



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

**CAROLINA ALVES RIBEIRO**

**PROPOSTA DE ENSINO DE MODELOS VISCOELÁSTICOS DE MAXWELL E DE  
KELVIN-VOIGT**

**FORTALEZA**

**2019**

CAROLINA ALVES RIBEIRO

PROPOSTA DE ENSINO DE MODELOS VISCOELÁSTICOS DE MAXWELL E DE  
KELVIN-VOIGT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Lucas Nunes de Oliveira

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R368p Ribeiro, Carolina Alves.  
Proposta de ensino de modelos viscoelásticos de Maxwell e de Kelvin-Voigt / Carolina Alves Ribeiro.  
– 2019.  
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,  
Curso de Física, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Cláudio Lucas Nunes de Oliveira.
1. Ensino interdisciplinar de física e biologia. 2. Modelos viscoelásticos. 3. Células cancerosas. 4.  
Analogias. I. Título.

CDD 530

---

CAROLINA ALVES RIBEIRO

PROPOSTA DE ENSINO DE MODELOS VISCOELÁSTICOS DE MAXWELL E DE  
KELVIN-VOIGT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Física do Centro  
de Ciências da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
licenciada em Física.

Aprovada em: 02 de Dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Cláudio Lucas Nunes de  
Oliveira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus e aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio e pelo meu privilégio de priorizar meus estudos.

Ao Prof. Dr. Cláudio Lucas Nunes de Oliveira, por sua atenção e orientação.

Ao Guilherme Alves, por estar comigo em todos os momentos nessa graduação, me apoiar e me confortar.

Aos meus amigos que me acompanham desde minha infância e, também, aos que me acompanham desde o ensino médio, por sempre acreditarem em mim e também me fazerem acreditar em meu potencial.

Aos amigos que fiz ao longo desses oito semestres de graduação, pelo apoio, pelas conversas, ajudas e risadas.

Ao Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis, por tirar tantas dúvidas ao longo desses semestres.

À Profa. Dra. Luciana de Lima, por me mostrar como a docência pode ser bela.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e ao Programa Bolsa de Iniciação Acadêmica (PBIA) por terem contribuído em minha formação acadêmica.

“Rien ne se perd, rien ne se crée: tout se transforme.”

(Antoine Laurent de Lavoisier)

## RESUMO

No Brasil, o ensino de ciências nas escolas encontra muitas barreiras históricas que ainda precisam ser ultrapassadas. A física, por exemplo, é vista pelos alunos como uma das disciplinas menos atrativa e interessante, tanto pela sua forma repetitiva quanto pelo excessivo uso da matemática. Com intuito de deixar suas aulas de física menos abstratas, docentes costumam apresentar exemplos reais do que está sendo estudado. No entanto, mesmo sendo um passo para afastar os discentes da abstração, somente mencionar exemplos não os aproximam do conteúdo. O viés interdisciplinar é uma alternativa a essa forma tradicional de estudar física. Neste trabalho, nós propomos o ensino interdisciplinar e contextualizado entre física e biologia. Nossa proposta considera também o trabalho conjunto entre os professores de tais disciplinas, de forma que os alunos entendam, por exemplo, a relação entre células cancerosas e viscoelasticidade. Isso pode explicar porque células com câncer aumentam sua motilidade, facilitando a metástase. Este trabalho também traz analogias mecânicas que podem ser aplicadas durante o estudo dos modelos viscoelásticos de Maxwell e de Kelvin-Voigt. Por fim, esta proposta traz um questionário que busca facilitar a aprendizagem dos alunos através dessas analogias mecânicas.

**Palavras-chave:** Ensino interdisciplinar de física e biologia. Modelos viscoelásticos. Células cancerosas. Analogias.



## ABSTRACT

In Brazil, science education in high schools faces many historical challenges that still need to be overcome. Physics, for instance, is considered by the students as one of the least attractive and interesting subjects. This is due to repetitive classroom methodologies as well as the bad and intensive use of mathematics. In order to make their classes less abstracts, physics teachers usually present real examples of what is being studied. However, even though such examples can leave the students out of abstraction only citing examples may not be enough. Interdisciplinarity has been used as an alternative to this traditional way of teaching physics. In this monography, we propose the interdisciplinary and contextualized teaching between physics and biology. Our proposal also considers the joint work between teachers of these subjects, so that students can understand, for example, a relationship between cancer cells and viscoelasticity. This can explain why cancer cell motility increases, favoring metastasis. This work also provides mechanical analogies that can be made while studying the viscoelastic models of Maxwell and Kelvin-Voigt. Finally, this proposal also brings a questionnaire in order to facilitate the learning through these mechanical analogies.

**Keywords:** Interdisciplinary teaching between physics and biology. Viscoelastic models. Cancer cells. Analogies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mola . . . . .	33
Figura 2 – Fluido newtoniano . . . . .	34
Figura 3 – Associação de resistores em série . . . . .	37
Figura 4 – Associação de resistores em paralelo . . . . .	37
Figura 5 – Comportamento elástico linear . . . . .	38
Figura 6 – Comportamento viscoso linear . . . . .	39
Figura 7 – Modelo de Maxwell . . . . .	41
Figura 8 – Modelo de Kelvin-Voigt . . . . .	45
Figura 9 – Modelo Generalizado de Maxwell . . . . .	47
Figura 10 – Modelo Generalizado de Kelvin-Voigt . . . . .	47
Figura 11 – Modelo de Boltzmann . . . . .	48
Figura 12 – Modelo de Burgers . . . . .	48

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

LDB	<i>Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional</i>
MEC	<i>Ministério da Educação</i>
PCN+EM	<i>Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio</i>
PCNEM	<i>Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio</i>
PCNs	<i>Parâmetros Curriculares Nacionais</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta x$	Variação da posição
$F$	Força aplicada
$k$	Constante elástica
$\tau$	Força aplicada tangencialmente
$i$	Corrente elétrica
$V$	Tensão elétrica
$R$	Resistência elétrica
$\sigma$	Tensão
$\eta$	Viscosidade
$\varepsilon$	Deformação
$E$	Módulo de elasticidade característico do material
$J$	Fluência
$\lambda$	Tempo de relaxação do modelo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>A história do ensino de física no Brasil</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Ensino de física atual no Brasil</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Competências e habilidades a serem desenvolvidas na física do ensino médio</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>INTERAÇÃO ENTRE DISCIPLINAS</b> . . . . .	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Disciplinaridade</b> . . . . .	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>Multidisciplinaridade</b> . . . . .	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Pluridisciplinaridade</b> . . . . .	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Transdisciplinaridade</b> . . . . .	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>INTERDISCIPLINARIDADE</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Historicamente</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>4.2</b>	<b>Ação interdisciplinar na escola</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>Física e biologia</b> . . . . .	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>VISCOELASTICIDADE</b> . . . . .	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Células</b> . . . . .	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Analogias</b> . . . . .	<b>36</b>
<b>5.2.1</b>	<i>Associação de resitores</i> . . . . .	<b>36</b>
<b>5.3</b>	<b>Comportamento elástico</b> . . . . .	<b>38</b>
<b>5.4</b>	<b>Comportamento viscoso</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>5.5</b>	<b>Comportamento viscoelástico</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>5.6</b>	<b>Modelo de Maxwell</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>5.6.1</b>	<i>Fluência</i> . . . . .	<b>42</b>
<b>5.6.2</b>	<i>Relaxação</i> . . . . .	<b>43</b>
<b>5.6.3</b>	<i>Recuperação</i> . . . . .	<b>44</b>
<b>5.7</b>	<b>Modelo de Kelvin-Voigt</b> . . . . .	<b>44</b>
<b>5.7.1</b>	<i>Fluência</i> . . . . .	<b>45</b>
<b>5.7.2</b>	<i>Relaxação</i> . . . . .	<b>46</b>
<b>5.7.3</b>	<i>Recuperação</i> . . . . .	<b>46</b>

<b>5.8</b>	<b>Outros modelos viscoelásticos . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>QUESTIONÁRIO . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>51</b>
	<b>APÊNDICES . . . . .</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO . . . . .</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, o ensino de Ciências Naturais é baseado em repetições e memorizações, levando os alunos às aprovações em provas tradicionais. No entanto, tal metodologia fortalece a fragmentação dos saberes do currículo escolar, a ausência de senso crítico e a visão científica voltada aos fenômenos naturais (SANTOMÉ, 1998, p. 55 apud BONATTO, 2012).

No ensino médio, a disciplina de física é comumente apresentada aos estudantes como apenas um conjunto de equações, de forma quase robotizada, sem a sua real essência. Devido a uma visão de que seu conhecimento não tem efeito prático na vida cotidiana dos estudantes, é comum priorizar o ensino de equações para resolução de questões, o que limita a física a apenas fórmulas matemáticas. Sem o viés crítico e o pensamento científico, os alunos acabam associando a física a um estudo com entendimento inalcançável e, infelizmente, rotulam-na como tediosa. Além disso, a dificuldade com o estudo da matemática no ensino médio é também refletida na difícil aprendizagem de física.

Também é comum associar a física às tecnologias, como os aparelhos eletrônicos, e às situações cotidianas, como um objeto em queda-livre, uma colisão entre veículos, ou um lançamento de foguete. No entanto, áreas interdisciplinares como a biofísica e a *soft matter*, geralmente não são mencionados em sala de aula, mesmo que as pesquisas nessas áreas estejam na fronteira atual da ciência. Nas pesquisas biofísicas os sistemas biológicos são estudados sob o prisma da física, o escoamento de sangue em vasos sanguíneos, por exemplo, podem ser explicado pela mecânica dos fluidos, assim como a visão pode ser explicada pela ótica. Esses são apenas dois casos que podem ser estudados em sala de aula.

Pelo fato dos conteúdos escolares serem influenciados pelo meio em que os alunos estão inseridos, seria aconselhável os professores e as escolas oferecerem materiais com problemas atuais, servindo até mesmo como divulgação científica, mostrando o que está sendo desenvolvido e pesquisado por cientistas da atualidade. Esses temas abordados acabam sendo discutidos no ambiente familiar, aumentando e favorecendo a divulgação de pesquisas atuais.

Por outro lado, essa interdisciplinaridade está sendo incentivada aos docentes. Para Fazenda, no século XX, a Europa foi o berço da interdisciplinaridade, especialmente na França e na Itália, onde movimentos estudantis pediam um ensino que concordasse com um novo estatuto para as universidades e as escolas. A abordagem interdisciplinar nas aulas favorece uma visão geral rica, através de diferentes óticas dos assuntos, gerando um produto inovador (FAZENDA, 2008). “A interdisciplinaridade tem uma função instrumental. Trata-se de recorrer a um saber

diretamente útil e utilizável para resolver às questões e aos problemas sociais contemporâneos” (BRASIL, 2002)

Atualmente, são estudados como diferentes desordens celulares - que macroscopicamente se manifestam como doenças, como o câncer - alteram a viscoelasticidade da célula, alterando também sua motilidade. Essa alteração na mecânica celular torna a doença mais ou menos agressiva. No câncer, esse tipo de desordem influencia diretamente na sua metástase, ou seja, na capacidade das células de se propagarem no meio extra celular. O entendimento desse mecanismo celular do ponto de vista mecânico pode nos ajudar a propor novos tratamentos para ajudar a conter a metástase de células cancerígenas.

Os materiais viscoelásticos apresentam tanto características de um sólido elástico quanto de um fluido newtoniano. Um sólido elástico, ao ter uma força aplicada, pode resistir, deformar e, após a remoção da força aplicada, retornar ao seu estado de repouso, ou seja, sua forma e tamanho originais. Já um fluido newtoniano possui viscosidade constante para diferentes tensões geradas por forças aplicadas. E sua taxa de deformação é diretamente proporcional à tensão.

Este trabalho busca propor uma forma de ensinar física através de um tema da biofísica aos alunos diferentemente da forma tradicional, onde o conteúdo é deixado em outro contexto. Não há motivos para deixar os estudantes sem saber que a física pode estar em lugares que eles não imaginam e que ela é importante para desenvolvimentos além dos aparelhos eletrônicos. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs),

A tendência atual, em todos os níveis de ensino, é analisar a realidade segmentada, sem desenvolver a compreensão dos múltiplos conhecimentos que se interpenetram e conformam determinados fenômenos. Para essa visão segmentada contribui o enfoque meramente disciplinar que, na nova proposta de reforma curricular, pretendemos superar pela perspectiva interdisciplinar e pela contextualização dos conhecimentos. (BRASIL, 2000)

Para uma prévia compreensão da viscoelasticidade, serão apresentados estudos sobre o modelo viscoelástico de Maxwell e o de Kelvin-Voigt, adaptados para o ensino médio com aplicação de questões. Ademais, por se tratar de um assunto de uma ciência interdisciplinar, na estruturação desse trabalho - para familiarizar o leitor - iremos abordar:

- a) O ensino de Física;
- b) Interação entre disciplinas;
- c) Modelo de Maxwell;
- d) Modelo de Kelvin-Voigt;



e) Questões propostas.

## **2 O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

Mesmo que não seja uma das disciplinas mais queridas pelos alunos, a Física deve cumprir metas para alcançar propostas educacionais durante o ensino médio, como as outras disciplinas. Durante esse processo, há dificuldades antigas que surgiram durante a história do ensino de Física no Brasil.

### **2.1 A história do ensino de física no Brasil**

A partir de 1549, nas escolas fundadas pelos jesuítas na Bahia, ocorreram as primeiras aulas no Brasil (JÚNIOR, 1979). O objetivo dos jesuítas no Brasil era promover a educação e a catequização dos índios e dos filhos dos portugueses. No entanto, sua prioridade era a catequização, apresentar os conceitos cristãos para obterem mais devotos de sua religião. A educação de outras coisas que não fossem ligadas às suas práticas religiosas não estavam em foco e os cursos superiores eram proibidos. Eles ensinavam crianças, jovens e adultos, de todas as classes sociais e econômicas. E, como a prioridade dos portugueses era a colonização e a exploração do país para obter lucro, não investiram na educação brasileira.

Duzentos anos depois, em 1759, a educação tinha evoluído, mas ainda era voltada para as classes privilegiadas e as disciplinas ofertadas nas escolas eram das áreas de humanidades. Desse modo, os alunos aprendiam o básico em gramática, letras e teologia. Os estudantes não tinham contato com a aprendizagem da física e, assim, permaneceram durante o período colonial.

Durante o mandato do primeiro ministro português Marquês de Pombal, os jesuítas foram expulsos do Brasil e ocorreu a reforma Pombalina, onde a educação foi modificada e incluíram aulas de algumas disciplinas, mas não ainda de física. Os padres ficaram responsáveis pelo ensino e ofereciam aulas de gramática, grego e retórica.

Em 1808, devido a vinda da família real ao Brasil, os cursos superiores e a academia real da marinha e do exército foram criados. Isso acarretou no incentivo ao ensino de ciências, com a fundação de escolas e instituições para capacitar e melhorar o povo à sua volta. Porém, a área das ciências naturais acabou demorando mais para atingir avanços no ensino, devido a projetos não aprovados para a inserção do ensino de ciências físicas e naturais ao plano curricular. O ensino era voltado à reflexão crítica e filosófica e capacitava os sujeitos para fins laborais e técnicos.

Em 1824, dois anos após a proclamação da Independência do Brasil, Dom Pedro I

ortogou a primeira Constituição Brasileira e, depois, em 1837, a escola federal secundária, o Colégio de Dom Pedro II – inspirado no modelo de ensino francês -, introduziu o ensino de Ciências nos três últimos anos letivos. Porém, mesmo estando presente na grade curricular de ensino, as disciplinas de ciências tinham uma carga horária baixa e esse pouco tempo acabava sendo usado pelos alunos para estudar outras disciplinas, consideradas mais importantes para a entrada nos cursos superiores (JÚNIOR, 1979).

Em 1890, houve a reforma do ensino médio, feita por Benjamin Constant, na qual foi feita a inclusão de disciplinas científicas, julgadas por ter grande valor para a formação do pensamento científico. Porém essa inovação sofreu críticas relacionadas às práticas nas escolas, como o gasto para proporcionar os materiais e equipamentos para os laboratórios e a elevada carga horária das disciplinas científicas, que deixava o cronograma escolar sobrecarregado.

Segundo Almeida Júnior (1979), as ideias de Auguste Comte com o positivismo, na década de 1970, se destacaram. Elas defendiam que o método científico favorecia mais o pensamento humano. Houve questionamento às bases do pensamento humano e o início da formação de indivíduos para estarem além do nível superior e do mercado de trabalho, de forma que eles tivessem noção de conceitos físicos presentes na sua rotina, mesmo que não trabalhassem nas áreas de ciências exatas e de ciências da natureza. Então, o ensino de ciências físicas e naturais ganha visibilidade para a sala de aula.

O ensino superior tinha a mesma visão, pois os modelos de educação eram os mesmos. Embora houvesse o ensino de ciências físicas e naturais, não havia investimentos na formação dos estudantes. Estes, em geral, se preocupavam apenas com o diploma para conseguirem empregos melhores e não com a qualidade do seu curso superior.

A necessidade de renovar os métodos de ensino de ciências era urgente. Para desenvolver o pensamento crítico, a forma como o conteúdo chega aos alunos poderia ser modificado, os professores poderiam utilizar, por exemplo, métodos experimentais e investigativos. No entanto, a educação não foi alterada, muitos professores não tinham interesse em utilizar outros métodos de ensino e a forma de ensino tradicional e clássica, com aulas expositivas e decorativas, prevaleceu.

A formação profissional para o ensino superior foi melhorada, em 1934, com a criação da Universidade de São Paulo, que ofertava, entre os demais, os cursos de filosofia, ciências e letras, responsáveis pela formação de professores do ensino secundário. Contudo, devido à falta de investimento financeiro, não houve foco na formação de professores. Nessa

época, muitos professores que ministravam as aulas de física não eram licenciados em física, eram engenheiros, ou matemáticos, pois as escolas tinham uma enorme carência de profissionais para ensinar física, mas não encontravam profissionais licenciados. Até mesmo os licenciados não eram tão qualificados. Desse modo, as aulas de física continuaram sendo expositivas, decorativas, de modo abstrato, e baseadas apenas nos livros didáticos.

Um indicador qualitativo da formação dos professores de física neste período pode ser obtido pela relação entre aprovados e inscritos em concurso de ingresso ao magistério (...) uma análise comparativa desses dados indica que a física, bem como a matemática e a química, se acham em franca deterioração. Na década de 50 a taxa de aprovados em física foi de 32,9 e na década de 60 caiu para 17,7, por tanto, quase metade. Isto significa que não foi empreendido nenhum esforço substancial no sentido de alcançar melhoria qualitativa de ensino nas faculdades de filosofia. (JÚNIOR, 1980).

Almeida JÚNIOR (1980) também menciona os simpósios nacionais de ensino de física. Em 1970, ocorreu o Primeiro Simpósio Nacional de Ensino de Física, na Universidade de São Paulo. No evento estiveram presentes cerca de 200 professores de vários estados, com o intuito de discutir e procurar meios de alterar os mesmos problemas do ensino de física que existiam durante anos.

Após três anos, ocorreu o II Simpósio Nacional de Ensino de Física, em Belo Horizonte, com mais professores participando, parcerias internacionais e até apoio de órgãos de pesquisa do país, com o financiamento das viagens de cientistas de outros países feito pela UNESCO. Nesse encontro, os professores falaram sobre resultados de práticas que realizaram em busca de solucionar os problemas já discutidos anteriormente, tanto no nível básico quanto no nível superior. Apesar de tais resultados, perceberam que pouco tempo para modificar essas situações não era suficiente para mudar um sistema de ensino que persistiu por muitos anos de forma tradicional.

Em 1976, ocorreu o terceiro Simpósio de Física, com mais participantes em pesquisas do ensino de física. Nesse evento houve discursões sobre como ensinar física e para quê ensinar física, além do ensino científico no Brasil. Para o desenvolvimento de propostas e metodologias de ensino, criaram grupos regionais de trabalho.

Nos anos 80 e 90, o ensino de física teve como companhia o desenvolvimento tecnológico, assim as aulas começaram a ser mais contextualizadas, de forma que o aluno percebesse mais a física em sua realidade. No entanto, o intuito em decorar fórmulas apenas para avaliações, continua presente. Segundo Moreira:

Muito do ensino de Física em nossas escolas secundárias está, atualmente, outra vez referenciado por livros, porém de má qualidade com muitas cores, figuras e fórmulas e distorcido pelos programas de vestibular; ensina-se o que cai no vestibular e adota-se o livro com menos texto para ler. (MOREIRA, 2000)

## 2.2 Ensino de física atual no Brasil

Geralmente, o ensino de física é introduzido antes do ensino médio na disciplina de Ciências, onde nela também está presente biologia e química. Quando finalmente é estudado a física, no ensino médio, é possível notar dificuldades no entendimento dos seus conteúdos.

Não é novidade que há dificuldades no ensino de Física no Brasil. Muitas vezes, por carência de professores licenciados em física, as escolas contratam licenciados em outras disciplinas para administrar tais aulas, o que pode contribuir para a ausência de entendimento de tal disciplina.

No entanto, não é apenas isso que gera dificuldades no avanço da compreensão de física. As metodologias utilizadas pelos docentes, geralmente, são apenas expositivas e decorativas, não estimulam o pensamento crítico, ou para qual contexto histórico determinado tema contribuiu para a sociedade.

Além do mais, a estrutura precária das escolas públicas - como a falta de laboratórios e, até mesmo, ventiladores e, em alguns casos, cadeiras -, não permitem que os alunos e os professores fiquem à vontade no ambiente escolar. Isso favorece mais o desinteresse dos alunos e, como consequência, os conceitos básicos de física não são aprendidos, eles são apenas memorizados temporariamente para resolução de avaliações.

Se alguns conteúdos fossem apresentados aos alunos acompanhados por uma demonstração, ou um experimento, o interesse dos indivíduos seria elevado e a compreensão da física estaria mais facilitada. Ademais, sabe-se que os professores enfrentam também o desafio de - muitas vezes - não ter laboratórios para práticas e equipamentos disponíveis na sua instituição.

No entanto, apesar de demonstrações e experimentos chamarem a atenção dos alunos, não é apenas isso que deixa a aula mais atrativa. Pode-se tentar outras alternativas para favorecer a motivação do aluno, como recursos digitais - aplicativos, vídeos, slides e outros.

A matemática é também uma das barreiras entre o aluno e a física. Muitas vezes, o discente tem dificuldades com cálculos matemáticos e acaba projetando uma repulsão à física, pois nela a matemática representa uma linguagem, outra forma de escrever as teorias, na qual o aluno apresenta uma condição precária e acarretada ao longo do ensino fundamental e médio.

Outro problema é a aprendizagem de conteúdos apenas para responder questões de vestibulares. Por conta desse foco, muitos conteúdos são transmitidos rapidamente aos alunos de modo que a memorização de fórmulas seja o objetivo. Por não haver o desenvolvimento do pensamento científico, crítico e social, as aulas de físicas acabam sendo rotuladas como difíceis e representadas por muitas fórmulas, em geral, não compreendidas pela maioria dos estudantes. De tal modo que os estudantes são moldados e treinados para responder determinados tipos de questões.

A formação do docente induz a maneira com a qual ele ministra suas aulas e, também, como as disciplinas de física do curso superior, as disciplinas pedagógicas, presentes na grade curricular, possuem sua importância para um aprofundamento no seu currículo profissional e pessoal. Assim, o apresenta possíveis contextos que, como professor, pode enfrentar.

### **2.3 Competências e habilidades a serem desenvolvidas na física do ensino médio**

O Ensino Médio não está desconectado da sociedade em que está inserido e, muito menos, não tem intuito de interferir na visão de mundo do aluno. Ele tem interesse em desenvolver a autonomia dos educandos para aprender, tanto os conteúdos para escola quanto suas futuras aprendizagens não geradas no ambiente escolar.

Além do ambiente de trabalho e do projeto pedagógico escolar, o professor também tem como um norte os *Parâmetros Curriculares Nacionais* (PCNs), que abrangem tanto a rede pública quanto a rede privada. Eles apresentam aos docentes as competências e habilidades a serem desenvolvidas em cada disciplina. E têm como objetivo a aprendizagem como algo favorecedor para o exercício da cidadania. Então, mesmo que o sujeito não siga em uma área que envolva física no seu trabalho, ele compreenderá a presença da física no seu cotidiano e no mundo.

A enorme carga de conhecimento de Mecânica, Termologia, Ótica e Eletromagnetismo é reduzida e resumida para, apenas, dar um entendimento de mundo e poder interferir na forma de pensar e agir do aluno, ao passo que desenvolve sua cidadania.

Na educação básica de qualidade é necessário a adaptação dos conteúdos às realidades em que os alunos estão inseridos. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) apresentam discussões sobre o que deve ser ensinado em cada série.

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos,

presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. (BRASIL, 1999)

A investigação e a compreensão de fenômenos físicos, a linguagem física de sua comunicação e a contextualização histórico social são pontos que são destacados nos PCNs como caminho para uma aprendizagem significativa. Além disso, o ensino de física deve ter como norte a noção da importância do desenvolvimento científico para a sociedade.

Acompanhar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, por exemplo, tomando contato com os avanços das novas tecnologias na medicina, através de tomografias ou diferentes formas de diagnóstico; na agricultura, através das novas formas de conservação de alimentos com o uso das radiações; ou ainda, na área de comunicações, com os microcomputadores, CDs, DVDs, telefonia celular, TV a cabo. (BRASIL, s.a.)

Assim, pode-se entender que ensinar um tema da biofísica estaria aproximando os alunos das atuais pesquisas, apresentando a física em contextos diferentes e ultrapassando os exemplos e contextos clássicos e repetitivos já conhecidos.

Além de mencionar quais conteúdos devem ser ministrados, os PCNs destacam a contextualização e a interdisciplinaridade, pois, através delas, é possível alcançar a motivação do aluno. Assim, eles fazem relação entre a teoria e a prática, dando significado ao que estão aprendendo e relacionando às suas rotinas.

A prática de decorar não deve ser propagada, em nenhuma disciplina. Com ela, a aula é como uma atuação, pois o professor finge que ensina e o aluno finge que aprende. Deve-se ensinar de forma que o pensamento crítico do aluno seja estimulado, deixando o conteúdo com significado para os discentes, ao invés de totalmente abstrato.

Os conhecimentos prévios dos alunos não devem ser ignorados, pois eles podem facilitar o ensino. A partir deles, os alunos irão edificar seus conceitos. Também, a utilização dos temas transversais serve como ponte do saber do senso comum para o conhecimento científico.

Os PCNs descrevem o ensino de Física com a parceria entre o conhecimento científico e o contexto social, tendo como objetivo o desenvolvimento do pensamento crítico e social dos alunos. Não rebaixando a física às fórmulas decoradas, mas levando-a para o cotidiano.

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (BRASIL, 2000)

Não estão presentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais menções à biofísica voltada ao ensino médio. No entanto, os PCNs, como já mencionado, abordam a contextualização histórica e social, os temas interdisciplinares e o desenvolvimento do pensamento crítico. O estudo proporcionado aos alunos, de um tema da biofísica, ofereceria uma nova ótica para o estudo de física.

O *Ministério da Educação* (MEC) para complementar a *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional* (LDB) desenvolveu os *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio* (PCNEM), que dividem as áreas do conhecimento em três: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias; Ciências Humanas e suas Tecnologias. Os PCNEM expõem, de forma mais explicativa, as competências da base comum nacional para o Ensino Médio, onde também abordam a importância da contextualização e da interdisciplinaridade no ensino.

Os estudos da área de Ciências da Natureza tratam as buscas de soluções para problemas para aproximar o estudante dos trabalhos de investigação científicas e tecnológicas. Com isso, a matemática tem sua importância e é utilizada como uma linguagem. Ela não pode ser confundida com a física, pelos alunos. Essa área oferece a compreensão e a utilização dos conhecimentos científicos para entender como as coisas do mundo funcionam.

E, ainda, cabe compreender os princípios científicos presentes nas tecnologias, associá-las aos problemas que se propõe solucionar e resolver os problemas de forma contextualizada, aplicando aqueles princípios científicos a situações reais ou simuladas. (BRASIL, 2000)

Tratar a relação entre a física e a biologia é de grande importância para desenvolver a interdisciplinaridade e a contextualização. De acordo com os PCNEM:

Outra possibilidade de ação pedagógica a ser desenvolvida, complementar à contextualização, é a abordagem interdisciplinar dos conteúdos. Idealmente, a interdisciplinaridade deve ser construída no contexto do projeto pedagógico da escola. No entanto, mesmo iniciativas isoladas, embora limitadas e não tão efetivas, podem facilitar a aprendizagem dos alunos. (BRASIL, 2006)

Os educandos poderiam enxergar como o estudo da física é amplo e está presente não somente em situações que eles já conhecem, como na tecnologia de smartphones, mas também no corpo humano.



### 3 INTERAÇÃO ENTRE DISCIPLINAS

Apesar desse trabalho retratar a interdisciplinaridade, é de suma importância apresentar brevemente outras abordagens que, muitas vezes, são confundidas com a abordagem interdisciplinar. Contudo, para introdução dessas abordagens, iremos primeiro explicar sobre a disciplinaridade.

#### 3.1 Disciplinaridade

Durante o século XIX, no processo de transformação social de países europeus mais desenvolvidos, devido a indústria - que favorecia a necessidade de especialização do processo de produção -, surgiu a disciplinaridade (SANTOMÉ, 1998 apud SANTOS, 2002). Ela é a fragmentação da ciência em disciplinas por “fronteiras rígidas, cada disciplina se convertendo num pequeno feudo intelectual, cujo proprietário está vigente contra toda intromissão em seu terreno cercado e metodologicamente protegido contra os ‘inimigos’ de fora.” (JAPIASSU, 1976).

Segundo Morin (2003, p.105), seu surgimento foi principalmente resultado de formação das universidades modernas e, no século XX, foi desenvolvida pelo progresso da pesquisa científica. “O grande problema, pois, é encontrar a difícil via de interarticulação entre as ciências, que têm, cada uma delas, não apenas sua linguagem própria, mas também conceitos fundamentais que não podem ser transferidos de uma linguagem à outra.” (MORIN, 2003).

Para Bicalho e Oliveira (2011), pessoas com objetivos intelectuais comuns constituem disciplinas. Por isso, esses grupos sociais apresentam características que, para iniciantes ou apenas observador, aparentam ser impenetráveis, como a linguagem e os termos utilizados somente por pessoas daquela área de pesquisa específica.

De forma ampla, Morin (2007) a define como:

uma categoria que organiza o conhecimento científico e que institui nesse conhecimento a divisão e a especialização do trabalho respondendo à diversidade de domínios que as ciências recobrem. Apesar de estar englobada num conjunto científico mais vasto, uma disciplina tende naturalmente à autonomia pela delimitação de suas fronteiras, pela linguagem que instaura, pelas técnicas que é levada a elaborar ou a utilizar e, eventualmente, pelas teorias que lhe são próprias. (MORIN *et al.*, 2007)

O saber fragmentado em disciplinas está sujeito a focar o estudante em apenas uma área de conhecimento, o que o deixa à margem da compreensão do todo. Isso faz com que ele

não perceba como um determinado tema pode ser estudado através de várias óticas diferentes e, então, o rotule. Para o aluno as disciplinas não conversam e não estão conectadas.

O currículo escolar é mínimo e fragmentado. [...] Não favorece a comunicação e o diálogo entre os saberes. As disciplinas com seus programas e conteúdos não se integram [...], dificultando a perspectiva de conjunto e de globalização, que favorece a aprendizagem. (PETRAGLIA, 2002 apud AUGUSTO *et al.*, 2004)

A disciplina não é algo negativo e sua natureza pode ser caracterizada, o que a distingue de outra disciplina. Pode-se dizer que ela é uma forma de especialização em determinados assuntos. Heinz Heckhausen (apud FAZENDA (2011)) diz que a disciplina é uma exploração científica especializada e tem como característica o domínio material, o domínio dos estudos, o nível de integração teórica, os métodos, os instrumentos de análise, as aplicações práticas e as contingências históricas. Dominar todas essas essas características, de várias disciplinas, é impossível para um docente. Assim, é importante a interação entre docentes de várias disciplinas.

No entanto, a disciplina pode ser usada em diversas formas de integração e, mesmo assim, sua importância não é nula.

(...) alterar a compreensão de que a disciplina não é um fim em si mesma, mas um meio para chegar a outros objetivos, refletindo e atuando na educação de valores e atitudes dos alunos e cidadãos, é condição fundamental para a renovação do ensino. (...) A busca da compreensão da realidade e a efetiva participação do indivíduo a partir de dados e noções relativos ao seu cotidiano, ao seu universo, fazem com que a escola passe a ser considerada como um espaço de conhecimento, onde por intermédio das diversas disciplinas e da sua nova abordagem o aluno seja capaz de ver e vislumbrar-se como construtor de sua própria história. (LIMA; AZEVEDO, 2013 apud NETO, 2010)

Muitos desenvolvimentos científicos foram alcançados devido à integração de conhecimentos de pesquisadores de diferentes áreas do saber, como a união de físicos, químicos e biólogos, durante os anos 50, que desenvolveram a “revolução biológica”. Esses desenvolvimentos muitas vezes são alcançados durante fatos históricos importantes, como guerras e revoluções, onde a sociedade percebe a necessidade de colaborar em conjunto para atingir certo objetivo.

A interdisciplinaridade não é reflexo apenas de interação entre disciplinas, pois há outros termos que podem apresentar interação entre disciplinas, mas não chega a ser interdisciplinar. Elas são chamadas de multidisciplinaridade, pluridisciplinaridade e transdisciplinaridade.

Para mudar essa visão, há modalidades que propõem, de certo modo, estudar algo através de mais de uma ótica. Algumas pessoas acabam chamando-as de interdisciplinaridade, porém elas possuem características distintas, o que deixa o termo interdisciplinaridade banalizado.

A integração entre disciplinas, ou áreas, podem acontecer de várias formas e, sendo assim, tendo outras nomenclaturas para tais abordagens.

### **3.2 Multidisciplinaridade**

A multidisciplinaridade “caracteriza-se pela justaposição de matérias diferentes, oferecidas de maneira simultânea, com a intenção de esclarecer alguns dos seus elementos comuns, mas na verdade nunca se explicam claramente as possíveis relações entre elas” (SANTOMÉ, 1998 apud SANTOS, 2002). Nessa modalidade não há a integração de conceitos, os profissionais não têm um trabalho cooperativo, são apresentadas várias óticas sobre um mesmo assunto e cada disciplina permanece com suas barreiras e seus objetivos próprios.

Pode-se ter como exemplo uma equipe formada por físicos, matemáticos, químicos, engenheiros e militares, que desenvolveu o Projeto Manhattan – programa de pesquisa e desenvolvimento de bombas atômicas durante a Segunda Guerra Mundial -, na qual cada um tinha sua tarefa estabelecida (DOMINGUES, 2005 apud BICALHO; OLIVEIRA, 2011).

### **3.3 Pluridisciplinaridade**

A pluridisciplinaridade acontece quando professores, ou pesquisadores estabelecem conexões entre os saberes somente em momentos pontuais para resolução e compreensão de problemas específicos. Mesmo conectadas, as disciplinas permanecem cada uma com sua metodologia. Essa interação continua sendo pontual. Nessa abordagem o trabalho é feito em conjunto, ou seja, mais de um profissional está envolvido. Geralmente, essas conexões são feitas apenas entre disciplinas mais próximas, como História e Geografia. Em escolas pode-se encontrar um leque mais abrangente de interação de disciplinas, como física e história (SANTOS, 2002).

### **3.4 Transdisciplinaridade**

Ela ocorre quando já não se pode separar mais os conceitos e as supostas disciplinas. É nela que ocorre a fusão dos saberes e a criação de uma nova disciplina. As disciplinas utilizadas já não podem mais ser separadas para tais estudos, de modo que o indivíduo não consiga enxergar as distinções entre elas. Como a bioquímica, a biofísica e a físico-química.

## 4 INTERDISCIPLINARIDADE

### 4.1 Historicamente

Como já mencionado, a interdisciplinaridade começou a ser discutida no Brasil no final da década de 60 e, logo então começou o interesse em conceituá-la, pois o seu conceito ainda não estava definido. Muitos profissionais a viam como apenas interação entre disciplinas e, no entanto, somente a interação não faz a interdisciplinaridade.

A necessidade de conceituar, de explicitar, fazia-se presente por vários motivos: interdisciplinaridade era uma palavra difícil de ser pronunciada e, mais ainda, de ser decifrada. Certamente que antes de ser decifrada, precisava ser traduzida, e se não se chegava a um acordo sobre a forma correta de escrita, menor acordo havia sobre o significado e a repercussão dessa palavra que ao surgir anunciava a necessidade da construção de um novo paradigma de ciência, de conhecimento, e a elaboração de um novo projeto de educação, de escola e de vida. (FAZENDA, 2008)

O livro 'Interdisciplinaridade e patologia do saber' foi publicado em 1976, pelo primeiro pesquisador brasileiro sobre interdisciplinaridade, Hilton Japiassu. Desde então, os estudos da metodologia interdisciplinar são baseados em seu livro.

Em 1979, Ivani Fazenda publicou um conceito de interdisciplinaridade onde sugeria um novo olhar para o saber. Sua obra se chamava 'Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia'.

A necessidade de princípios teóricos gerou uma busca nas práticas de professores, que marcou a década de 1980. Os relatos de professores foram se propagando e, nos anos 1990, uma grande demanda de projetos foram denominados como interdisciplinar e, no entanto, estes não tinham fundamentação teórica. Como nos anos anteriores, acreditava-se que qualquer tipo de interação entre disciplinas era suficiente para dar aulas interdisciplinares.

Com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei n. 9394), de 1996, e com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), em 1998, o interesse e a busca pela interdisciplinaridade se elevaram, porém sem os seus conceitos bem definidos. Mesmo estando presente em discussões entre docentes, sua prática tendia a ser superficial, pois os profissionais não sabiam seu conceito e seus princípios. Segundo Fazenda, para ser interdisciplinar é necessário não somente trabalhar em conjunto, mas também alterar hábitos, métodos e recurso, o que possivelmente afasta os professores desse tipo de trabalho (FAZENDA, 1994 apud LIMA; AZEVEDO, 2013).

Então, Fazenda (2008) construiu sua teoria com base em diferentes observações e registros do dia-a-dia dos professores em diferentes situações, no ambiente de trabalho. Ela notou que nesses momentos era possível destacar as seguintes qualidades: espera, humildade, respeito e desapego. Além disso, seria necessária uma construção para a ação interdisciplinar. Esta não poderia ocorrer de qualquer forma e nem rapidamente.

A interdisciplinaridade é baseada na troca e na cooperação entre os profissionais envolvidos, tanto professores quanto pesquisadores, para abordar uma temática específica. Durante seu processo, há também o compartilhamento metodológico entre as disciplinas e o rompimento das barreiras entre elas, não sendo um trabalho superficial. E, para Domingues (2005), novas disciplinas são geradas através da fusão entre os campos. Porém, não é o foco da ação interdisciplinar gerar novas disciplinas, ou rebaixá-las.

O interdisciplinar de que tanto se fala não está em confrontar disciplinas já constituídas das quais, na realidade, nenhuma consente em abandonar-se. Para se fazer interdisciplinaridade, não basta tomar um “assunto” (um tema) e convocar em torno duas ou três ciências. A interdisciplinaridade consiste em um objeto novo que não pertença a ninguém. (BARTHES, 1988 apud MACHADO, 2006)

Com isso, pode-se notar que a ação interdisciplinar favorece uma aprendizagem mais abrangente, com aspectos distintos da clássica disciplinaridade. Ela permite um estudo sem rotulação durante seu processo. Assim, os estudantes perceberiam os conceitos de forma mais ampla e através de novas óticas, de modo que sua aprendizagem sobre determinada temática fosse mais rica que a aprendizagem clássica, monótona e comum.

Para facilitar os estudos específicos, houve a formação de disciplinas, com intuito de se aprofundar em conceitos de apenas uma área. A fragmentação das ciências em disciplinas foi um ato humano, pois as ciências estão conectadas, sem rótulos. E, para a especialização de determinados assuntos, sua divisão foi feita com o intuito de facilitar os estudos e especializar o indivíduo apenas àquela temática.

## **4.2 Ação interdisciplinar na escola**

A prática de cada docente é reflexo do seu histórico acadêmico, pessoal e profissional. No meio acadêmico não é comum serem trabalhadas as práticas interdisciplinares, apesar de serem mencionadas. Então, é importante a realização de discussões entre os professores e a comunidade escolar, pois para exercer um projeto interdisciplinar é preciso haver aproximação entre os profissionais, mesmo que entre estes haja conflitos.

As aulas interdisciplinares devem ser compostas por: autoridade conquistada e avaliação durante o seu decorrer. Elas fazem os professores não somente integrarem seus conteúdos, mas também terem posturas interdisciplinares, como reciprocidade, compromisso e envolvimento.

Por não ser um hábito, desenvolver e realizar um trabalho desse modo acarreta insegurança, incerteza de que irá desenvolver corretamente, não ter mais privilégios e direitos já obtidos, o que torna um grande desafio sair da zona de conforto e se arriscar para algo novo (LUCK, 2001 apud THIESEN, 2008). Os professores, durante a execução de um trabalho interdisciplinar, encontram dificuldades nos diálogos, o que pode ser reflexo da dificuldade de trabalho em equipe, pois eles estão acostumados com a execução de tarefas de sua maneira, muitas vezes diferentes da realidade dos estudantes. E, nisso, a gestão escolar também é responsável.

Como não é de interesse da interdisciplinaridade a criação de novas disciplinas, ela busca compreender algum problema ou fenômeno com a visão de mais de uma disciplina. Ela pode ser vista como uma ponte para um conhecimento escolar mais dinâmico e não clássico. Com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs),

(...) É importante enfatizar que a interdisciplinaridade supõe um eixo integrador, que pode ser o objeto de conhecimento, um projeto de investigação, um plano de intervenção. Nesse sentido ela deve partir da necessidade sentida pelas escolas, professores e alunos de explicar, compreender, intervir, mudar, prever, algo que desafia uma disciplina isolada e atrai a atenção de mais de um olhar, talvez vários. Explicação, compreensão, intervenção são processos que requerem um conhecimento que vai além da descrição da realidade mobiliza competências cognitivas para deduzir, tirar inferências ou fazer previsões a partir do fato observado. (BRASIL, 2000)

Na realidade não deixa de prevalecer a aprendizagem de modo clássico, o professor transmite informação e o aluno assimila. Ademais, na contemporaneidade, o professor possui mais o papel de mediador do conhecimento, devido à globalização e aos vários meios de comunicações.

No cenário atual, é perceptível a necessidade de estratégias de ensino flexíveis das escolas. Apesar dos saberes especializados terem sua importância, o saber mais abrangente pode contribuir de várias formas para a educação do aluno.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996) aborda as normas para a formação do ensino brasileiro, da Educação Infantil até o Ensino Superior. Um de seus princípios é que o ensino precisa ser uma preparação para a vida

e o trabalho. “Art. 1º. A educação abrange os processos formativos que se desenvolvem na vida familiar, na convivência humana, no trabalho, nas instituições de ensino e pesquisa, nos movimentos sociais e organizações da sociedade civil e nas manifestações culturais” (BRASIL, 1996).

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais, também é importante ressaltar uma outra proposta, onde que os conteúdos curriculares devem estar de acordo com a realidade local do aluno, sendo um reflexo de sua cultura. O ambiente escolar é ideal para o ensino de práticas sociais de qualidade. Isso desfavorece a abstração total dos conteúdos para os alunos e favorece a interação mútua entre professor e aluno. Este último, além de aprender os conteúdos do currículo escolar, aprende competências sociais.

O professor tem o papel de ser orientador de seus discentes e ajudá-los a compreender conteúdos, sendo um facilitador do conhecimento, já que eles recebem informações de várias fontes de informações durante sua rotina. De forma que os faça desenvolver uma certa busca pelo saber. E mesmo os professores conseguindo trabalhar de forma cooperativa, a aprendizagem dos alunos não é garantida, pois os alunos são agentes da própria aprendizagem, buscando se aprofundar mais nos conteúdos de forma autônoma.

A interdisciplinaridade não é retratada como um compilado de conteúdos, métodos e disciplinas (FAZENDA, 1993 apud BONATTO *et al.*, 2012), mas como uma nova forma de pensar e agir, na qual é promovida através da interação entre conhecimentos diversificados, superando o currículo escolar.

Essa articulação interdisciplinar, promovida por um aprendizado com contexto, não deve ser vista como um produto suplementar a ser oferecido eventualmente se der tempo, porque sem ela o conhecimento desenvolvido pelo aluno estará fragmentado e será ineficaz. É esse contexto que dá efetiva unidade a linguagens e conceitos comuns às várias disciplinas, seja a energia da célula, na Biologia, da reação, na Química, do movimento, na Física, seja o impacto ambiental das fontes de energia, em Geografia, a relação entre as energias disponíveis e as formas de produção, na História. (BRASIL, 2009)

Dessa forma, os professores precisam trabalhar em conjunto, ou seja, os temas abordados devem se conectar, facilitando o entendimento do aluno não apenas pontualmente, mas como um todo.

A visão interdisciplinar pode refletir positivamente no ensino de física e, neste caso, através do estudo de um tema da biofísica. Nisso, seria exposto aos alunos como as disciplinas não estão totalmente desconectadas e que podem trabalhar juntas. Eles teriam oportunidade de olhar para a física sobre outra ótica, diferente daquelas que estão acostumados.

Pode-se até dizer que seria uma forma inovadora para os discentes, ao receberem os conteúdos de física, tendo em vista a repulsa deles às aulas tradicionais de física, geralmente rotuladas como difíceis e tediosas.

Apresentá-la de uma forma fora do padrão, além de chamar atenção, abre caminhos para novas expectativas e curiosidades sobre a física. Assim, os distanciaria da abstração e do pensamento de que tudo na física já foi descoberto e os aproximaria do interesse em entender tais conteúdos.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e o Ministério da Educação, com os professores, criaram uma nova proposta para o ensino médio, com foco em favorecer competências e habilidades desenvolvidas pelos alunos, ao longo do ensino médio. “A formação geral, em oposição à formação específica; o desenvolvimento de capacidades de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização.” (BRASIL, 2000).

A interdisciplinaridade e a contextualização são princípios pedagógicos com o intuito de atenuar as divisões pré-estabelecidas do conhecimento e contribuir com uma aprendizagem significativa. Mesmo os PCNEM reconhecendo que a disciplinaridade tem sua importância, ressaltam que os conectivos estabelecidos entre os saberes são importantes e resultam em uma aprendizagem significativa e conexões no cotidiano dos alunos feitas por eles mesmos.

### **4.3 Física e biologia**

As pesquisas científicas estão sendo ampliadas e durante os seus desenvolvimentos, para atingir seus fins, elas podem acabar utilizando conhecimentos de outras áreas. De tal forma que deixa explícito que os saberes obtidos por outras disciplinas de conhecimento não são apenas exclusivos para determinadas áreas.

Com isso, vários campos de pesquisas, resultados por junções de áreas de conhecimentos, geraram novas áreas de pesquisa, como Bioengenharia, Bioinformática, Neurociência, Física computacional, Física médica, Econofísica, Engenharia Genética, etc.

No ensino superior, a Física está presente na grade curricular de vários cursos, como Enfermagem, Fisioterapia, Educação física, Ciências biológicas, entre outros, através de disciplinas como a Biofísica. Muitas universidades apresentam essa disciplina na grade curricular de Ciências biológicas, mostrando aos alunos como a física está presente em alguns objetos de estudos e como estão conectadas.



No ensino médio, a Física vem sendo apresentada de forma abstrata e muito matematizada, de forma que os alunos geralmente a vejam como apenas matemática. Para eles, ela não está tão próxima do cotidiano. Seus conceitos são explanados de forma isolada, como se a disciplina não tivesse relação com outras. Para os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio:

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. (BRASIL, 2000)

Para gerar um salto para um ensino de física transformado, a contextualização e a integração entre as disciplinas são importantes, de forma que os educandos se aproximem da disciplina e não a rotulem. Segundo os *Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio* (PCN+EM):

(...) as competências para lidar com o mundo físico não têm qualquer significado quando trabalhadas de forma isolada. Competências em Física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos. Elas passam a ganhar sentido somente quando colocadas lado a lado, e de forma integrada, com as demais competências desejadas para a realidade desses jovens. (BRASIL, 2009)

Aulas interdisciplinares de Física e Biologia são desafios possíveis a serem enfrentados pelos docentes. Além de contextualizar, amplia a visão do aluno e o seu resultado na aprendizagem. De forma que haja uma harmonia entre os saberes.

Há um leque bastante abrangente de temáticas que pode ser abordado e estudado no Ensino Médio, como a visão de um peixe, o olho humano, a fotossíntese, os exercícios físicos, a cor e o mecanismo das folhas de uma árvore.

É muito importante a execução de projetos com objetivo de inovar o ensino tradicional de física e atrair os alunos para o interesse dessa ciência. Para tal propósito, tem-se o intuito de desenvolver um produto educacional, mais especificamente o estudo de materiais viscoelásticos, uma vez que materiais biofísicos apresentam tanto elasticidade quanto viscosidade. Neste trabalho são explanados tais conceitos e modelos como o de Maxwell e Kelvin-Voigt que possuem analogias à alguns conteúdos já estudados e questões sobre tais temáticas.

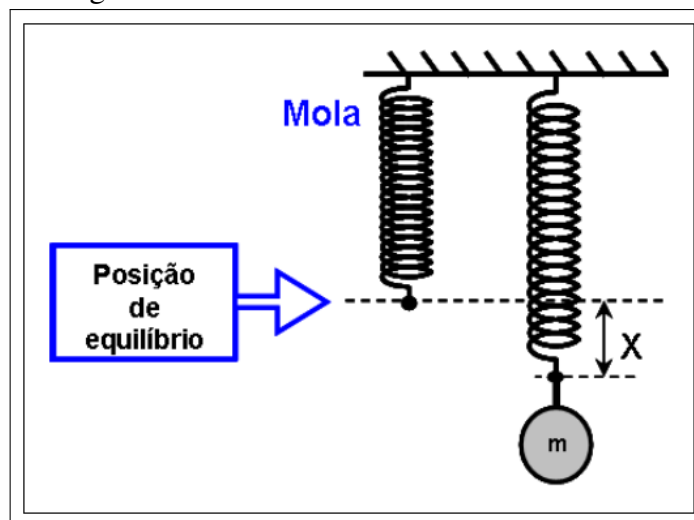
## 5 VISCOELASTICIDADE

Em 1678, o cientista Robert Hooke publicou a lei da física que descreve a deformação de um corpo elástico quando submetido à uma força. A deformação sofrida é proporcional à força aplicada, cuja constante elástica de proporcionalidade, depende do material. Desse modo, pode-se escrever a Lei de Hooke como uma força aplicada ( $F$ ) em um material elástico sendo igual a constante elástica do corpo ( $k$ ) multiplicada pela deformação sofrida ( $\Delta x = x - x_o = X$ ),

$$F = k \cdot \Delta x, \quad (5.1)$$

representadas pela Figura 1,

Figura 1 – Mola

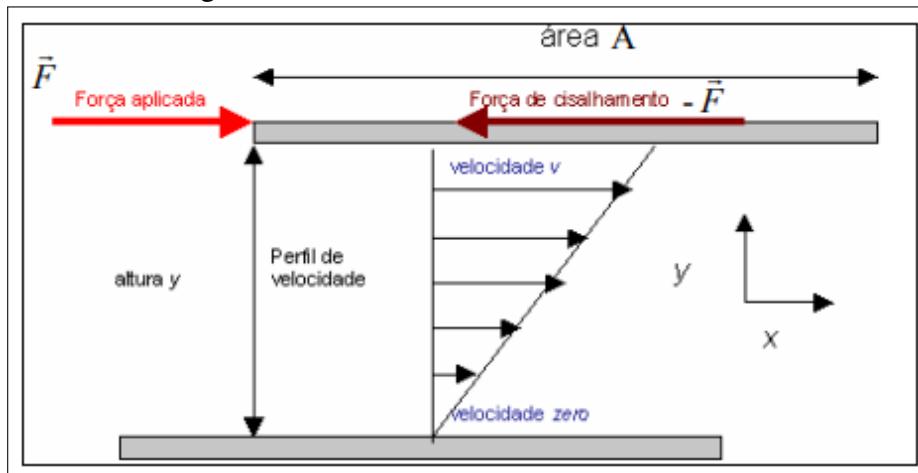


Fonte: [http://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2014-1\\_a\\_braao.pdf](http://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2014-1_a_braao.pdf)

Os fluidos ideais, de acordo com a lei de Newton da viscosidade, apresentam uma resistência ao escoamento do material, ao ser submetido a uma força, como ocorre em amortecedores. Nessa situação, a força é aplicada tangencialmente ao material. Sua viscosidade é constante,  $\mu$ , quando sua deformação varia. Esses fluidos também podem ser chamados de fluidos newtonianos. Sua tensão é diretamente proporcional à sua deformação,  $\dot{\gamma}$ , representados pela Figura 2,

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}. \quad (5.2)$$

Figura 2 – Fluido newtoniano



Fonte: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/371659/mod\\_resource/content/1/REOLOGIA0DE%20FLUIDOS%20-%20apostila.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/371659/mod_resource/content/1/REOLOGIA0DE%20FLUIDOS%20-%20apostila.pdf)

Em 1929, a pesquisa e o estudo de escoamento e deformação de matéria foi chamada de reologia. No entanto, há estudiosos que usam esse termo apenas para estudo de materiais com comportamento distinto dos sólidos perfeitamente elásticos e fluidos ideais. Neste trabalho serão apresentados alguns conceitos da viscoelasticidade linear (SANTOS, 2008).

Durante o século XVIII, os estudos de pesquisadores não conseguiam descrever o comportamento que alguns materiais possuíam. Eles notaram que alguns materiais não apresentavam apenas uma característica específica em seu comportamento, mas dois tipos de características completamente distintas, de um sólido perfeitamente elástico e de um fluido newtoniano. Este tipo de material é denominado de material viscoelástico (SANTOS, 2008).

Os materiais viscoelásticos apresentam tanto comportamento elástico quanto viscoso, o que significa que eles exibem características tanto de sólido quanto de fluido. Os seus estudos abordam sobre elasticidade, resistência ao escoamento e estabilidade da forma, além do vínculo do escoamento com o tempo, da temperatura e da tensão aplicada no material.

De acordo com Santos (2008), duas deformações foram registradas por Webber ao tensionar axialmente o fio de seda. Uma deformação elástica e uma deformação que avançava em função do tempo.

Webber observou que, com a tração, o fio teve imediatamente uma contração, de forma que alcançava o estado de deformação elástica. Após isso, ocorria uma contração gradual até chegar ao estado de pré-carregamento inicial, que podemos chamar de relaxação de tensão, com dependência temporal (SANTOS, 2008).

Santos (2008) também afirma que para Drozdov, fenômenos de fluência e relaxação

de tensões - combinação de comportamentos elásticos e viscosos – precisam ser características de um material viscoelástico. Assim, essa combinação pode ser associada à mola, pelo seu viés elástico, e ao amortecedor, pelo seu viés viscoso.

Conhece-se que os materiais viscoelásticos, estando submetidos a tensão ou deformação constante, podem experimentar um dos seguintes comportamentos, para cada caso (Christensen, 1982; Mase, 1970): o fenômeno da fluência (creep), que acontece depois da deformação instantânea, quando o material é exposto a uma tensão constante ( $\sigma = \sigma(0)$ ), fazendo com que a deformação aumente em função do tempo ( $\epsilon = \epsilon(t)$ ), e o fenômeno da relaxação, que ocorre quando, mantendo-se uma deformação constante, no meio contínuo ( $\epsilon = \epsilon(0)$ ), onde a tensão inicial diminui ao longo do tempo em função deste ( $\sigma = \sigma(t)$ ). (MENESES, 2015)

Esses materiais viscoelásticos não estão presentes apenas em materiais de construção usados na engenharia. As células, que constituem o nosso corpo, também possuem comportamento viscoelástico. O seu estudo é de bastante relevância para a Biofísica, já que estudar as células através de uma ótica diferente da Biologia pode acarretar respostas novas, ou a formulação de diferentes perguntas.

Com intuito de promover um entendimento mais geral desse tema, serão retratados os comportamentos elásticos e viscosos separadamente.

## 5.1 Células

Os animais são constituídos por células que são formadas, basicamente, por três partes: membrana celular, citoplasma e núcleo. As informações genéticas estão inscritas nos genes, chamado de ácido desoxirribonucleico (DNA), onde pode-se comparar a uma "memória química". E, por ele (DNA), os cromossomos dão informações para o funcionamento celular.

A mutação genética ocorre quando uma célula normal sofre alterações no DNA. Essas células começam a receber informações alteradas para o seu comportamento, podendo ocorrer em genes especiais - denominados de protooncogenes -, onde em células normais são inativos. Os protooncogenes, ao serem ativados, transformam-se em oncogenes, que são responsáveis pela malignização (cancerização) das células normais. As células nessa condição são chamadas de cancerosas. Elas se multiplicam de forma mais rápida do que as células normais do tecido à sua volta.

Os tumores malignos são desenvolvidos através do acúmulo dessas células. Elas podem se desprender do tumor e invadir os tecidos vizinhos e órgãos distantes, por um vaso sanguíneo ou linfático. Assim, ocorre a formação de metástase. Nesse processo, as células

cancerosas vão perdendo suas funções, desencadeando problemas no funcionamento do órgão. O que determina a rapidez metástase é o tipo de célula do tumor.

Por meio de estudos, os pesquisadores perceberam que muitos processos celulares têm relação com a força mecânica e sua deformação é correspondente às propriedades mecânicas (ALENCAR, 2010).

## 5.2 Analogias

Com a intenção de facilitar o entendimento dos conceitos para o discente, é possível utilizar analogias e, com isso, ter uma leve revisão de conceitos já estudados anteriormente.

Além da comparação de mola e amortecedor no comportamento dos materiais visco-elásticos, numa analogia eletro-mecânica, a tensão mecânica pode ser comparada à voltagem e a taxa de deformação corresponderia à corrente elétrica. Desse mesmo modo, a constante elástica pode ser associada à capacitância do circuito, “medindo a capacidade de armazenamento de energia” (MENESES, 2015), e a resistência do circuito pode ser comparada com a viscosidade, “medindo a capacidade para dissipar energia” (MENESES, 2015). Assim, os modelos viscoelásticos adquirem uma forma mais simples de idealizar, evitando grandes abstrações. Além disso, como não se estuda derivadas e integrais no ensino médio, é preciso encontrar um modo para representar tais operadores, apesar de nem todos os desenvolvimentos de cálculos necessitarem ser expostos. Estão presentes neste trabalho equações descritas de modo que facilite o entendimento matemático do aluno. Esta, no entanto, não é o foco da proposta.

### 5.2.1 Associação de resistores

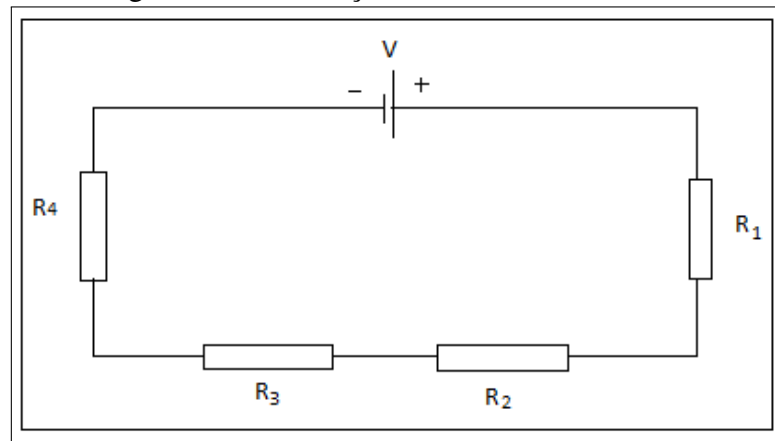
Em uma associação de resistores em série, representada pela Figura 3, a corrente elétrica do sistema é igual à corrente elétrica individual em cada resistor. Nesse caso, todas as correntes são iguais,

$$i = i_1 = i_2 = i_3 = i_4, \quad (5.3)$$

e a tensão total, no gerador elétrico, corresponde à soma de todas as tensões elétricas individuais de cada resistor,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4. \quad (5.4)$$

Figura 3 – Associação de resistores em série



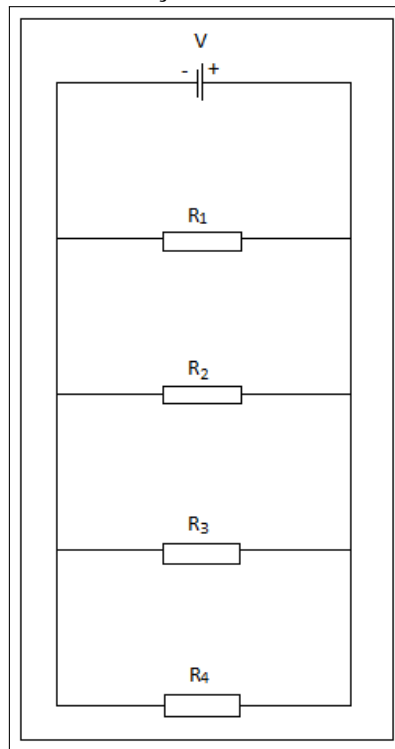
Fonte: Elaborada pelo autor.

A resistência equivalente corresponde à soma das tensões dos resistores do sistema, dividida pela corrente do sistema,

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot i_1 + R_2 \cdot i_2 + R_3 \cdot i_3 + R_4 \cdot i_4}{i}. \quad (5.5)$$

Por outro lado, em uma associação de resistores em paralelo, representada pela Figura 4,

Figura 4 – Associação de resistores em paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor.

a tensão do sistema é igual à tensão individual em cada resistor. Todas as tensões

são iguais,

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = V_4. \quad (5.6)$$

A corrente elétrica equivalente do sistema corresponde à soma de todas as correntes individuais de cada resistor,

$$i_{eq} = i_1 + i_2 + i_3 + i_4, \quad (5.7)$$

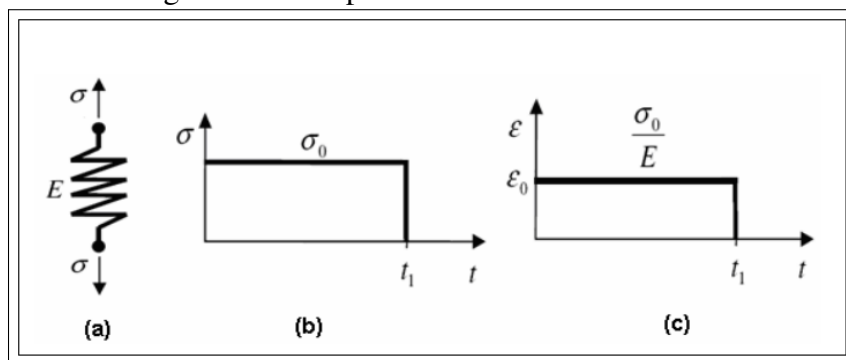
e a resistência equivalente corresponde à

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}. \quad (5.8)$$

### 5.3 Comportamento elástico

Quando uma tensão é aplicada em um material elástico, ele se deforma rapidamente e quando a tensão externa é removida, ele volta ao seu estado inicial recuperando sua forma. Nesse processo a energia interna é conservada. Esse material pode ser representado por uma mola (Figura 5a). No momento em que é aplicada uma tensão constante  $\sigma(t) = \sigma_0$  (Figura 5b), ocorre uma deformação constante e proporcional à tensão submetida (Figura 5c).

Figura 5 – Comportamento elástico linear



Fonte: [http://www.dominipublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=97963](http://www.dominipublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=97963)

Nos materiais elásticos lineares pode-se utilizar a lei de Hooke para descrever o seu comportamento. Cada material deforma de forma característica e, nos cálculos, é representado pelo módulo de elasticidade, E. Nesse caso, uma força normal é aplicada no material, ou seja, estamos considerando apenas compressões.

A tensão aplicada em um determinado período,  $\sigma(t)$ , pode ser escrita como o módulo de elasticidade característico do material, E, multiplicado pela deformação em um período na

qual a tensão é aplicada,  $\varepsilon(t)$ ,

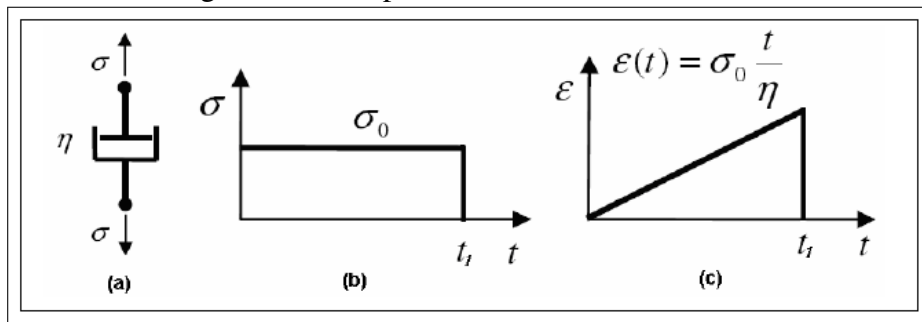
$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t). \quad (5.9)$$

De forma semelhante a uma mola, descrita pela Lei de Hooke.

#### 5.4 Comportamento viscoso

Por outro lado, no comportamento viscoso de um material (Santos, 2008), há uma certa resistência durante o seu escoamento. Esse fenômeno pode ser associado ao funcionamento de um amortecedor (Figura 6a). Quando é aplicada uma tensão constante  $\sigma(t) = \sigma_0$  (Figura 6b), ocorre uma deformação constante e a sua deformação é diretamente proporcional à tensão submetida (Figura 6c).

Figura 6 – Comportamento viscoso linear



Fonte: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=97963](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=97963)

Os materiais que apresentam o comportamento viscoso possuem uma constante  $\eta$ , que depende do material, que mostra o seu grau de resistência ao cisalhamento do fluido, conhecida como viscosidade.

Pode-se dizer que a tensão aplicada em um período,  $\sigma(t)$ , é descrita pela multiplicação entre a viscosidade do material,  $\eta$ , e a variação da deformação em um período na qual a tensão é aplicada,  $\varepsilon(t)$ ,

$$\sigma = \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (5.10)$$

De forma semelhante a um amortecedor.

#### 5.5 Comportamento viscoelástico

Como já mencionado, um material possui comportamento viscoelástico quando ele apresenta propriedades intermediárias ao comportamento elástico e ao comportamento viscoso.



A proporcionalidade direta entre uma tensão e uma deformação em um período é característica de um material viscoelástico linear. Ao aplicar uma tensão  $\sigma = \sigma_0$ , no material ocorre uma deformação instantânea  $\varepsilon_0$ . Essa deformação aumenta de acordo com o tempo em que a tensão é aplicada  $\varepsilon(t)$ , fenômeno conhecido como fluência. Quando não há mais aplicação de tensão no material ( $\sigma = 0$ ), este começa a voltar ao seu estado inicial imediatamente. Então, a deformação de magnitude corresponde à deformação instantânea inicial ( $\varepsilon_R = \varepsilon_0$ ) e isso leva um certo período até ter uma boa parte da deformação sofrida, processo denominado de recuperação elástica retardada. No entanto, em uma pequena parcela a deformação sofrida não é recuperada, mesmo submetida a tempos infinitos.

De acordo com Boltzmann, há também uma relação entre a tensão e a deformação, que variam com o tempo. Quando a tensão é alterada, a deformação também sofre pequenas alterações, de forma proporcional,

$$d\sigma = \varepsilon \cdot dE. \quad (5.11)$$

E o módulo de relaxação é  $E(t)$ , na qual também é o módulo resultante da variação da tensão com o tempo  $\sigma(t)$ , onde um material sofre uma deformação constante  $\varepsilon$ ,

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon}. \quad (5.12)$$

## 5.6 Modelo de Maxwell

Maxwell foi o primeiro a propor um modelo para representar o comportamento viscoelástico. Tal modelo é um dos mais simples hoje em dia. Ele consiste em uma associação em série de uma mola e um amortecedor, representado pela Figura 7.

A tensão em cada elemento do sistema é a mesma, pois estão em série, como a corrente elétrica numa associação de resistores em série. Já a deformação, pode ser calculada a partir da somada das deformações da parte elástica e da parte viscosa, como a tensão elétrica total, no gerador elétrico, numa associação de resistores em série,

$$\sigma = \sigma_m = \sigma_a, \quad (5.13)$$

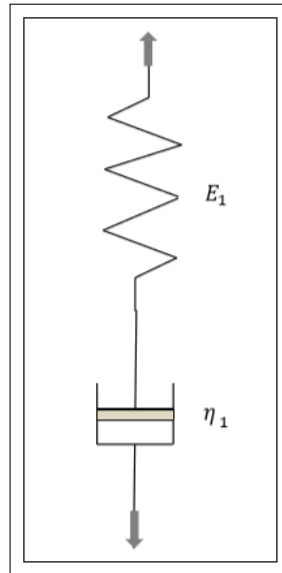
e

$$\varepsilon = \varepsilon_m + \varepsilon_a. \quad (5.14)$$

O comportamento elástico (mola) e o comportamento viscoso (amortecedor) estão relacionados com os índices  $m$  e  $a$  adotados nos cálculos. O docente pode optar por expor o

passo a passo de alguns cálculos aqui presentes, ou não, pois nem todos os passos poderão ser fáceis para o estudante do Ensino Médio. Ele também pode optar por expor o conteúdo de forma mais conceitual, usando as analogias e equações finais (sem seu passo a passo).

Figura 7 – Modelo de Maxwell



Fonte: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/597/423>

A equação que representa a tensão aplicada no material viscoelástico de Maxwell é

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_m + \eta \cdot \frac{d\varepsilon_a}{dt}. \quad (5.15)$$

Para facilitar o entendimento da equação anterior, ela pode ser escrita como:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_m + \eta \cdot \frac{\Delta\varepsilon_a}{\Delta t}, \quad (5.16)$$

tendo a representação da parte elástica por

$$\sigma_m = E \cdot \varepsilon_m, \quad (5.17)$$

e representando a parte viscosa por

$$\sigma_a = \eta \cdot \frac{\Delta\varepsilon_a}{\Delta t}, \quad (5.18)$$

que seria correspondente à

$$\sigma_a = \eta \cdot \frac{d\varepsilon_a}{dt}. \quad (5.19)$$

A deformação elástica pode ser escrita como

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{E} = \frac{\sigma}{E}, \quad (5.20)$$

e a deformação viscosa

$$\frac{d\varepsilon_a}{dt} = \frac{\sigma}{\eta}, \quad (5.21)$$

se comporta como

$$\Delta\varepsilon_a = \Delta t \cdot \frac{\sigma}{\eta}. \quad (5.22)$$

Assim, como a deformação do material viscoelástico é calculado pela soma das partes elástica e viscosa, então,

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta}, \quad (5.23)$$

pode ser escrita como

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t} = \frac{1}{E} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta t} + \frac{\sigma}{\eta}. \quad (5.24)$$

A equação que corresponde a deformação de materiais viscoelásticos de Maxwell

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\sigma}{E} + \Delta t \cdot \frac{\sigma}{\eta}. \quad (5.25)$$

### 5.6.1 Fluência

A fluência corresponde a uma lenta e contínua deformação de um material, em um intervalo de tempo, submetido a uma tensão. Quando um material viscoelástico é sujeito à uma tensão constante ( $\sigma = \sigma_0$ ), em um intervalo de tempo igual a zero ( $\Delta t = 0$ ), seu comportamento corresponde a

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta}. \quad (5.26)$$

A variação da deformação do material viscoelástico é igual a zero,

$$\Delta\varepsilon = 0, \quad (5.27)$$

ou

$$\varepsilon(t) - \varepsilon_0 = 0. \quad (5.28)$$

E apresenta um comportamento de fluido newtoniano, ou seja, quando  $t = 0$  de  $\varepsilon(t)$ ,

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E}. \quad (5.29)$$

Já  $\varepsilon(t)$  corresponde a

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot t, \quad (5.30)$$

e ao ser dividida por  $\sigma_0$

$$\frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{\varepsilon_0}{\sigma_0} + \frac{t}{\eta}. \quad (5.31)$$

Então, a fluência pode ser escrita como

$$J(t) = J_0 + \frac{t}{\eta}, \quad (5.32)$$

onde

$$J_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sigma_0} = \frac{1}{E}. \quad (5.33)$$

### 5.6.2 Relaxação

Quando a deformação for constante ( $\varepsilon_0$ ), a tensão ao longo do tempo irá decrescer.

A equação da deformação de materiais viscoelásticos de Maxwell é descrita por

$$\frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} = 0, \quad (5.34)$$

e para facilitar seu entendimento,

$$\frac{1}{E} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta t} + \frac{\sigma}{\eta} = 0. \quad (5.35)$$

Além disso,

$$d\sigma = -\frac{\sigma(t)}{\lambda} dt, \quad (5.36)$$

e para sua solução,

$$\frac{d\sigma(t)}{\sigma(t)} = d \cdot \ln\sigma(t) = -\frac{dt}{\lambda}, \quad (5.37)$$

é necessário integrar,

$$\int d \cdot \ln\sigma(t) = -\frac{1}{\lambda} \int dt + C, \quad (5.38)$$

e  $\ln\sigma(t)$  resulta em:

$$\ln\sigma(t) = -\frac{t}{\lambda} + C. \quad (5.39)$$

Supondo que há um  $\sigma(0)=\sigma_0$ , quando  $t = 0$  e  $\varepsilon_0$ , então,

$$C = \ln\sigma_0, \quad (5.40)$$

e considerando a Equação 5.39,

$$\ln\sigma(t) - \ln\sigma_0 = \ln\left(\frac{\sigma(t)}{\sigma_0}\right) = -\frac{t}{\lambda}, \quad (5.41)$$

chegamos na Equação seguinte,

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{t}{\lambda}}. \quad (5.42)$$

O tempo de relaxação do modelo é  $\lambda$ ,

$$\lambda = \frac{\eta}{E}. \quad (5.43)$$

Ao multiplicar a equação pela deformação constante, obtém-se o módulo de relaxação,

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = E \cdot e^{-\frac{t}{\lambda}}. \quad (5.44)$$

### 5.6.3 Recuperação

Quando não houvesse mais a tensão sobre o material, ele buscaria voltar a sua forma inicial ao decorrer de um tempo. No entanto, isso não acontece nesse modelo. Sua deformação do componente viscoso não é reversível ao longo de um tempo. Então, o Modelo viscoelástico de Maxwell não apresenta uma recuperação.

## 5.7 Modelo de Kelvin-Voigt

O modelo proposto por Kelvin e Voigt também é considerado simples para representar o comportamento viscoelástico. Ele consiste em uma associação em paralelo de uma mola e um amortecedor, representado pela Figura 8.

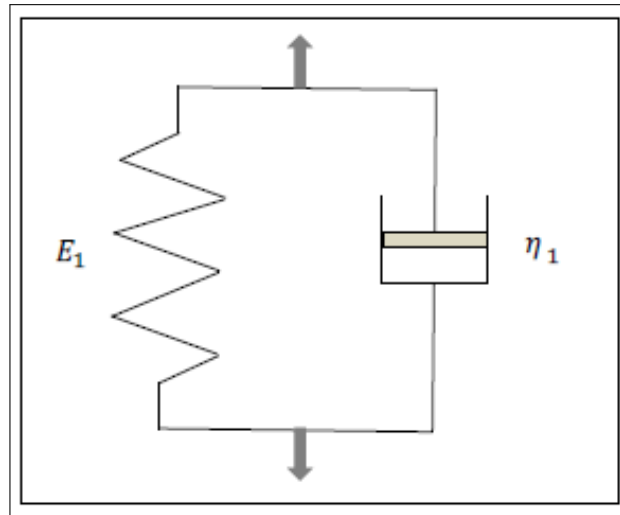
Nesse modelo, para obter a tensão total aplicada no sistema, deve-se somar as tensões individuais. Como a corrente elétrica equivalente numa associação de resistores em paralelo,

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_a. \quad (5.45)$$

E a deformação do sistema é igual às deformações individuais. Como a tensão elétrica total numa associação de resistores em paralelo,

$$\varepsilon = \varepsilon_m = \varepsilon_a. \quad (5.46)$$

Figura 8 – Modelo de Kelvin-Voigt



Fonte: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/597/423>

Pode-se escrever a tensão em função do tempo como

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t) + \eta \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (5.47)$$

ou

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t) + \eta \cdot \frac{\Delta\varepsilon(t)}{\Delta t}. \quad (5.48)$$

### 5.7.1 Fluência

Nesse modelo, ao aplicar uma tensão constante no material

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{E}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{\sigma_0}{\eta}, \quad (5.49)$$

onde  $\lambda$  é o tempo de retardamento. O tempo que o modelo demora para deformar ao ser submetido à tensão,

$$\lambda = \frac{\eta}{E}. \quad (5.50)$$

Assim,

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} (1 - e^{-t/\lambda}), \quad (5.51)$$

e a equação que representa a fluência nesse modelo, é

$$J(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{E}(1 - e^{-t/\lambda}), \quad (5.52)$$

e

$$J_0 = \frac{1}{E}. \quad (5.53)$$

Em intervalos de tempo muito curtos, devido à característica de amortecedor, o material não sofre uma deformação instantânea, mas uma deformação lenta. Desse modo, essa sua deformação é diretamente proporcional ao tempo de aplicação da tensão.

### 5.7.2 Relaxação

Se um material for submetido à uma deformação constante,  $\varepsilon(0) = \varepsilon_0$ , em  $t = 0$ , a tensão se comporta como

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon_0, \quad (5.54)$$

e

$$\sigma_0 = E \cdot \varepsilon_0. \quad (5.55)$$

Nesse modelo, não há a contração da componente elástica ao decorrer do tempo, diferente do Modelo de Maxwell, visto anteriormente.

Sua tensão se comporta de forma constante ao decorrer de sua aplicação. Dessa forma, o módulo de relaxação será contante e igual ao módulo da mola

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = E. \quad (5.56)$$

### 5.7.3 Recuperação

Acontece quando a tensão é nula,  $\sigma=0$ . A Equação (5.48) corresponde a zero, ou seja,

$$E \cdot \varepsilon(t) + \eta \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = 0, \quad (5.57)$$

na qual, a deformação é descrita por

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cdot e^{-(E/\eta)t}. \quad (5.58)$$

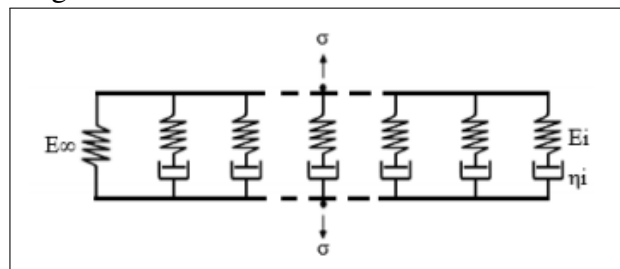
## 5.8 Outros modelos viscoelásticos

Os modelos expostos neste trabalho, são considerados como uns dos modelos viscoelásticos mais simples. No entanto, sua compreensão é de extrema importância para começar a entender e imaginar modelos mais complexos e mais eficientes para descrever materiais viscoelásticos.

Esses modelos simples não são perfeitos, pois não descrevem perfeitamente o comportamento de um material viscoelástico. No entanto, eles alavancam ideias de comportamento e descrição de um modelo mais apropriado. O modelo de Maxwell possui uma falha ao descrever a fluência, já o modelo de Kelvin-Voigt a descreve de forma melhor, mas possui falha ao descrever a relaxação.

A associação em paralelo de vários sistemas do Modelo de Maxwell é conhecida como o Modelo Generalizado de Maxwell (Figura 9).

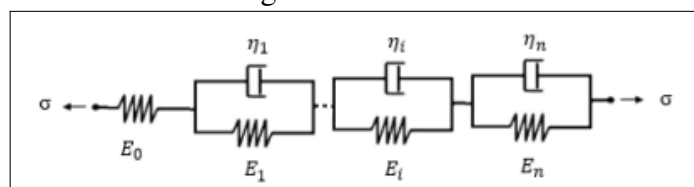
Figura 9 – Modelo Generalizado de Maxwell



Fonte: <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M15-14A-Carmen-Meneses.pdf>

A associação em série de vários sistemas do Modelo de Kelvin-Voigt é conhecida como o Modelo Generalizado de Kelvin-Voigt (Figura 10).

Figura 10 – Modelo Generalizado de Kelvin-Voigt

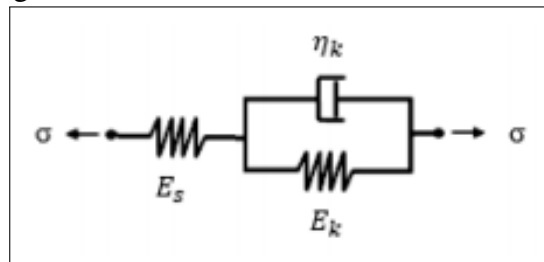


Fonte: <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M15-14A-Carmen-Meneses.pdf>

Configurar e associar os modelos de outras formas, como o Modelo de Boltzmann (Figura 11)



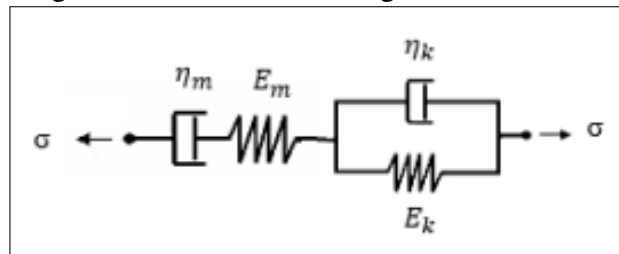
Figura 11 – Modelo de Boltzmann



Fonte: <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M15-14A-Carmen-Meneses.pdf>

E o Modelo de Burgers (Figura 12), são formas de aproximar os resultados teóricos aos experimentais.

Figura 12 – Modelo de Burgers



Fonte: <http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M15-14A-Carmen-Meneses.pdf>

Assim, os modelos teóricos se aproximam cada vez mais do comportamento real de um material viscoelástico.

## 6 QUESTIONÁRIO

Tendo como base os conceitos expostos anteriormente, o docente pode escolher utilizar mais ou menos equações durante suas aulas. Desse modo, ele também tem a opção de deixar sua aula com um viés mais teórico, sem apresentar muitas equações aos alunos, somente aquelas que ele julgar necessárias.

É importante ressaltar que as analogias, ao longo das aulas e do questionário são de suma importância, já que através disso os discentes encontram uma maior facilidade para tal temática. Assim, além de propor o entendimento dessa nova temática, os alunos também revisam conceitos já estudados anteriormente.

No Apêndice A, há uma lista de questões sugeridas para o professor submetê-la aos alunos. Nela há questões com o intuito de promover uma revisão de conceitos estudados anteriormente, como associação de resistores. Assim, além de revisar conteúdos já estudados, os alunos aprendem a nova temática com mais facilidade.

Para deixá-la mais completa, o docente responsável pela disciplina de Biologia deve acrescentar questões sobre células, de forma que traga uma contextualização ao novo tema e os conteúdos interajam entre si, tanto durante a aula, quando depois - com o questionário.

## 7 CONCLUSÃO

O ensino de física enfrenta barreiras desde o seu início no Brasil. Muitas dificuldades persistem ao longo de sua trajetória e até hoje ainda estão presentes. Problemas que estão enraizados sendo necessário anos de adaptação no ensino para conseguir superá-los. Eles não são gerados somente na disciplina de física, mas também em outras. A dificuldade dos alunos em outra disciplina, como a matemática, acarreta um certo tipo de bloqueio e repulsa com relação a física.

A interdisciplinaridade está sendo cada vez mais falada e ela pode ser um dos caminhos a ser seguido para uma nova forma de ensinar e aprender. Ao saber utilizar as várias formas de interações entre disciplinas, o docente poderá planejar e executar aulas com auxílio de outros colegas de trabalho, deixando seus conteúdos mais conectados e favorecendo um saber mais amplo e contextualizado.

De acordo com os PCNs, como já mencionado, a conexão da física com a sociedade, a contextualidade e a história é de grande importância e necessária para o discente desenvolver habilidades que irão acompanhá-lo durante o resto de sua vida. Por isso, ministrar aulas com conteúdos que estão sendo pesquisados recentemente pela comunidade científica pode mudar as perspectivas dos alunos com relação à física e às ciências.

Ademais, as analogias aos conteúdos estudados anteriormente serviriam tanto para revisá-los quanto para facilitar o entendimento dessa nova temática, de tal modo que o conteúdo não acarretaria tantas dificuldades, já que ele não faz parte da grade curricular do ensino médio. Os alunos estariam aprendendo um novo saber e revisando e fixando outro já estudado.

Além de mostrar como a física pode estar atrelada a biologia, já que os alunos enxergam como disciplinas tão distintas, essa aproximação ampliaria o olhar para a ciência, cuja divisão foi feita apenas para facilitar os estudos dos especialistas. De forma que faria os discentes imaginar outras áreas de pesquisas e como todas as disciplinas são importantes umas para as outras.

O docente responsável pela disciplina de Biologia deve também desenvolver algumas questões sobre célula, sua estrutura e quando ela é uma célula cancerígena. Desse modo, trabalhando junto ao docente responsável pela disciplina de Física, dará o contexto interdisciplinar para a abordagem de tais modelos viscoelásticos.

Os professores também podem optar por propor o questionário de forma totalmente subjetiva, para apurar e analisar de modo mais abrangente o que os alunos compreenderam.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. M. R. **Estudo da viscoelasticidade de células de câncer renal por microscopia de força atômica**. 2010. 155 f. Dissertação (Doutorado em Física) — Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- AUGUSTO, T. G. da S.; CALDEIRA, A. M. de A.; CALUZI, J. J.; NARDI, R. Interdisciplinaridade: Concepções de professores da área ciências da natureza em formação em serviço. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 2, p. 277 – 289, 2004.
- BARTHES, R. **O rumor da língua**. São Paulo: Brasiliense, 1988.
- BICALHO, L. M.; OLIVEIRA, M. Aspectos conceituais da multidisciplinaridade e da interdisciplinaridade e a pesquisa em ciência da informação. **Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 16, n. 32, p. 1 – 26, 2011.
- BONATTO, A.; BARROS, C. R.; GEMELI, R. A.; LOPES, T. B.; FRISON, M. D. A interdisciplinaridade no ambiente escolar. In: **IX Seminário ANPED SUL**. Caxias do Sul, Rio Grande do Sul: [s.n.], 2012.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino médio**. Brasília, 1999.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino médio**. Brasília, 2000.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2002.
- BRASIL. **Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2006.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2009.
- BRASIL. **PCN+**: Ensino médio. Brasília, s.a.
- DOMINGUES, I. Em busca do método. In: **Conhecimento e transdisciplinaridade II: aspectos metodológicos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. p. 57–74.
- FAZENDA, I. **A Interdisciplinaridade: um projeto em parceria**. São Paulo: Loyola, 1993.
- FAZENDA, I. **O que é interdisciplinaridade?** [S.l.]: Cortez Editora, 2008.
- FAZENDA, I. A. **Interdisciplinaridade: História, teoria e Pesquisa**. São Paulo: Papirus, 1994.
- FAZENDA, I. C. A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro**. São Paulo: Edições Loyola, 2011.
- JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.
- JÚNIOR, J. B. A. A evolução do ensino de física no brasil. **Revista de Ensino de Física**, v. 1, n. 2, p. 45–58, 1979.
- JÚNIOR, J. B. A. A evolução do ensino de física no brasil. **Revista de Ensino de Física**, v. 2, n. 1, p. 55–73, 1980.

LIMA, A. C. da S.; AZEVEDO, C. B. de. A interdisciplinaridade no Brasil e o ensino de história: Um diálogo possível. **Revista Educação e Linguagens**, v. 2, n. 3, p. 277 – 289, 2013.

LUCK, H. **Pedagogia da interdisciplinaridade. Fundamentos teórico-metodológicos**. Petrópolis: Vozes, 2001.

MACHADO, N. J. **Educação: projetos e valores**. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

MENESES, C. E. R. **Análise Do Comportamento Mecânico De Compósitos Laminares Considerando A Viscoelasticidade**. 2015. 173 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: Retrospectiva e perspectivas. **Revista de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94, 2000.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar e reformar o pensamento**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MORIN, E.; ALMEIDA, M. d. C.; CARVALHO, E. d. A. **Educação e Complexidade: os sete saberes e outros ensaios**. São Paulo: Cortez Editora, 2007.

NETO, J. A. d. F. A transversalidade e a renovação no ensino de história. In: **História na sala de aula: conceitos, práticas e propostas**. São Paulo: Contexto, 2010. p. 57–74.

PETRAGLIA, I. **Edgar Morin: a educação e a complexidade do ser e do saber**. Petrópolis: Vozes, 2002.

SANTOMÉ, J. T. **Globalização e interdisciplinaridade: o currículo integrado**. Porto Alegre: Editora Artes Médicas, 1998.

SANTOS, E. O. dos. **O currículo e o digital: educação presencial e a distância**. 2002. 141 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

SANTOS, J. P. L. **Análise de modelos reológicos viscoelásticos através de formulações mistas em elementos finitos**. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) — Pós-graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

THIESEN, J. da S. A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem. **Revista Brasileira de Educação**, v. 13, n. 39, 2008.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

### MODELOS VISCOELÁSTICOS DE MAXWELL E DE KELVIN-VOIGT

**Questão 1.** No laboratório de física experimental, um professor e um aluno estão juntando molas para uma prática experimental da Lei de Hooke. O aluno percebeu que, ao suspender um bloco com massa  $m$  na Mola 1 e ao suspender, na Mola 2, um bloco também com massa  $m$ , as duas molas sofreram deformações diferentes ( $\Delta x$ ). Por que?

**Questão 2.** Sua viscosidade é constante quando sua deformação varia. Essa descrição corresponde ao:

- (a) Fluido newtoniano independente do tempo;
- (b) Fluido newtoniano;
- (c) Fluido não newtoniano independente do tempo;
- (d) Fluido não newtoniano.

**Questão 3.** Com base na questão anterior, pode-se afirmar que a sua tensão:

- (a) É diretamente proporcional a sua deformação;
- (b) É inversamente proporcional a sua deformação;
- (c) Não possui relação com a sua deformação;
- (d) É constante.

**Questão 4.** A tensão no modelo de Maxwell se comporta como a corrente elétrica num sistema de resistores associados em série. Além disso, podemos afirmar:

- (a) Cada componente possui uma tensão diferente;
- (b) A soma de todas as tensões de cada componente resulta na tensão total do sistema;
- (c) As tensões de todas as componentes são iguais;
- (d) A diferença entre as tensões resulta na tensão total do sistema.

**Questão 5.** Já a deformação, no modelo de Maxwell, corresponde:

- (a) A soma das componentes do sistema, como a corrente elétrica numa associação de resistores em série;
- (b) A soma das componentes do sistema, como a tensão elétrica numa associação de resistores em série;
- (c) A deformação individual das componentes do sistema, como a tensão elétrica numa associação de resistores em paralelo;

- (d) A deformação individual das componentes do sistema, como a corrente elétrica numa associação de resistores em paralelo.

**Questão 6.** A fluência, nos modelos viscoelásticos estudados, pode ser explicada quando:

- (a) O material sofre uma deformação instantânea;
- (b) O material é submetido a uma tensão constante e sofre uma deformação imediata;
- (c) A variação da tensão aplicada no material gera uma deformação lenta e contínua;
- (d) A tensão constante aplicada no material gera uma deformação lenta e contínua.

**Questão 7.** A deformação é mantida constante e a tensão decresce ao longo do tempo. Isso acontece durante:

- (a) A fluência;
- (b) A relaxação;
- (c) A recuperação;
- (d) O instante após a recuperação.

**Questão 8.** Para o caso da questão anterior, desenhe o gráfico de  $\epsilon \times t$  e  $\sigma \times t$ .

**Questão 9.** A recuperação, de acordo com os modelos estudados:

- (a) Acontece de modo similar em ambos os modelos;
- (b) Acontece de forma mais lenta no modelo de Maxwell;
- (c) Não acontece no modelo de Maxwell;
- (d) Não acontece no modelo de Kelvin-Voigt.

**Questão 10.** No modelo de Kelvin-Voigt, a tensão do sistema pode ser obtida:

- (a) De forma diferente ao modelo de Maxwell, através da soma das tensões individuais;
- (b) De forma similar ao modelo de Maxwell, através da soma das tensões individuais;
- (c) De forma diferente ao modelo de Maxwell, através da diferença das tensões individuais;
- (d) De forma similar ao modelo de Maxwell, através da diferença das tensões individuais.

**Questão 11.** No modelo de Kelvin-Voigt, a deformação do sistema é:

- (a) Igual à soma das deformações individuais, como no modelo de Maxwell;
- (b) Igual à soma das deformações individuais, diferente do modelo de Maxwell;
- (c) Igual a deformação individual de qualquer componente, como no modelo de Maxwell;
- (d) Igual a deformação individual de qualquer componente, diferente do modelo de Maxwell.

**Questão 12.** Desenhe os dois modelos viscoelásticos estudados.

**Questão 13.** Escreva como se comporta a deformação total e a tensão total no modelo de Kelvin-Voigt.

**Questão 14.** No modelo de Kelvin-Voigt, quais as analogias podemos fazer que correspondem a associação de resistores?