 7,48 cm de comprimento 1 mm^2 de seção transversal, contendo aproximadamente 115 bilhões de prótons por pacote². O LHC permite colocar para rodar em direções opostas os pacotes de prótons e em quatro pontos da circunferência que eles percorrem os feixes se cruzam e acontecem as colisões. Quando um grupo de prótons se encontra podem acontecer até 20 colisões, mas como cada pacote se cruza nesses pontos 11000 vezes por segundo, a quantidade efetiva de colisões por segundos é de 600 bilhões (lembre-se que são 2808 pacotes rodando simultaneamente). Para se ter uma ideia, um dos detectores consegue bater 40 milhões de fotos por segundo, cada uma com uma resolução de 80 milhões de pixels. Todas essas fotos são encaminhadas para uma *fazenda de computadores* onde são selecionadas quais fotos merecem ser estudadas pelos cientistas.

Décimo Primeiro Slide

Essas impressionantes façanhas de determinação quase absoluta dos resultados de um evento futuro, impeliu a Pierre Simão de Laplace a afirmar:

“Nós podemos tomar o estado presente do universo como o efeito do seu passado e a causa do seu futuro. Um intelecto que, em dado momento, conhecesse todas as forças que dirigem a natureza e todas as posições de todos os itens dos quais a natureza é composta, se este intelecto também fosse vasto o suficiente para analisar essas informações, compreenderia numa única fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e os do menor átomo; para tal intelecto nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, seria presente perante seus olhos”

De fato, para os deterministas clássicos, tudo era tudo; no entanto, eles mesmos admitem que seria impossível para alguém “mortal” poder dominar toda a informação relevante para tal fato o que nos leva de volta, de certa forma, a um universo desconhecido.

Décimo Segundo Slide

O determinismo Laplaciano imperou na Física desde o advento das leis de

Newton até o final do século 19. Nesses dias, novas pesquisas indicavam que o precioso determinismo não era absoluto. James Clerk Maxwell, famoso pela sua teoria do eletromagnetismo (luz é uma onda eletromagnética), na suas pesquisas sobre como descrever as partículas que formam os anéis de Saturno ele desenvolve um método que nos permite descrever o comportamento de todas as moléculas de um gás (ideal), nesse trabalho ele percebeu que a instabilidade de sistemas físicos impossibilitam os seres humanos de conhecer o futuro do sistema já que as condições atuais são aproximadamente conhecidas³. Essa afirmação do Maxwell é a chave do determinismo. Para um sistema ser considerado determinista ele deve suportar ser cutucado e retornar ao mesmo estado no qual estava, isso os físicos chamam de sistema estável, por exemplo, uma bolinha de gude no fundo de uma caneca de sopa, se você chacoalhar a caneca, depois de um tempo a bolinha retornará ao fundo. Conforme Maxwell afirmou, existem sistemas instáveis e que ao serem perturbados de formas diferentes podem nos levar a estados diferentes, falaremos mais sobre isso no futuro com mais detalhe.

Décimo Terceiro Slide

O lido de tudo isso é que, essa falta de conhecimento aparente nos obriga a procurar novas formas de entender o Universo, um pouco diferente daquelas que Galileu nos ensinou a utilizar, não podemos nos limitar à dependência *ad eternum* do determinismo imposto pelas lei da Física. Se restringirmos a nossa mente a esse tipo de simplicidade não seríamos capazes de entender coisas tão intrigantes como a distribuição de Galáxias no nosso Universo.

A teoria do *Big Bang* nos diz que nosso Universo se originou numa grande explosão (não teve barulho), na qual a energia se transmutou nas partículas que conhecemos hoje: elétrons, prótons, nêutrons, fótons, etc, e estes, por sua vez, se combinaram para formar as estrelas as quais se agruparam e formaram galaxias. Mas se em princípio não existia uma direção preferencial para tudo se expandir, devemos pressupor um Universo esférico e as estruturas a serem formadas deveriam ser mais o menos iguais (as galaxias) já que a gravidade, que é quem as forma, impõe a simetria esférica também. Mas quando olhamos para o céu vemos que não é assim, temos galaxias de varias formas, umas que até desafiam a nossa intuição, as Galáxias em Espiral, como a nossa. Porquê dessa variedade, se a lei que rege a atração entre as estrelas é a velha conhecida e determinista equação da Gravitação Universal de Newton? Muito

provavelmente se deve àquilo que Maxwell falou, pequenos desvios iniciais nos levam a resultados novos.

Décimo Quarto Slide

O interessante é que não é só a gravidade agindo sobre as enormes estrelas que cria padrões diversos, em escala microscópica também é possível observar diferentes padrões. Por exemplo, já a algum tempo os Físicos sabem que o elétron, e outras partículas, tem um ímã interno. Esse ímã é o responsável pelo magnetismo observado nos chamados materiais Ferromagnéticos. É possível entender a origem do magnetismo nesses materiais desde uma perspectiva da Mecânica Quântica, mas simplificações adequadas nos permitem formular um modelo mais simples desse sistema. Um desses modelos é o modelo de Ising, o qual considera cada elétron como fixos em uma rede, o ímã de cada um desses elétrons pode interagir com os outros elétrons vizinhos (próximos) e também sente o efeito da temperatura (a qual pode inverter a direção do ímã, o fazendo girar). Quando um sistema de Ising é simulado no computador o resultado é a formação de padrões como os mostrados nesta transparência, assim vemos que novamente, mesmo tendo uma lei física bem determinista (essa lei é dada pelo modelo de Heisenberg para o magnetismo) o resultado é um sistema que apresenta uma organização aparentemente aleatória.

Décimo Quinto Slide

Mas a natureza sempre é mais surpreendente do que podemos capturar num modelo simples como o modelo de Ising. Quando olhamos com um microscópio, especialmente desenhado para ver o magnetismo, uma amostra de permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) se observa que as estruturas que carregam o magnetismo nessa amostra (que podem ser mais complexas do que simples elétrons, por exemplo um grupo de átomos) formam linhas bem comportadas e ordenadas, porém estruturadas, e desde o ponto de vista fundamental a mesma lei geral que governa o comportamento do modelo de Ising é a que governa as estruturas formadas no permalloy a menos de pequenas sutilezas referentes a forma como os átomos de Ni (níquel) interagem com os átomos de Fe (ferro).

Décimo Sexto e Décimo Sétimo Slide

O que mais chama a atenção é que essa estrutura observada no permalloy também é observada em outros sistemas físicos que não tem nada de magnéticos, o

primeiro exemplo mostrado aqui são as listras de uma zebra, observe que é o mesmo padrão que vimos no caso do permalloy. Você até pode imaginar que de alguma forma a melanina que forma essa pigmentação na zebra seja dotada de propriedades magnéticas que de alguma forma determinam o padrão zebrado do equídeo em questão.

Décimo Oitavo Slide

Mas não é assim, tanto não é assim que podemos ver o mesmo padrão em um sistema que sabidamente (você sabe) não é o magnetismo que produz o efeito em questão. Quando o vento sopra sobre a areia se observa o mesmo tipo de padrão, os grãos de areia se auto-organizam, como dizem os físicos, nessa estrutura de linhas similares a vista no permalloy e nas zebras.

Décimo Nono Slide

No entanto os materiais magnéticos não só formam padrão em linha, também formam outros padrões bem mais complexos como é o caso do mostrado neste slide, onde se utiliza Ferro, Gadolínio e Térbio.

Vigésimo Primeiro Slide

Mas a natureza não fica para atrás nessa forma, a mesma é observada também num tipo de baiacu encontrado na região do Congo (África). Padrão esse formado igualmente pela melanina do peixe. Assim, somos impelidos a afirmar que existe algo tão importante quanto as leis que governam os sistemas físicos, e esse algo parece estar relacionado com aquilo que o Maxwell afirmou na sua palestra de 1873.

Vigésimo Primeiro Slide

A explicação para a formação dos padrões começou a ser obtida de forma acidental na URSS na década de 1950 por Boris Belousov quando ele misturou brometo de potássio, sulfato de cério, ácido malônico e ácido cítrico. Ele observou que ao misturar os componentes e manter agitado o sistema a cor deste mudava continuamente entre azul, roxo, verde, vermelho, de forma aparentemente aleatória. Essa descoberta científica foi tão impactante na época que as revistas científicas não aceitaram publicar o trabalho alegando que tinha sido forjado já que as leis (do determinismo) da Física proibiam esse tipo de comportamento. Posteriormente se observou que se uma amostra do material é deixada em repouso sem perturbar ele forma espontaneamente padrões como os

mostrados nessa figura aqui, ou seja, não é só o magnetismo o único capaz de criar padrões, a partir da Química também se pode obter padrões e todos os seres vivos na Terra somos governados por interações Químicas.

Vigésimo Segundo e Vigésimo Terceiro Slide

Assim era óbvio que tentássemos entender a nossa própria existência a partir da formação de padrões. Parece promissor pensar que assim como os diversos padrões observados no caso dos sistemas magnéticos derivava das pequenas perturbações realizadas em sistemas físicos fundamentalmente similares, a pluralidade de formas de vidas existentes na Terra poderia ser entendida como padrões diferentes, cada uma resultantes de pequeninas perturbações realizadas nos primeiros seres que habitaram este planeta, de fato, essa é a essência da Teoria da evolução de Darwin. O que está faltando é tentar entender a formação de organismos vivos a partir do carbono e outros elementos que são inanimados. Na verdade, essa mesma teoria de formação de padrões nos faz crer que se em um mesmo lugar estavam presente os componentes necessários para a vida pois ela é uma das tantas possibilidades que o sistema pode adquirir.

Não tão fundamental quanto a pergunta anterior, mas igualmente difícil de responder é se perguntar, como as células da blástula sabem que tem que se diferenciar? Alan Turing acreditava que esse processo acontecia de forma espontânea assim como a formação das linhas nas superfícies magnéticas ou como a reação oscilante de Belousov, para isso ele formulou um modelo matemático que tentava explicar a morfogênese. Hoje sabemos que a morfogênese é bem mais complexa do que Turing imaginou, mas o modelo desenvolvido por ele explica as ramificações dos pulmões nos vertebrados, o crescimento das cabeças das hidras após serem cortadas e o crescimento do folículo capilar dos ratos.

Vigésimo Quarto Slide

Falando em ramificações dos pulmões, outra estranha similaridade que é perceptível a todos nós somos a existente entre os bronquíolos e as árvores. Ambos apresentam o mesmo padrão geral, isto é, se você pegar um ramo tanto dos pulmões quanto das árvores você verá que eles continuam parecendo um pulmão e uma árvore.

Vigésimo Quinto Slide

Igualmente acontece com este tipo de Brócolis, ele é igual a si mesmo em diversas escalas. Esse comportamento os matemáticos chamam de Fractais, dessa forma

tanto os pulmões, como as árvores quanto os brócolis têm comportamento fractal. Além destes exemplos podemos citar os rios visto desde cima, cada afluente parece o próprio rio; a costa de um país, se fizer um zoom obterá um traçado similar.

Vigésimo Sexto Slide

O primeiro a perceber a existência de estruturas fractais foi Benoit Mandelbrot. O conjunto de Mandelbrot é o fractal mais famoso, mas não é o único. Como é um fractal, é possível encontrar várias cópias da mesma figura dentro de si mesma. No entanto, nem todas essas cópias são exatamente iguais. Além disso tem regiões dentro do conjunto que tem outras formas, as quais também se repetem a medida que fazemos zoom, o que é chocante é o fato das formas nos serem estranhamente familiares, formas que encontramos em plantas e animais. O notável de tudo isso é que para se obter essa complexa figura não foi necessária uma equação matemática complexa, de fato, a equação é bem simples:

$$z \leftarrow z^2 + C$$

(Nessa equação z é um número complexo). Essa é a ideia que permeia toda uma nova área da Física, a Física de sistema complexos, onde se pressupõe que nem sempre fenômenos complexos tem explicações complexas. (Se o professor tem acesso a um laboratório de informática é recomendável permitir que em algum momento os alunos brinquem com software Chaos o qual é possível de ser obtido livremente no site: <https://sourceforge.net/projects/xaos/files/XaoS/3.5/xaos-3.5-win32.exe/download>)

Vigésimo Sétimo Slide

Fractais são uma característica daqueles sistemas aos quais Maxwell fez referência e que hoje chamamos de sistemas caóticos. No entanto, nem todo sistema que apresenta comportamento fractal é de origem caótico. O que importa de tudo o que analisamos até aqui é que a Física deve abandonar seus rígidos marcos teóricos a fim de poder tratar de problemas tão complexos que seria impossível (em alguns casos) de elaborar uma teoria capaz de descrever. Um exemplo desse tipo de sistema é o sistema que tem por característica a curva apresentada neste slide, note o caráter fractal da mesma.

Vigésimo Oitavo Slide

Essa curva está associada com um dos maiores problemas que enfrentaremos como civilização nos anos que estão por vir, a superpopulação de seres humanos na Terra. Acredita-se que nossa espécie, homo sapiens, tenha por volta de 200 mil anos na Terra. Há cerca de 20 mil anos o número de humanos ficou entre 10.000 – 1.000 casais em toda a Terra, devido a um Super Vulcão da Lagoa de Toba em Sumatra. Esse número de humanos cresceu lentamente até próximos de 1 bilhão de pessoas em 1800 (revolução industrial) e de lá para cá já estamos em 7 bilhões de pessoas no planeta. Ou seja, demoramos 19,8 mil anos em chegar a um bilhão e nos últimos 200 anos aumentamos 7 vezes esse número. A pergunta que surge é, até onde vamos crescer? Precisamos saber isso para planejar o futuro, preparar alimentos, água, níveis de poluição, etc. Tudo isso deve ser estimado para evitar conflitos futuros. No entanto, as observações de Maxwell novamente nos colocam frente a um impasse, pode ser que essa previsão precisa não seja possível.

Vigésimo Nono Slide

Para entender isso, vamos analisar um exemplo bem simples, a evolução da população de ovelhas na Tasmânia. Com a chegada dos Ingleses na ilha, por volta de 1642, foi introduzida a ovelha. Sem predadores naturais na ilha e com uma vasta quantidade de alimento a população de ovelhas cresceu rapidamente (similar a humana após a rev. Industrial), no entanto, esse aumento fez a quantidade de comida disponível diminuir e a população de ovelhas atingiu um patamar máximo, oscilando em torno desse valor máximo.

Trigésimo Slide

Em 1976, o biólogo Robert May propôs um modelo matemático para descrever o crescimento populacional de uma comunidade, um modelo extremamente simples o qual diz que o número de indivíduos de uma população no futuro, N_{i+1} , será proporcional ao número de indivíduos na atualidade, N_i , vezes uma constante de crescimento, r , menos a capacidade do ambiente em manter a população no local (quantidade de comida) o qual varia de forma contínua, N_i/K . Ainda que não seja o modelo mais correto para descrever a evolução de uma população, com escolhas adequadas de r e K podemos descrever perfeitamente o comportamento de várias comunidades (bactérias, ovelhas). Do ponto de vista da Física (Matemática) esse modelo

apresenta uma sensibilidade extrema à escolha de r , para certos valores de r a população pode ficar oscilando entre 2, 4, 6, 8 pontos, para outros valores de r não mais podemos saber o valor final da população, ela oscilará entre muitos pontos de forma descontrolada.

Assim vimos nestes Slides que a Física do século 21 tem o desafio de ter que trabalhar com sistemas os quais tendem a se organizar devido a regras subjacentes, mas esses mesmo sistemas podem apresentar comportamentos que a princípio parecem ser completamente desordenados, mas não é o caso, como veremos, esses sistemas na verdade podem ser caracterizados de forma diferente à convencionalmente feita com os sistemas tradicionais.

Introdução aos conceitos de Causalidade e Determinismo mediado por um filme

Orientações para o aluno

Nesta atividade assistimos ao filme “As férias de minha vida”, uma divertida comédia que espero auxilie na compreensão do conceito de causalidade e, indiretamente, determinismo. Agora solicito que respondas as perguntas colocadas a continuação. Reitero que este questionário não é avaliativo, o e seu objetivo é nortear o nosso próximo encontro no qual discutiremos um pouco sobre algumas partes deste filme e sua relação com os conceitos acima expostos.

Questões

1. Relate os objetivos de Geórgia Bard, no início do filme? Atenção: Antes do acidente!

2. Caso Geórgia não se acidentasse, o futuro dela mudaria, explique?

3. Qual foi o diagnóstico do médico sobre o acidente de Geórgia?

4. Relate o que aconteceu com Geórgia após o diagnóstico do médico?

5. No livro de possibilidade de Geórgia Bart havia vários sonhos, ela tinha previsão de quando iria virar em realidade? Explique.

6. Você consegue identificar partes do filme que estejam ligadas, com acontecimentos em seu cotidiano? Explique.

Brincando com o pêndulo duplo

Professora: Francisca Pereira

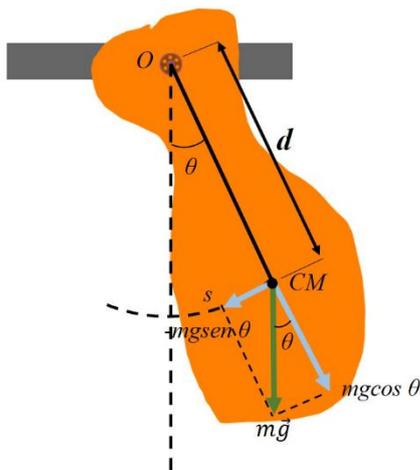
Aluno: _____

Data: __/__/____

Duração: cinco aulas de 45 mim.

Introdução

Da perspectiva de um cientista, um pêndulo é constituído por um corpo que está preso num ponto do seu corpo o qual permite que ele possa oscilar livremente, desde que ele seja perturbado de sua posição de equilíbrio.



As oscilações se devem a que sempre age sobre o corpo uma força que tenta levar ao corpo a sua posição de equilíbrio, mas devido a inercia do movimento, o corpo continua a oscilar. Em condições ideais, um pêndulo oscila mantendo fixo o tempo que demora em ir desde um extremo a outro. Esse tempo é conhecido como período de oscilação. O pêndulo mais simples que podemos

construir consiste de uma massa amarrada num extremo de um barbante o qual é fixado em um ponto que permita o pêndulo oscilar, esse pêndulo recebe o nome de pêndulo simples.

Encontramos pêndulos em diversos lugares, um dos que mais gosto de lembrar é o um brinquedo que tem por nome o nome utilizado em física, pêndulo, no qual as pessoas são presas a uma corda inextensível, elevados a grandes alturas desde onde são deixadas cair livremente, mas devido à corda, a trajetória seguida é um arco de circunferência.

O movimento de vai e vem descrito pelo corpo num pêndulo é similar ao movimento descrito por um skatista em pista em forma de U (*half-pipe*, na linguagem do skate), própria para prática do esporte. Tipicamente os skatista iniciam seu movimento se posicionando no topo da pista numa parte plana, se não for dado um impulso inicial, o skatista nunca alcança a parte vertical do outro lado da pista e o movimento seria similar ao de um pêndulo, mas devido ao atrito com a pista e com o ar esse movimento

rapidamente diminui de amplitude até parara o fundo da pista.

Nesta experiência vamos analisar o movimento descrito não por um pêndulo e sim por um pêndulo acoplado a outro pêndulo, o chamado pêndulo duplo.

Procedimento experimental

Os materiais utilizados nesta atividade são: Suporte para os pêndulos, e kit de pêndulos, o qual é constituído por duas bases, 3 pares de braços nomeados de P1, P2 e P3, parafusos e porcas, chave 13 e uma régua, conforme a figura 4.

Figura 34: No kit terá o suporte com o parafuso onde ficará penduradas as bases, como ilustrado na figura (a). Na ilustração (b) temos os braços, P1, P2 e P3, juntamente com as bases

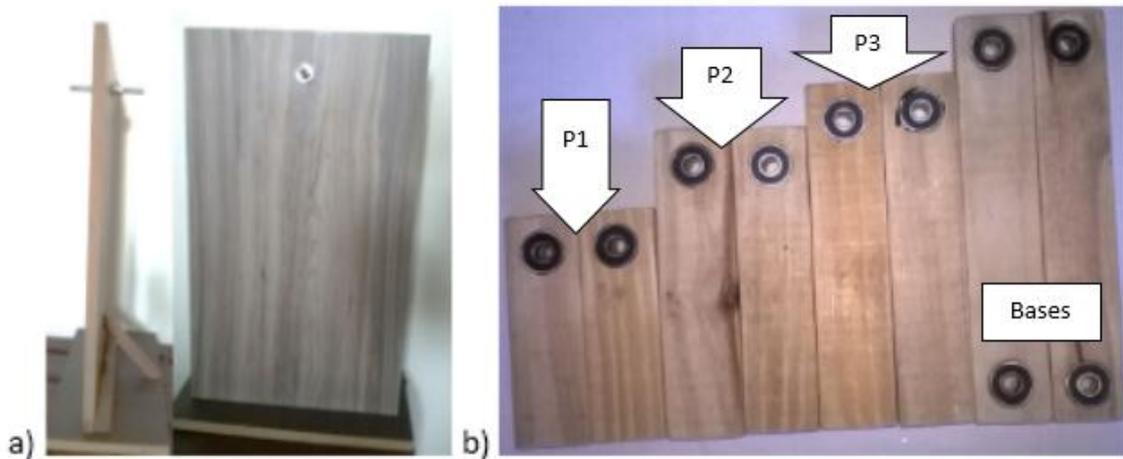


Figura 1: No kit terá o suporte com o parafuso onde ficará penduradas as bases, como ilustrado na figura (a). Na ilustração (b) temos os braços, P1, P2 e P3, juntamente com as bases. Fonte:

Arquivo da Autora.

Siga atentamente o procedimento descrito a seguir:

Experiência A

Em esta experiência analisaremos o movimento executado por um pêndulo simples. Nosso pêndulo será formado somente pelas bases que estão no kit de pêndulos.

Pegue o par de bases e prenda-as a cada lado do suporte utilizando para isso o parafuso, a porca e a chave 13, conforme se mostra na figura a seguir.



Figura 1: *Suporte com as duas bases anexadas. Fonte: Arquivo da autora.*

Em seguida, mova o extremo livre das bases lateralmente de forma que o ângulo que a base forma com a horizontal seja aproximadamente a mesma para cada uma das bases; a seguir solte e deixe oscilar livremente (sem perturbar). Repita pelo menos 4 vezes o procedimento anterior variando o ângulo inicial, porém, mantendo o mesmo ângulo inicial igual para cada uma das bases. Utilize a tabela a seguir para registrar suas observações:

Ângulo	Observação
30 °	

45 °	
60 °	
90 °	

--	--

Questionário da experiência A

Com a ajuda da tabela de observações, responda as seguintes questões:

1. Vocês conseguem prever os movimentos realizado pelas bases antes mesmo de serem soltas? Explique.

2. Caso seja possível para você prever o comportamento do pêndulo, explique se esse comportamento previsto se modifica com a variação do ângulo inicial?

3. A mudança do ângulo afeta o movimento realizado pelas bases?

4. Você percebeu alguma diferença entre o movimento realizado por cada base?

5. Si colocamos para oscilar somente o pêndulo à esquerda da base e repetimos o mesmo experimento várias vezes, colocando sempre o mesmo ângulo inicial, o movimento executado pelo pêndulo é o mesmo ou varia? Repita este experimento para vários ângulos?

Experiência B

Em esta experiência analisaremos o movimento executado por um pêndulo duplo. Nosso pêndulo duplo será formado pelas bases, utilizada na experiência anterior,

e o braço identificado como P1 no kit de pêndulo.

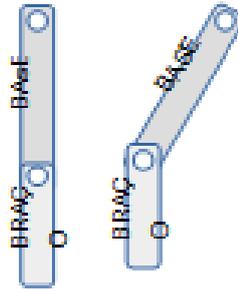


Figura 3. Disposição inicial e lateral do braço e a base.

Adicione os braços P1 nos extremos de cada base, utilizando para isso outro parafuso com a porca, aperte firmemente os parafusos mas verifique que o braço possa se mover livremente.

Mova lateralmente as bases deixando os braços na direção vertical, como se mostra na figura 3, procure atingir o mesmo ângulo em ambas das bases. Libere simultaneamente ambas bases de forma a que estas possam se mover livremente. Repita o procedimento anterior pelo menos para 4 ângulos diferentes, porém, mantendo o mesmo ângulo inicial igual para cada uma das bases. Utilize a tabela a seguir para registrar suas observações:

Ângulo	Observação
30°	

45°	
60°	

90°	
-----	--

Questionário da experiência B

Com a ajuda da tabela de observações, responda as seguintes questões:

- 1. Vocês conseguem prever os movimentos realizado pelo conjunto base + braço P1, antes mesmo de ser solto? Explique.

- 2. Caso seja possível para você prever o comportamento do pêndulo, explique se esse comportamento previsto se modifica com a variação da altura inicial?

3. Em algum dos ângulos que você escolheu, o movimento foi similar ao observado na experiência A?

4. O movimento do sistema base+P1 do lado esquerdo da base é igual ao movimento do lado direito da base?

5. Si colocamos para oscilar somente o pêndulo à esquerda e repetimos o mesmo experimento várias vezes, colocando sempre a mesmo ângulo inicial, o movimento executado pelo pêndulo é o mesmo ou varia? Repita este experimento para várias alturas?

Experiência C

Nesta experiência compararemos o movimento de diversos pêndulos duplos com comprimentos de braço diferente.

Monte do lado direito da base um pêndulo duplo formado pela base e o braço P1. Do lado esquerdo monte a base e varie o braço a ser utilizado, escolhendo dentre os braços P1, P2 e P3 que acompanham o kit de pêndulos. Desloque o braço até formar um ângulo de 90° com a vertical. Permita que o sistema oscile livremente e preencha a tabela a seguir com suas observações

Braço	Observação
P1	
P2	

P3	

Questionário da experiência C

1. Qual dos pêndulos duplos tem movimento mais previsível (próximo do movimento oscilatório do pêndulo simples da experiência A)?

2. Descreva o efeito da mudança do braço

3. Qual dos pêndulos: base+P1, base+P2, base+P3, pode ser considerado mais desordenado? Você esperava esse resultado?

O Fantástico movimento da roda de água

Professora: Francisca Pereira

Aluno: _____

Data: __/__/__

Duração: 90 minutos

Introdução



Antes da revolução industrial (invenção da máquina de vapor) uma das máquinas que muito ajudou o homem foi a roda de água. Uma das suas principais aplicações foi o uso em moinhos destinados a manufaturação em farinha. É um dispositivo mecânico muito simples, consiste em uma roda com pás sobre as quais se deixa cair água o que produz que está se mova de forma quase uniforme, se o fluxo de água for constante. Desde o ponto de vista físico, a roda converte parte da energia potencial armazenada na água (devido à diferença de altura) em trabalho mecânico. Esse mesmo princípio é utilizado nos dias atuais para mover as turbinas das hidroelétricas, como por exemplo Itaipu.

Nesta experiência guiada, o professor mostrara uma roda de água diferente, construída com o aro de uma bicicleta e copos plásticos furados no fundo. Veremos que dependendo do fluxo de água que atinge a roda de água, ela executará diversos movimentos.

Procedimento Experimental

Em se tratando de uma experiência guiada pelo professor, não será necessário a montagem experimental.

O kit roda de água é constituído por uma base, um aro de bicicleta, oito parafusos, oito porcas, uma mangueira, e 3 conjuntos de oito copos. Os copos têm 3 perfurações, duas laterais, para prender com a porca e o parafuso à roda, e um no fundo do copo. O orifício no fundo do copo caracteriza cada grupo, sendo que os copos têm orifícios pequenos, médios ou grande.

Para realizar o experimento fixe a roda ao suporte de forma que esta fique firme. A continuação prenda um dos 3 conjuntos de copos à roda. Coloque a saída da mangueira no orifício do topo do suporte e o outro extremo na saída da torneira. Ligue a torneira controlando o fluxo de água despejada sobre o copo, como não temos uma forma de medir esse fluxo, nos referiremos a ele como alto fluxo e baixo fluxo, sendo estes adjetivos totalmente subjetivos ao professor.

Experiência A

O conjunto de copos que utilizaremos para esta experiência é aquele com o maior orifício. Para iniciar o experimento posicione o copo marcado na parte superior da roda. Coloque o fluxo de água baixo (pouca vazão de água) e deixe que a água encha o copo. Solicite aos alunos que fixem sua atenção no movimento do no copo marcado peça para anotarem suas observações. Repita o procedimento anterior, procurando sempre esvaziar todos os copos antes de iniciar.

Fluxo	Observações
Baixo	
Alto	

Experiência B

Substitua todos os copos pelo conjunto de copos com outro orifício intermediário. Repita a experiência A com esse novo conjunto de copos e anote seus resultados.

Fluxo	Observações
Baixo	
Alto	

Experiência C

Substitua todos os copos pelo conjunto de copos com o conjunto com o menor orifício. Repita a experiência A com esse novo conjunto de copos e anote seus resultados.

Fluxo	Observações
Baixo	
Alto	

Questionário

1. Quando o primeiro copo começa a encher de água você pode prever para que lado a roda vai rodar?

2. A quantidade de água que preenche o primeiro copo e a mesma quantidade que preenche os outros copos? Explique

3. Na sua opinião, o que faz a roda da água rodar? Explique

4. Na sua opinião, porque em algumas situações a roda da água para de rodar? Explique

5. Na sua opinião, por que em algumas situações a roda de água inverte o sentido de rotação? Explique

6. Que tipos de movimento a roda de água realiza?

7. Você consegue estabelecer uma relação entre a vazão de água, o diâmetro dos orifícios com e o tipo de movimento realizado pela roda?

8. Você considera o movimento da roda como sendo ordenado, desordenado, ou as vezes ordenado ou as vezes desordenado? Explique

9. Você consegue observar alguma ligação entre o Pêndulo Duplo e Roda da água?

Previsão do tempo

Professora: Francisca Pereira

Aluno: _____

Data: __/__/____

Duração: oito dias

Introdução

Indubitavelmente durante mais de uma vez ao dia, em todos o mundo, uma das perguntas que mais será feita é será que chove hoje? É que a resposta a essa pergunta pode afetar o nosso dia, o tipo de roupa que devemos vestir e se devemos ou não levar guarda-chuva, entre outras coisas. É tão importante essa pergunta que em quase todo o mundo nos noticiários existe um segmento dedicado exclusivamente a tentar responder essa questão. Nos dias atuais isso é possível porque a ciência da meteorologia tem tido avanços significativos, os quais permitem estabelecer até previsões de alguns dias, não só de hoje ou de amanhã. As pessoas que se dedicam a estudar está ciência são chamados de meteorologistas e eles provocam nas pessoas uma mistura de amor e ódio, estando muitas vezes nas mesmas categorias que os árbitros de futebol. Isso porque a meteorologia, ainda que baseada nas chamadas ciências exatas, está longe de ser uma ciência exata, pois ela não tem por objetivo responder com certezas e se com probabilidade de que um evento aconteça.

Neste trabalho analisaremos quão precisa é a meteorologia e para isso anotaremos todas as previsões dadas por um meteorologista durante o período de uma semana.

Procedimento experimental

Mas do que uma experiência a ideia do tema é anotar as previsões do tempo feitas para o dia da coleta e os próximos dias a partir da data (que variará dependendo da fonte utilizada para pesquisar), obtendo essa informação a partir de algum meio de comunicação como jornal, televisão, site de internet, etc. O ideal é tentar utilizar sempre o mesmo meio de informação de forma a não misturar as diversas formas de se fazer previsão. Utilize as folhas a seguir para anotar os resultados das previsões durante a semana.

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta da segunda-feira.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Dia	Previsão
Segunda	
Terça	
Quarta	
Quinta	

Sexta:	
Sábado	
Domingo	

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta da Terça-feira.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Dia	Previsão
Terça	
Quarta	
Quinta	
Sexta:	

Sábado	
Domingo	

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta da Quarta-feira.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Quarta	
Quinta	
Sexta:	
Sábado	

Domingo	

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta da Quinta-feira.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Dia	Previsão
Quinta	
Sexta:	
Sábado	

Domingo	
----------------	--

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta da Sexta-feira.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Dia	Previsão
Sexta	
Sábado	
Domingo	

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta de sábado.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Dia	Previsão
Sábado	
Domingo	

Previsão do Tempo

Fonte: _____ . Coleta de Domingo.

Preencha a tabela relatando se correu mudança na previsão dos seguintes dias:

Dia	Previsão
Domingo	

Clima nos dias da semana observados

Na tabela a seguir relate o comportamento do clima no dia em questão (O relato deve ser feito no dia seguinte, ou seja, o relato de segunda é feito na terça e o de terça na quarta e assim por diante).

Dia	Observação
Segunda	
Terça	

Quarta	
Quinta	
Sexta:	
Sábado	
Domingo	

Analise das observações

Comparando as tabelas das previsões com a tabela de comportamento do clima nos dias observados preencha com X nos dias em que a previsão acertou o

comportamento do clima.

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda							
Terça							
Quarta							
Quinta							
Sexta							
Sábado							
Domingo							

Questionário

Com a ajuda da tabela de observações, responda as seguintes questões:

1. A partir da tabela anterior, você pode afirmar que as previsões do tempo sempre acertam ou sempre erram ou as vezes acertam.

2. A partir da tabela anterior, você pode determinar até quantos dias a previsão do tempo é mais acertada?

3. Você é capaz de estabelecer um paralelo com algum dos experimentos realizados em sala de aula?

4. Você é capaz de estabelecer um paralelo especificamente entre as previsões do tempo e as previsões realizadas com a tábua de Galton?

5. Na Tábua de Galton, porque era mais difícil acertar a previsão quando se aumentava o número da linha?

6. Você é capaz de explicar o porquê as previsões do tempo erram a longo prazo?

7. Você é capaz de estabelecer um paralelo entre as respostas dada no item 5 e 6?
