



Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática

Tiago Clarimundo Ramos

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES DOS
CORPOS DEFORMÁVEIS NO ENSINO DE FÍSICA GERAL PARA OS
CURSOS DE ENGENHARIA**

Belo Horizonte
2009

Tiago Clarimundo Ramos

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES DOS
CORPOS DEFORMÁVEIS NO ENSINO DE FÍSICA GERAL PARA OS
CURSOS DE ENGENHARIA**

*Dissertação apresentada à Banca
Examinadora do Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Ciências e
Matemática da Pontifícia Universidade
Católica de Minas Gerais, como exigência
parcial para obtenção do título de
MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA.*

*Orientador: **Prof. Dr. Lev Vertchenko***

**Belo Horizonte
2009**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

R175a

Ramos, Tiago Clarimundo

Uma abordagem experimental das propriedades dos corpos deformáveis no ensino de física geral para os cursos de engenharia / Tiago Clarimundo Ramos. Belo Horizonte, 2009.
138 f.

Orientador: Dr. Lev Vertchenko

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Educação – Métodos experimentais. 3. Módulo de Young. I. Vertchenko, Lev. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 53:373



PUC Minas
Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO ALUNO
TIAGO CLARIMUNDO RAMOS**

Realizou-se, no dia 10 de dezembro de 2009, às 14:00 horas, prédio 6, sala 110, da PUC Minas, Unidade Coração Eucarístico, a defesa de dissertação do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, com título: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES DOS CORPOS DEFORMÁVEIS NO ENSINO DE FÍSICA GERAL PARA OS CURSOS DE ENGENHARIA, apresentada por: **TIAGO CLARIMUNDO RAMOS**.

A banca examinadora foi composta pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Lev Vertchenko - Orientador (PUC Minas)
Prof. Dr. José Roberto Faleiro Ferreira (PUC Minas)
Profª. Drª. Agneta da Silva Giusta (PUC Minas)

A banca examinadora considerou a dissertação:

☒ Aprovada

() Aprovada de forma condicional (o candidato terá até trinta dias para entregar o texto final da dissertação).


() Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da comissão.

Belo Horizonte, 10 de dezembro de 2009.


Adriano Rodrigues Neves – Secretário


Prof. Dr. Lev Vertchenko (PUC Minas)
Doutorado em Física - UFMG


Profª Drª Agneta da Silva Giusta (PUC Minas)
Doutorado em Psicologia Escolar e do Desenvolvimento Humano (USP)


Prof. Dr. José Roberto Faleiro Ferreira (PUC Minas)
Doutorado em Física (UFMG)

*Dedico este trabalho à minha esposa, meus pais, meus irmãos,
meus avós e demais familiares que muito me apoiaram nessa
conquista.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido vida e saúde para alcançar mais esta vitória.

Aos professores Dr^a. Adriana Gomes Dickman, Dr^a. Agneta da Silva Giusta, Dr. Amauri Carlos Ferreira, Dr. Lev Vertchenko, Dr^a. Lídia Maria L Paixão Ribeiro de Oliveira, Dr^a. Maria Inês Martins, Dr^a. Yassuko Hosoume pelo incentivo e pelas belas aulas.

Em especial, ao professor Dr. Lev Vertchenko. Foi uma honra tê-lo como orientador. Sua dedicação, experiência e objetividade muito contribuíram para a concretização desta dissertação.

*“Diga-me e esquecerei
Mostra-me e lembrarei
Envolva-me e aprenderei”*

Confúcio

RAMOS, Tiago Clarimundo. *Uma abordagem experimental das propriedades dos corpos deformáveis no ensino de Física Geral para os cursos de Engenharia*. 2009. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

RESUMO

Neste trabalho apresentamos um conjunto de atividades experimentais direcionadas ao ensino de Física Geral no 2º período dos cursos de Engenharia. As atividades são organizadas na forma de uma seqüência, de modo que os alunos tenham a oportunidade de explorar, testar e discutir o comportamento do material ao ser tracionado, verificando as condições de aplicações da Lei de Hooke. A fundamentação teórica adotada no desenvolvimento da proposta se apóia na teoria sócio-histórica de Vigotski. Ao longo das atividades, buscamos formar os conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson através da introdução de novos signos que foram inseridos somente a partir do momento em que os alunos tomaram consciência de suas necessidades. Todas as atividades foram testadas com alunos de Engenharia do UNIFOR-MG, em 2009, e, a avaliação da proposta foi feita através de uma atividade experimental de desafio na qual apresentamos para os alunos um problema diferente envolvendo o arqueamento de uma borracha. Os resultados obtidos mostram que houve desenvolvimento dos conceitos nos alunos. Considerando o que foi alcançado, acreditamos que a abordagem experimental contida nesta dissertação é eficiente e indicada para ampliar a capacidade dos alunos de compreender problemas envolvendo as deformações dos materiais.

Palavras-chave: Ensino de Física; Experimentação nos Cursos de Engenharia; Formação de Conceitos Científicos; Módulo de Young; Coeficiente de Poisson.

RAMOS, Tiago Clarimundo. *An experimental approach of the properties of the warping bodies in the teaching of General Physics to the courses of Engineering*. 2009. Dissertation (Professional Master in the teaching of Physics). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

ABSTRACT

This paper is to present a set of experimental activities related to the teaching of General Physics in the second semester of the Engineering Course. The activities are organized in the form of a sequence so that the students have the opportunity of exploring, testing and discussing the material behavior when being tensile, checking the conditions of applications of Hooke's law. The theoretical underlying adopted in the development of the proposal is based on Vygotsky's social-historical theory. Along with the activities it was searched to realize the concepts of Young's Module and Poisson's coefficient through the introduction of new signs which were inserted from the moment that the students were aware of their needs. All the activities were tested with students of Engineering of UNIFOR-MG, in 2009, and the assessment of the proposal was done by a challenging experimental activity in which a different problem involving the warping of a rubber was presented to the students. Considering what it was reached, the experimental approach within this dissertation is effective and indicated to widen the students' capacity of understanding problems involving the material warping.

Key-words: Teaching of Physics; Trial in the Courses of Engineering; Scientific Concept Formation; Young's Module; Poisson's Coefficient.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Plataforma de acesso virtual do UNIFOR-MG – Sistema de arquivos dos professores.....	17
FIGURA 2 Materiais para a prática.....	49
FIGURA 3 Haste com gancho.....	49
FIGURA 4 Haste com gancho conectada à haste maior.....	50
FIGURA 5 Montagens para estiramento de (a) uma gominha, (b) duas gominhas em paralelo e (c) duas gominhas em série.....	50
FIGURA 6 Gominha de borracha na posição inicial.....	51
FIGURA 7 Discos de 50gf.....	52
FIGURA 8 Montagem com apenas um disco de peso 50 gf.....	56
FIGURA 9 Suportes e discos de pesos 50gf cada.....	56
FIGURA 10 Bloco retangular tracionado.....	58
FIGURA 11 Contrações laterais do bloco retangular.....	61
FIGURA 12 Bloco retangular sob pressão isotrópica uniforme.....	63
FIGURA 13 Materiais para a atividade de desafio.....	66
FIGURA 14 Borracha não-deformada.....	66
FIGURA 15 Borracha encurvada para cima.....	67
FIGURA 16 Montagem para curvar a borracha.....	68
FIGURA 17 Material com a parte superior inchada.....	69
FIGURA 18 Ações indicadas na proposta.....	85
FIGURA 19 Representação gráfica dos resultados da questão 01.....	94
FIGURA 20 Representação gráfica dos resultados da questão 02.....	97
FIGURA 21 Representação gráfica dos resultados da questão 03.....	100
FIGURA 22 Representação gráfica dos resultados da questão 04.....	102
FIGURA 23 Representação gráfica dos resultados da questão 05.....	104

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1 Dados de uma gominha sendo carregada.....	53
TABELA 2 Dados de duas gominhas em paralelo sendo carregadas.....	54
TABELA 3 Dados de duas gominhas em série sendo carregadas.....	55
TABELA 4 Dados de uma gominha sendo carregada até 900 gf.....	57
TABELA 5 Dados iniciais da borracha não-deformada.....	66
QUADRO 1 Cronograma das atividades desenvolvidas no laboratório	88
TABELA 6 Resultados da questão 01.....	94
TABELA 7 Resultados da questão 02.....	97
TABELA 8 Resultados da questão 03.....	100
TABELA 9 Resultados da questão 04.....	102
TABELA 10 Resultados da questão 05.....	104

LISTA DE SIGLAS

CNE	Conselho Nacional de Educação
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação e Ciências
EPEF	Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
UNIFOR-MG	Centro Universitário de Formiga - Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Motivação para o trabalho.....	16
1.2	Objeto de estudo.....	16
1.3	Justificativa.....	18
1.4	Hipóteses defendidas.....	19
1.5	A relevância do estudo da elasticidade nos cursos de Engenharia e a estrutura da dissertação.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO LEGAL.....	22
2.1	Uma constatação nos cursos de Engenharia.....	22
2.2	Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Engenharia.....	23
2.3	A Física nos cursos de Engenharia.....	24
2.4	O trabalho proposto e o atendimento à legislação vigente.....	25
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-PEDAGÓGICA.....	26
3.1	Introdução.....	26
3.2	A teoria sócio-histórica de Vigotski.....	27
3.2.1	<i>A teoria sócio-histórica na educação escolar.....</i>	30
3.2.2	<i>A formação de conceitos.....</i>	31
3.2.2.1	<u><i>As fases de formação de conceitos.....</i></u>	32
3.2.2.2	<u><i>O desenvolvimento dos conceitos científicos.....</i></u>	34
3.2.3	<i>Pensamento, linguagem e desenvolvimento.....</i>	36
3.3	Dispositivos didáticos.....	36
3.4	Implementação das idéias de Vigotski no trabalho proposto.....	37
4	A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA.....	40
4.1	Introdução.....	40
4.2	Enfoques das atividades experimentais e o tipo de laboratório adotado no trabalho.....	41

4.3	O enfoque do laboratório estruturado sob uma ótica de Vigotski.....	43
5	PRODUTO.....	45
5.1	Apresentação.....	45
5.2	A seqüência de atividades experimentais.....	47
5.2.1	Introdução.....	47
5.2.2	Objetivo geral.....	47
5.2.3	Objetivos específicos	48
5.2.4	Materiais utilizados nas atividades experimentais.....	48
5.2.5	Montagem e algumas orientações.....	49
5.2.6	Parte I – Um primeiro contato com as deformações elásticas de gominhas de borracha.....	51
5.2.7	Parte II – Explorando um pouco mais o comportamento elástico de uma gominha de borracha submetida a grandes deformações.....	58
5.3	Atividade de desafio.....	65
5.4	Respostas esperadas com a execução das atividades.....	70
6	METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	83
6.1	Procedimentos metodológicos da pesquisa.....	83
6.2	Público-alvo do trabalho, justificativa da escolha dos participantes da pesquisa e a disciplina Física nos cursos de Engenharia do UNIFOR-MG.....	83
6.3	Elaboração do material.....	84
6.3.1	<i>Elaboração das atividades experimentais.....</i>	84
6.3.2	<i>Elaboração da atividade de desafio como instrumento de avaliação.....</i>	86
6.4	Aplicação do material	87
6.5	Apresentação e análise dos resultados.....	89
6.5.1	<i>Análise da seqüência de atividades experimentais.....</i>	90
6.5.2	<i>Análise das respostas individuais dos alunos na atividade de desafio...</i>	93
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107

7.1	Conclusões.....	107
7.2	Pesquisas futuras.....	109
REFERÊNCIAS.....		110
APÊNDICES.....		114
APÊNDICE A - ORIENTAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA MICROCAL ORIGIN.....		115
APÊNDICE B – DOCUMENTO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DO RELATÓRIO DE ATIVIDADES E ARGUMENTAÇÕES APRESENTADAS PELOS ALUNOS.....		116
APÊNDICE C – RELAÇÃO COMPLETA DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS ÀS QUESTÕES DA ATIVIDADE DE DESAFIO.....		117
ANEXOS.....		132
ANEXO A – GRADE CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DO UNIFOR-MG.....		133
ANEXO B – GRADE CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DO UNIFOR-MG.....		135
ANEXO C - GRADE CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DO UNIFOR-MG.....		137

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação para o trabalho

O autor desta dissertação é professor, desde fevereiro de 2004, no Centro Universitário de Formiga, UNIFOR-MG, e, atualmente, leciona as disciplinas Física I, Física II, Física III e Sistemas Dinâmicos nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Engenharia de Produção.

Levando em consideração que uma das exigências do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física é a elaboração de um produto voltado para o ensino de Física, surgiu a idéia de propor um trabalho com ênfase experimental que fosse aplicado ao ensino de Física Geral nos cursos de Engenharia. A seguir, apresentaremos, com detalhes, a proposta do trabalho.

1.2 Objeto de estudo

De maneira geral, os cursos de Física Geral oferecidos nos períodos iniciais dos cursos de graduação procuram introduzir atividades experimentais com o objetivo de auxiliar os alunos na compreensão dos conceitos, leis e princípios físicos e/ou apresentar o método científico da Física como ciência. Tais atividades podem ser classificadas como estruturadas e não estruturadas.

Segundo Moreira e Gonçalves (1980), enquanto no laboratório não estruturado, simplesmente se especifica o objetivo e o procedimento é deixado a cargo do aluno, no laboratório estruturado, o aluno recebe instruções que o guiam através de procedimentos destinados a produzir certos resultados específicos.

Vale a pena defender que através das atividades experimentais é possível tratar o conteúdo da Física e desenvolver nos alunos um conjunto de competências que os tornem aptos para enfrentar outros problemas com sucesso. Neste trabalho, pretendemos abordar o estudo das propriedades dos corpos deformáveis numa proposta de laboratório estruturado para ser aplicada na disciplina de Física Geral

com alunos do 2º período dos cursos de Engenharia. Destacamos que o assunto escolhido, embora seja de Física Geral, é muito importante para a disciplina Resistência dos Materiais. Mais à frente, na seção 4.3 do capítulo 4, apresentaremos também nossa justificativa pela escolha do laboratório estruturado.

O problema encontrado decorre do fato de que, em grande parte dos livros tradicionais de Física Geral¹ adotados nos cursos de Engenharia, o tratamento feito em relação à mecânica dos corpos deformáveis é excessivamente condensado. No entanto, Feynman (2008) faz uma abordagem interessante a respeito do estudo da elasticidade.

Com base nas leituras dos capítulos 38 e 39, do volume 2, do Lições de Física (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008), surgiram inspirações para que pudessemos elaborar uma seqüência de atividades experimentais, objetivando formar os conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson. Esse material compõe o produto da dissertação e será disponibilizado sob a forma de apostila impressa e documento em um arquivo virtual (ver figura 1) no portal do UNIFOR-MG.



Figura 1: Plataforma de acesso virtual do UNIFOR-MG – Sistema de arquivos dos professores

Fonte: Centro Universitário de Formiga, 2009

¹ Fazemos referência às obras de Física de nível superior mais utilizadas e conhecidas como os livros dos autores Tipler (2006), Young e Freedman (2005), Serway e Jewett (2004), Halliday, Resnick e Walker (2002), Nussenzveig (2002), Chaves (2001), entre outros.

1.3 Justificativa

Visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem, precisamos investir em novas propostas que possam viabilizar a motivação dos alunos e dirigir a aprendizagem para objetivos bem definidos. Rosa (2003), ao tratar das concepções teórico-metodológicas no laboratório de Física expõe:

[...] é possível que as atividades experimentais contribuam para o processo de ensino-aprendizagem da Física, entretanto é necessário se ter clareza e consciência dos fins a que este ensino se propõe. (ROSA, 2003, p.16)

Cremos que a introdução de atividades experimentais abrangendo o comportamento dos materiais servirá tanto de apoio para contribuir para a formação dos conceitos como também de motivação para o estudo de Física Geral nos cursos de Engenharia. Desta forma, estamos propondo um trabalho prático sobre o estudo de elasticidade com o intuito de inserir novos signos para formar novos conceitos que servirão de pré-requisitos para uma aprendizagem mais abrangente nos conteúdos profissionalizantes e específicos da Engenharia.

A escolha do laboratório estruturado fechado foi feita pensando em oferecer uma seqüência de atividades que pudesse orientar os alunos na organização das idéias e propiciar a focalização de problemas que, às vezes, não seriam observados espontaneamente pelos mesmos. Segundo Ribeiro, Freitas e Miranda (1997), numa primeira etapa, onde os alunos ainda não apresentam uma familiaridade com o laboratório, devido às deficiências dessa atividade no ensino médio, devemos utilizar uma abordagem de ensino de laboratório estruturado, pois esta, além de fornecer vantagens do ponto de vista administrativo, se apresenta como mais apropriada para facilitar a aprendizagem do conteúdo.

Se considerarmos o curto tempo que é destinado ao estudo da Física Geral e a grande dificuldade dos alunos em compreender e/ou aplicar conceitos físicos, o laboratório estruturado proposto no presente trabalho apresenta uma contribuição significativa para o ensino de Física nos cursos de Engenharia.

1.4 Hipóteses defendidas

Quando nos referimos à aprendizagem dos alunos, os recursos didáticos aparecem como elementos primordiais para um bom aproveitamento dos acadêmicos. Assim, precisamos buscar novas formas de apresentação do conteúdo que permitam também visualizar a relação existente entre a disciplina de Física Geral e outras disciplinas.

Nos cursos de Engenharia, o laboratório exerce um papel importante na formação dos acadêmicos. Ao verificar e/ou interpretar um problema prático, os alunos desenvolvem habilidades e competências que dificilmente seriam alcançadas com uma aula teórica formal. Nesse sentido, um ensino pautado numa metodologia teórico-prática apresenta uma contribuição relevante.

Nenhum engenheiro poderá projetar qualquer tipo de dispositivo prático sem antes compreender os fundamentos físicos. Por isso, sugerimos um laboratório de Física que proporcione discussões e reflexões que possam, realmente, desencadear esclarecimentos dos fundamentos teóricos. Na experimentação, os alunos se sentem mais motivados e podem, inclusive, socializar o conhecimento e confrontar os conceitos espontâneos com os conceitos científicos. Bazzo (2005) esclarece que para resolvermos um problema, precisamos nos distanciar do sistema físico real, substituindo-o por outro mais simples denominado de modelo. Diante disto, podemos afirmar que ao realizar as atividades experimentais do presente trabalho, os alunos terão, também, a oportunidade de julgar modelos e reconhecer as influências e relevâncias das variáveis envolvidas.

1.5 A relevância do estudo da elasticidade nos cursos de Engenharia e a estrutura da dissertação

No estudo da mecânica do corpo rígido, idealizamos um corpo que não se deforma sob a aplicação de forças, mas, ao estudarmos a mecânica dos corpos deformáveis, levamos em conta que todos os materiais, ao serem carregados, podem sofrer alongamentos, compressões, flexões e torções. Para Hibbeler (2006),

se quisermos lidar com os diversos projetos na engenharia, precisamos compreender os princípios físicos e aplicá-los corretamente.

Em muitas situações, considerar as propriedades dos corpos deformáveis é uma exigência. Young e Freedmann (2005, p.323) exemplificam: Quando analisamos a estrutura das asas dos aviões, percebemos que elas podem se encurvar ligeiramente, mas devemos nos preocupar em projetá-las para que não se quebrem. A estrutura de aço de um edifício projetado para resistir terremotos deve ser capaz de sofrer flexões, mas não pode ultrapassar certo limite. Para o futuro engenheiro, a determinação precisa do dimensionamento dos elementos é de vital importância no exercício da profissão. No curso de Engenharia, o aluno irá estudar diversos assuntos voltados para análise e projetos de estruturas mecânicas, portanto, certo aprofundamento no estudo da elasticidade no ensino de Física Geral é extremamente válido.

No desenvolvimento do projeto que resultou na construção do produto, consideramos três pontos importantes:

- i – Conceitos a serem desenvolvidos;
- ii – O referencial teórico-pedagógico a ser adotado;
- iii – A escolha de uma metodologia para aplicação das atividades.

Com relação aos conceitos, buscamos elaborar atividades que pudessem oferecer aos alunos a possibilidade de apreender os conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson a partir de uma seqüência de investigações fundamentada na teoria de Vigotski. Considerando que uma abordagem experimental facilita a formação de conceitos físicos e o aprimoramento das relações conceituais, adotamos uma metodologia voltada para práticas de laboratório.

A seguir, apresentamos nos Capítulos 2 e 3 a fundamentação legal e teórico-pedagógica que nortearam tanto a elaboração quanto a análise dos resultados obtidos com a aplicação do produto. No Capítulo 4, discutimos o papel da experimentação no Ensino de Física, descrevemos os diversos enfoques das atividades experimentais e apresentamos como pretendemos propor o laboratório estruturado sob uma perspectiva de Vigotski.

Como produto dessa dissertação, apresentamos, no Capítulo 5, uma seqüência experimental em forma de roteiro para ser aplicada no laboratório de Física Geral com alunos do 2º período dos cursos de Engenharia. No Capítulo 6, apresentamos a metodologia adotada, analisamos os resultados obtidos com a

aplicação da proposta e, por fim, no Capítulo 7, fechamos este trabalho com as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

2.1 Uma constatação nos cursos de Engenharia

Em 25 de fevereiro de 2002, foi publicado na seção 1 do Diário Oficial da União, o Parecer nº 1.362/2001 do Conselho Nacional de Educação (2001), expondo que o currículo no curso de graduação em Engenharia vai muito além das atividades convencionais de sala de aula. Esse Parecer explicita ainda, que o conceito de processo participativo de ensino só se consolida quando o aluno exerce um papel de construir o seu conhecimento, com orientação e participação do professor.

O Parecer nº 1.362/2001 do Conselho Nacional de Educação CNE (2001) relata:

O novo engenheiro deve ser capaz de propor soluções que sejam não apenas tecnicamente corretas, ele deve ter a ambição de considerar os problemas em sua totalidade, em sua inserção numa cadeia de causas e efeitos de múltiplas dimensões. Não se adequar a esse cenário procurando formar profissionais com tal perfil significa atraso no processo de desenvolvimento. As Instituições de Ensino Superior no Brasil têm procurado, através de reformas periódicas de seus currículos, equacionar esses problemas. Entretanto essas reformas não têm sido inteiramente bem sucedidas, dentre outras razões, por privilegiarem a acumulação de conteúdos como garantia para a formação de um bom profissional. (CNE, 2001, p. 1)

Num cenário mundial que demanda, cada vez mais, o uso intenso da ciência e da tecnologia, a formação do engenheiro não deve privilegiar somente a acumulação de conteúdos. Desta forma, devemos nos preocupar com o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, competências e valores, pois, somente assim, poderemos formar engenheiros qualificados.

No sentido de compreendermos melhor os princípios e fundamentos estabelecidos para organização e desenvolvimento dos cursos de graduação em

Engenharia, mostraremos, a seguir, as orientações oferecidas nas Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de graduação do Ensino Superior.

2.2 Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Engenharia

Ao estabelecerem as Diretrizes Curriculares Nacionais, a Câmara de Educação Superior do CNE define os princípios, fundamentos, condições e procedimentos que devem ser observados na organização e desenvolvimento dos cursos de graduação. No tocante aos cursos de Engenharia, a Resolução nº 11/2002 do CNE (2002), em seu artigo 3º, define que o aluno deve receber formação generalista, crítica e reflexiva, destacando os aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, numa visão ética e humanística. Para tanto, precisamos estimular em nossos alunos uma atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, capacitando-os também para lidar com as novas tecnologias.

Uma vez que a futura atuação do profissional da engenharia implicará em transformações físicas do ambiente, a abordagem pedagógica deve se preocupar com a integração social e com a sustentabilidade ambiental. Diante disso, vale ressaltar que a formação do engenheiro ultrapassa os limites estanques das disciplinas. O artigo 4º destaca que nos cursos de Engenharia, devemos desenvolver as seguintes competências e habilidades: aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia; projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos; planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia; identificar, formular e resolver problemas; desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas; supervisionar e avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas; comunicar-se eficientemente na forma escrita, oral e gráfica; atuar em equipes multidisciplinares; compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais; avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social ambiental; avaliar a viabilidade econômica de projetos; assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.

A resolução nº 11/2002 do CNE (2002) demonstra, claramente, em seu artigo 5º, que o projeto pedagógico de um curso de Engenharia deve explicitar como o conjunto de atividades possibilita o desenvolvimento das competências e habilidades nos alunos. Nos 1º e 2º parágrafos, percebemos que a legislação enfatiza o exercício de atividades tanto individuais quanto em grupo:

§1º Deverão existir os trabalhos de síntese e integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, sendo que, pelo menos, um deles deverá se constituir em atividade obrigatória como requisito de graduação. (CNE, 2002, p. 2)

§2º Deverão também ser estimuladas atividades complementares, tais como trabalhos de iniciação científica, projetos multidisciplinares, visitas teóricas, trabalhos em equipe, desenvolvimento de protótipos, monitorias, participação em empresas juniores e outras atividades empreendedoras. (CNE, 2002, p. 2)

No artigo 6º fica definido que todo curso de Engenharia deve apresentar no currículo, um núcleo de conteúdos básicos, constando de 30% da carga horária, um núcleo de conteúdos profissionalizantes, com 15% da carga horária e o restante da mesma constituirá um núcleo de conteúdos específicos para aprofundamentos dos conteúdos profissionalizantes, bem como de outros conteúdos destinados a caracterizar modalidades de engenharia. A Física se encontra no núcleo de conteúdos básicos da Engenharia. É importante destacar que nos conteúdos de Física, Química e Informática, é obrigatória a existência de atividades de laboratório, e, nos demais conteúdos básicos, também deverão ser previstas atividades práticas e de laboratório, com enfoque e intensidade compatíveis com a modalidade pleiteada.

Vale acreditar que a busca de novas alternativas metodológicas pode contribuir significativamente para melhoria dos cursos de Engenharia. Contudo, no artigo 8º, observamos que a implantação e o desenvolvimento da proposta curricular deverão ser acompanhados e avaliados, a fim de se permitir os ajustes que se fizerem necessários ao seu aperfeiçoamento.

2.3 A Física nos cursos de Engenharia

Como exposto na seção anterior, percebemos que a Física faz parte do núcleo básico nos cursos de Engenharia e o uso do laboratório é obrigatório. Observamos, também, que na legislação federal, não existe uma definição com relação à carga horária reservada para as práticas de Física, ou seja, o uso das atividades experimentais fica a critério do professor, de tal forma que as aulas destinadas ao uso deste são concomitantes com as aulas teóricas.

Geralmente, nos cursos de Engenharia, o estudo da Física contempla tópicos fundamentais de Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Ótica. O estudo dos fenômenos físicos abordados nos referidos campos da Física, objetiva desenvolver nos alunos o reconhecimento de um comportamento físico, visando formar conceitos que serão pré-requisitos essenciais para o aprendizado de outros conceitos em outras disciplinas no decorrer do curso. Dentre estas disciplinas, podemos citar: Resistência dos Materiais, Mecânica dos Solos, Fenômenos de Transporte, Estruturas Metálicas, Concreto Armado, Eletricidade Aplicada, Sistemas Hidráulicos, etc.

2.4 O trabalho proposto e o atendimento à legislação vigente

De acordo com a fundamentação legal descrita neste capítulo, percebemos que ao longo do curso de Engenharia, o aluno deve participar de atividades que contribuam para o desenvolvimento de habilidades voltadas para aplicação do conhecimento em situações práticas. Por isso, ao propormos um material que explora o uso do laboratório, acreditamos que o aluno de Engenharia é aquele que além de conhecer precisa praticar e fazer.

Visando atender à formação do engenheiro indicada pela legislação, o presente trabalho propõe uma sequência de atividades para o ensino de Física Geral que visa oferecer aos alunos a oportunidade de realizar experimentos, atuar em equipe, aplicar conhecimentos matemáticos, analisar e interpretar dados, usar ferramentas computacionais e formar novos conceitos. Além disso, tendo em vista a consolidação do conhecimento e o desenvolvimento da habilidade de comunicação na forma escrita, exigimos que os alunos descrevam suas explicações a respeito dos problemas investigados experimentalmente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-PEDAGÓGICA

3.1 Introdução

Vigotski² (2000) considera que o desenvolvimento humano se refere a um processo dialético, que apresenta periodicidade, irregularidade no aprimoramento das diferentes funções, metamorfose ou transformação qualitativa de uma forma em outra, entrelaçamento de fatores externos e internos e processos adaptativos. Apesar de seus trabalhos serem voltados para o estudo da criança e do adolescente, não podemos dizer que se tratam apenas do desenvolvimento intelectual na infância e na adolescência. Através de seus estudos, tornou-se possível, compreendermos melhor os processos humanos complexos e a concepção do desenvolvimento das funções mentais superiores em suas diversas manifestações.

Em seus estudos, Vigotski (2001) procura constantemente retornar aos pensamentos de alguns investigadores como Piaget e outros, a fim de aprimorar e destacar seus pontos de vista. Em sua abordagem, percebemos a ênfase dada à mudança e à preocupação em mostrar que, a cada estágio de seu desenvolvimento, a criança adquire os novos meios para intervir de forma competente no seu mundo e em si mesma. Um aspecto relevante no desenvolvimento do indivíduo, e que tem início na infância, é a elaboração de estímulos artificiais, através dos quais uma nova situação e as respectivas reações são modificadas pela intervenção social. Enquanto Piaget busca um suporte mais biológico para estudar o comportamento da criança, notamos que a teoria sócio-histórica de Vigotski preocupa-se com a interação existente entre as condições sociais em transformação e as bases biológicas deste comportamento.

² A referência que estou usando são trabalhos de Vygotsky que foram reeditados em 1999, 2000 e 2001, porém, vale ressaltar que Lev Semionovitch Vygotsky dedicou-se à elaboração de sua obra, a partir de 1924, e, apesar de seus trabalhos serem da década de 30, sua teoria só começou a ter entrada no Brasil, de modo lento, na segunda metade da década de 70. No ano de 1984, Martins Fontes publica a primeira versão brasileira de *Mind in Society* (A formação social da mente) e, em 1987, a de *Thought and Language* (Pensamento e Linguagem), permitindo assim o primeiro acesso às idéias de Vygotsky. O estudo dos trabalhos de Vygotsky surge com maior força a partir de 1980, sendo reeditado até os dias atuais.

Em seus trabalhos Vigotski defende:

É precisamente com o auxílio dos problemas propostos, da necessidade que surge e é estimulada, pelos objetivos colocados perante o adolescente que o meio social circundante o motiva e o leva a dar esse passo decisivo no desenvolvimento do seu pensamento. (VIGOTSKI, 2001, p. 171)

[...] onde o meio não cria os problemas correspondentes, não apresenta novas exigências, não motiva nem estimula com novos objetivos o desenvolvimento do intelecto, o pensamento do adolescente não desenvolve todas as potencialidades que efetivamente contém, não atinge as formas superiores ou chega a elas com um extremo atraso. (VIGOTSKI, 2001, p. 171)

Percebemos também que, no que tange à aprendizagem e ao desenvolvimento intelectual dos alunos, Vigotski valoriza muito tanto o ambiente escolar quanto o papel do professor de mediador. Nesse sentido, ao propormos uma seqüência experimental abordando o estudo da elasticidade, sugerimos o trabalho em grupo com a finalidade de envolver os alunos e professor, propiciando um ambiente de cooperação que permita explorar conceitos que dificilmente seriam percebidos por conta própria do aluno.

Tanto na elaboração quanto na aplicação e análise dos resultados obtidos após a execução das atividades, utilizamos como referencial a teoria sócio-histórica de Vigotski. A seguir, vamos discorrer, brevemente, sobre pontos importantes desta obra e mostraremos como pretendemos implementá-los no trabalho.

3.2 A teoria sócio-histórica de Vigotski

Lev Semionovitch Vygotsky nasceu em 17 de novembro de 1896, em Orsha e faleceu em 11 de junho de 1934, em Moscou. Dedicou-se intensamente à elaboração de sua obra, a partir de 1924, culminando com sua morte precoce, aos 37 anos. Devido à censura, seus trabalhos foram proibidos na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas e só receberam dimensão dentro da própria Rússia, há poucas décadas. No ocidente, seu livro *Pensamento e Linguagem* só foi lançado em 1962. O crescente estudo de seus trabalhos surge a partir de 1980, sendo reeditado até os dias atuais.

Segundo Mainardes e Pino (2000), entre 1982 e 1984 foram publicados, em Moscou, as obras escolhidas de Vigotski, em seis volumes, enquanto surgiam, nos Estados Unidos e em Cuba, traduções de trabalhos separados do autor. As traduções, do russo, das obras³ escolhidas de Vigotski, em edições bem cuidadas, só aparecem a partir da década de 80.

Na visão sócio-histórica, o desenvolvimento das funções intelectuais no ser humano é mediado pelo signo ou pela palavra. Na medida em que as funções intelectuais elementares se combinam surgem novas estruturas de pensamento. Nesse sentido, nenhuma dessas funções pode, isoladamente, conduzir à formação de um conceito.

A posição de um aprendizado socialmente elaborado fica evidente nos estudos da memória mediada, quando Vigotski coloca que, ao longo da interação entre crianças e adultos, os jovens descobrem métodos que ajudam na memorização. Ao investigar também, o papel do brinquedo na criança, percebemos que a ação numa situação imaginária ensina a criança a conduzir seu comportamento pelo significado da situação e não simplesmente pela percepção imediata dos objetos ou da situação. (VIGOTSKI, 2000, p. 127). Na relação entre o indivíduo e a sociedade, a linguagem é um processo pessoal e também social. O surgimento das habilidades da criança na solução dos problemas é possível pelo desenvolvimento das novas funções psicológicas e pelo uso dos instrumentos e signos verbais ou não verbais no processo.

A obra de Vigotski se insere na linha sócio-construtivista, valorizando o uso da linguagem na interação entre os próprios alunos ou entre alunos e professor. Sua teoria sinaliza que a partir da interação dos elementos e pela combinação de síntese e análise é possível se obter um conceito novo.

Nas atividades teórico-experimentais do presente trabalho, o professor se destaca por ser o parceiro capaz de conduzir o processo de ensino e aprendizagem, a fim de confrontar os conhecimentos espontâneos dos alunos com o conhecimento científico propriamente dito. Desta maneira, procuramos introduzir novas

³ I – Problemas da teoria e da história da psicologia (1982)

II – Problemas de psicologia geral (1982)

III – Problemas do desenvolvimento mental (1983)

IV – Psicologia da criança (1983)

V – Fundamentos de defectologia (1983)

VI – Herança científica (1984)

informações, cientificamente mais válidas, promovendo o desenvolvimento de pensamentos coerentes, visando o aprimoramento dos modelos dos alunos.

Para Vigotski (2000), o mundo social é essencial para o desenvolvimento da cognição e o conhecimento é adquirido quando ocorre apropriação da cultura. Com relação ao aprendizado dos fundamentos científicos o processo de ensino-aprendizagem deve apresentar características próprias da inteligência da criança, dentro de seu nível de desenvolvimento, porque elas não aprendem simplesmente pelo decorar, mas elas aprendem através de uma intensa atividade mental. Por isso, para obtermos metodologias de instrução das crianças que sejam eficientes, precisamos considerar o desenvolvimento na mente delas.

Nos experimentos propostos, apresentamos uma seqüência de atividades lógicas onde, partindo de uma situação observada e discutida, torna-se possível abstrair conceitos e compreender o comportamento físico. Diante disso, acreditamos que a interiorização do conhecimento por parte dos alunos não ocorre simplesmente pela manipulação dos materiais e equipamentos diretamente, mas, por meio da linguagem na medida em que eles dialogam uns com os outros e com o professor.

Com respeito à problemática das relações entre aprendizagem e desenvolvimento, Vigotski enfatiza:

[...] a zona de desenvolvimento proximal permite-nos delinear o futuro imediato da criança e seu estado dinâmico de desenvolvimento, propiciando o acesso não somente ao que já foi atingido através do desenvolvimento, como também àquilo que está em processo de maturação. (VIGOTSKI, 2001, p. 113)

O estado de desenvolvimento mental de uma criança só pode ser determinado se forem revelados os seus dois níveis: o nível de desenvolvimento real e a zona de desenvolvimento proximal. (VIGOTSKI, 2001, p. 113)

A zona de desenvolvimento efetivo é aquela que informa o que o estudante sintetizou ao longo da sua vida e pode inclusive ser testada, mas a zona de desenvolvimento proximal apresenta as idéias e possibilidades que ainda não foram consolidadas e podem se transformar em desenvolvimento efetivo. Isto pode ser entendido como aquilo que um aluno consegue fazer sozinho e o que poderia realizar efetivamente. Desta forma, precisamos ensinar dando atenção, principalmente, a esta zona de desenvolvimento proximal.

Ao se referir ao aprendizado, Vigotski explica:

[...] na medida em que oferecia à criança problemas que ela conseguia resolver sozinha, esse método foi incapaz de utilizar a zona de desenvolvimento proximal e de dirigir a criança para aquilo que ela ainda não era capaz de fazer. O aprendizado voltava-se para as deficiências da criança, ao invés de se voltar para os seus pontos fortes, encorajando-a, assim, a permanecer no estágio pré-escolar do desenvolvimento. (VIGOTSKI, 1999, p. 130)

Na fase infantil, só é boa aquela aprendizagem que passa à frente do desenvolvimento e o conduz. Mas só se pode ensinar à criança o que ela já for capaz de aprender. (VIGOTSKI, 2001, p. 332)

Por isso, precisamos de bons instrumentos metodológicos, que propiciem a ampliação do desenvolvimento efetivo e, conseqüentemente, o aparecimento de um novo desenvolvimento proximal.

Em sua teoria, Vigotski deixa claro que o processo de formação de uma nova estrutura e o aperfeiçoamento dos conceitos não se prende apenas à atenção, à formação de imagens ou à inferência, sendo indispensável o uso dos signos ou palavras. Uma vez que através das palavras conduzimos nossas operações mentais em direção à solução dos problemas. (VIGOTSKI, 1999, p. 72)

No tocante ao desenvolvimento das funções mentais superiores, Vigotski propõe:

[...] o aprendizado desperta vários processos internos de desenvolvimento, que são capazes de operar somente quando a criança interage com pessoas em seu ambiente e quando em cooperação com seus companheiros. Uma vez internalizados, esses processos tornam-se parte das aquisições do desenvolvimento independente da criança. (VIGOTSKI, 2001, p. 117)

Ao referir-se que o aprendizado induz uma percepção generalizante, Vigotski declara também que:

Os conceitos científicos, com o seu sistema hierárquico de inter-relações, parecem constituir o meio pelo qual a consciência e o domínio se desenvolvem, sendo mais tarde transferidos a outros conceitos e a outras áreas do pensamento. (VIGOTSKI, 1999, p. 115)

3.2.1 A teoria sócio-histórica na educação escolar

Segundo Vigotski, durante os anos da pré-escola e da escola, as habilidades conceituais são expandidas através do uso da imaginação e do brinquedo. Inicialmente, os jogos revelam lembranças e reproduções de situações reais; porém, através da sua imaginação e do reconhecimento de regras implícitas que dirigem as atividades reproduzidas em jogos, a criança passa a controlar elementos do pensamento abstrato. Nesse sentido, o brinquedo direciona o desenvolvimento. No brinquedo, a criança determina suas próprias ações livremente, mas esta liberdade é ilusória, porque suas ações estão vinculadas aos significados atribuídos aos objetos e a criança age de acordo com eles. (VIGOTSKI, 2000, p. 136)

Comparando o brinquedo com a instrução escolar, Vigotski diz que ambos criam uma zona de desenvolvimento proximal e em ambos os contextos a criança elabora habilidades e conhecimentos socialmente disponíveis que passará a internalizar. (VIGOTSKI, 2000, p. 113). Desta forma, quando sugerimos atividades para serem realizadas em grupo, consideramos que o aluno pode expressar e compartilhar com os outros integrantes, o entendimento que possui de determinada experiência, facilitando assim a aprendizagem dos conceitos.

3.2.2 A formação de conceitos

Segundo Vigotski (1999), num estágio inicial de desenvolvimento, a criança já compreende e visualiza o objetivo de um problema. Quando a criança efetua as tarefas de compreensão e comunicação, ela desenvolve equivalentes funcionais de conceitos, mas as formas de pensamento que ela utiliza são extremamente diferentes das de um adulto, tanto no modo de operação como na composição e estrutura. A principal questão relacionada ao processo de formação dos conceitos é a questão dos meios através dos quais a operação se realiza. A realização de uma tarefa exige além da motivação pelas necessidades, a mobilização de meios e instrumentos apropriados. Os signos constituem o meio básico para dominar e dirigir as funções psíquicas superiores. O signo adere à estrutura como parte fundamental no processo de mediação. No tocante à formação dos conceitos, a palavra é signo usado para formar o conceito e, por fim, converte-se no seu símbolo.

Nesse contexto, Vigotski reforça que, na formação dos conceitos, todas as funções intelectuais precisam entrar em ação. Além de exigir dos alunos atenção, inferência, formação de imagens e associação, é muito importante o uso do signo, como mediador no processo, pois é através da palavra que se controla e direciona as operações mentais para solucionar um problema. (VIGOTSKI, 1999, p. 72)

3.2.2.1 As fases de formação de conceitos

Segundo Vigotski (1999), a trajetória da formação de conceitos é constituída, basicamente, por três fases, cada uma delas constituída por vários estágios:

A primeira fase da formação de conceitos, na criança, ocorre quando ao solucionar um problema, ela começa a agrupar os objetos numa agregação desorganizada, formando uma espécie de “amontoado”. Para a criança pequena, o significado das palavras não representa nada mais do que um conglomerado vago e sincrético de objetos que deram origem à formação de uma imagem instável em sua mente. Nesta fase inicial, identificamos três estágios distintos. O primeiro estágio nesta formação dos amontoados sincréticos é a manifestação do estágio de tentativas e erros no desenvolvimento do pensamento. Durante o segundo estágio, a imagem ou grupo sincrético começa a se formar como resultado da proximidade no tempo ou no espaço dos elementos, ou até mesmo por serem inseridos em alguma outra relação pela percepção imediata da criança. O terceiro estágio da imagem sincrética dispõe-se de elementos tirados de diferentes grupos ou amontoados, que já foram formados, anteriormente, pela criança. A recombinação desses elementos não apresenta elos inerentes entre si, de forma que esta nova formação tem a mesma “incoerência” dos amontoados sincréticos formados inicialmente.

O pensamento por complexos compreende a segunda fase na formação dos conceitos. As associações dos objetos, feitas em um complexo, ocorrem não só pelas impressões da própria criança, mas também através das relações que existem entre esses objetos. Quando a criança atinge o pensamento por complexos indica o início da superação do egocentrismo e já aparecem objetivo e coerência no ato de pensar. No pensamento por complexos, os elos que relacionam os elementos são simplesmente factuais e concretos, isto é, a criança não utiliza da abstração e da

lógica para ligar os componentes. Desta forma, qualquer conexão concreta pode levar à inclusão de um componente em um complexo. E, esta é a diferença primordial existente entre um complexo e um conceito propriamente dito. Os complexos podem ser observados em cinco tipos básicos, que se sucedem uns aos outros nesse estágio de desenvolvimento.

O primeiro tipo de complexo é o tipo associativo, que pode basear-se em qualquer ligação identificada pela criança entre um e outros objetos. O segundo tipo é constituído pela combinação de objetos ou das impressões concretas que eles evidenciam na criança, em grupos com base em alguma característica que os tornam diferentes, resultando nas coleções. O terceiro tipo é o complexo em cadeia, que ao contrário do complexo associativo, cujos elementos são ligados por um núcleo, no complexo por cadeia há relação apenas entre os elementos isolados. O tipo e a natureza das conexões podem mudar de um elo para outro. O quarto tipo chamado de complexo difuso é caracterizado pela difusão e indeterminação do atributo que liga os seus elementos. A criança permanece dentro dos limites das conexões concretas entre as coisas enquanto o tipo de complexo compreende objeto de seu conhecimento, mas, na medida em que o tipo de complexo compreende objetos fora de seu conhecimento, essas conexões tornam-se instáveis, vagas e irreais. O quinto e último tipo de complexo, denominado de pseudoconceito, embora parecido com o conceito dos adultos, é psicologicamente diferente. Uma vez que a criança se orienta pela percepção da semelhança concreta visível, no pseudoconceito forma-se somente um complexo associativo restrito a uma conexão e não faz uso da abstração como em um pensamento conceitual. A falsa impressão de que os significados de muitas palavras são iguais tanto para o adulto como para a criança é decorrente desta funcionalidade dos complexos no pensamento infantil. Como estes pseudoconceitos coincidem, em conteúdo, com os conceitos do adulto, a criança não percebe a transição do pensamento por pseudoconceitos para o pensamento conceitual.

Os complexos são fundamentais para que as conexões e relações possam se concretizar, mas o pensamento conceitual desenvolvido ultrapassa a unificação. As novas formações podem aparecer não só depois que o pensamento por complexos completou todo estágio de desenvolvimento. De forma elementar, podem ser observadas antes dos pseudoconceitos. No entanto, o amadurecimento do conceito deve aparecer, essencialmente, a partir do surgimento da terceira fase, quando o

pensamento se forma através da abstração, do isolamento dos elementos e do ato de examinar os elementos abstratos isolados da totalidade da experiência concreta.

Nesta formação dos conceitos, é necessário unir e também separar, isto é, a síntese deve ser combinada com análise. Nesse sentido, as atividades teórico-experimentais elaboradas abordam investigações, tanto do particular para o geral como do geral para o particular.

Ao se referir à transferência do abstrato para o concreto, Vigotski explica que o aluno, no final da adolescência, já consegue aplicar o conceito apreendido em outras situações. (VIGOTSKI, 1999, p. 100)

3.2.2.2 O desenvolvimento dos conceitos científicos

Vigotski (1999) expõe que em idade escolar, é mediante uma atividade mental intensa que a criança torna-se capaz de aprender os conceitos científicos. Esses conceitos evoluem e não podem ser adquiridos por um processo mecânico. O processo de desenvolvimento da formação dos conceitos acontece mediante as relações de influências entre o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e dos conceitos não-espontâneos.

Considerando que o aprendizado escolar direciona o desenvolvimento mental da criança, acreditamos que é preciso identificar que relação existe entre o desenvolvimento dos conceitos científicos e o aprendizado.

Em seus estudos, Vigotski observa que a criança percebe primeiramente as diferenças e depois as semelhanças. Isso se deve ao fato de que para a criança notar a semelhança, ela precisa de uma estrutura mais avançada para conceituar e generalizar. Esta percepção de generalização é obtida pelo aprendizado e aprimora a consciência dos processos mentais na criança. A conscientização parece se desenvolver por meio dos portais dos conceitos científicos. A transferência dos conceitos científicos para os conceitos cotidianos só ocorre tardiamente, modificando a estrutura psicológica de forma descendente. (VIGOTSKI, 1999, p. 115)

Realizando quatro séries de estudos, Vigotski (1999) analisa a relação entre aprendizado e desenvolvimento:

Na primeira série de estudos ficou evidente que o desenvolvimento da escrita está vinculado a um nível elevado de abstração. No aprendizado da escrita, é necessário que a criança se desligue do aspecto sensorial da fala e passe a usar imagens de palavras no lugar das palavras. E, devido à falta de habilidade para o domínio da atividade abstrata, surge, na criança, uma discrepância entre a escrita e a fala oral. Observamos também resultados semelhantes no campo da aritmética, da gramática e das ciências naturais. Em todos os casos, no início do aprendizado, as funções psicológicas estão imaturas. O desenvolvimento das bases dessas funções psicológicas para o aprendizado das matérias não antecipa o aprendizado, mas acontece interagindo constantemente com suas contribuições oferecidas.

Na segunda série de investigações, fica claro que a curva de desenvolvimento não coincide com a curva do aprendizado escolar; pois, em geral, o aprendizado vem antes do desenvolvimento. Quando uma criança aprende, por exemplo, alguma operação aritmética, apenas se inicia o desenvolvimento desta operação.

A terceira série de investigações mostrou que os pré-requisitos psicológicos para aprender qualquer matéria escolar são, em grande parte, os mesmos. As matérias escolares agem como se fossem uma disciplina formal, cada uma cooperando com o aprendizado das demais.

A quarta série de estudos revelou que a imitação e o aprendizado desempenham um papel importante no desenvolvimento da criança. Quando a criança faz alguma coisa com a ajuda de alguém que é mais capaz, um dia, poderá fazer de maneira independente.

Considerando que os conceitos científicos não devem ser ensinados apenas através de uma mera transmissão expositiva, acreditamos que nas atividades práticas realizadas em grupo, o estabelecimento de uma seqüência para problematizar uma situação experimental possibilita uma formação de conceitos mais significativa para os alunos.

Ao se referir ao ensino, Vigotski nos desperta:

[...] a experiência pedagógica nos ensina que o ensino direto de conceitos sempre se mostra impossível e pedagogicamente estéril. O professor que envereda por esse caminho costuma não conseguir senão uma assimilação vazia de palavras, um verbalismo puro e simples que estimula e imita a existência dos respectivos conceitos na criança mas, na prática, esconde o vazio. (VIGOTSKI, 2001, p. 247)

3.2.3 *Pensamento, linguagem e desenvolvimento*

Nas relações de ensino e aprendizagem vivenciadas pelo professor e pelos alunos, os instrumentos e os signos, particularmente, a linguagem, exercem um papel fundamental na mediação.

Segundo Vigotski (1999), o pensamento e a palavra se relacionam através de um processo dinâmico que tem origem ao longo do desenvolvimento. Uma palavra ausente de pensamento não tem sentido, da mesma forma que um pensamento sem palavras permanece oculto. Na relação entre o pensamento e a palavra, não existe uma ligação primária, o elo nasce ao longo da evolução do pensamento e da fala, e depois sofre modificações desencadeando seu desenvolvimento.

Vigotski explica que o significado das palavras passa por um processo de evolução. Os significados das palavras não são estáticos, eles se modificam pelo desenvolvimento e pelas mais diversas formas de funcionamento da consciência. Uma vez que esses significados mudam, então a relação entre o pensamento e a palavra também se altera. (VIGOTSKI, 1999, p. 151)

3.3 Dispositivos didáticos

Segundo Alves Filho (2000) a transposição didática constitui um excelente instrumento para a leitura e análise do processo transformador do saber científico:

Sua capacidade de abrangência permite justificar tanto os processos envolvidos na construção do saber e na sua divulgação como a estruturação deste saber quando ele é apresentado em livros textos, como também nos permite compreender as modificações pelas quais ele passa até ser ensinado na sala de aula. (ALVES FILHO, 2000, p. 181)

Creemos que a implantação de um dispositivo didático só se efetiva quando se faz primeiro um bom planejamento para a transposição didática, definindo-se uma

estratégia que permita amenizar as dificuldades de aprendizagem e melhorar a prática de ensino.

As atividades propostas no presente trabalho foram elaboradas, não definindo somente os objetos de estudo, mas especificando um objetivo geral que sinaliza operações mentais que se deseja efetivar ao instituir as atividades. Ao elaborarmos uma atividade, é preciso que esta apresente simplicidade no uso e seja eficaz na prática. Segundo Meirieu, em qualquer nível, o anúncio dos objetivos tem a função de legitimar os procedimentos e revisar suas aplicações. (MEIRIEU, 1998, p. 110).

Meirieu (1998) distingue quatro grandes tipos de operações mentais que podem ser instauradas nos dispositivos didáticos. Inicialmente, o aluno deve deduzir, isto é, deve ser conduzido a aferir conseqüências de um fato ou de um princípio. Mediante os efeitos na experiência e através da interação social, o aluno deve examinar suas propostas pela imagem que envia aos outros. Em seguida, se faz necessária nos procedimentos didáticos, a indução, mas, o aluno tem dificuldades para induzir e, freqüentemente, vê no conceito apenas um fato a mais que enunciará inconscientemente de seu estatuto particular. Nossa tarefa é escolher metodologias que explorem a riqueza do diálogo, mas que possam também conscientizar os alunos a respeito dos significados dos conceitos. Ao dialetizar, realiza-se um trabalho sobre as idéias conduzindo o aluno à compreensão de novos conceitos. Precisamos oferecer confrontos das concepções espontâneas, propondo uma tarefa de relacioná-las entre si, para que através da divergência, o aluno construa algo novo.

Ao elaborarmos os procedimentos didáticos, não devemos nos preocupar somente com aquilo que queremos que o aluno saiba, mas precisamos nos preocupar também com aquilo que o aluno pensa, para que assim possamos atingir os objetivos desejados. Segundo Meirieu (1998), ao se instalar uma situação didática, é preciso que esta seja mobilizadora, global e finalizada, isto é, que o aluno possa identificar o sentido da proposta e também tenha condições de realizá-la em sua complexidade.

3.4 Implementação das idéias de Vigotski no trabalho proposto

Nesta seção, mostraremos como pretendemos implementar as idéias de Vigotski no trabalho que estamos propondo.

Nos cursos de Engenharia, quando um aluno se matricula em uma disciplina de Física Geral, consideramos que este já apresenta um nível de desenvolvimento cognitivo necessário para a aprendizagem dos assuntos que serão ensinados. Desta forma, tais assuntos já estão dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz.

Os estudos de Vigotski (2001) evidenciam que as disciplinas formais contribuem para o desenvolvimento intelectual dos alunos e os conceitos formados em uma disciplina auxiliam na formação de novos conceitos em outras disciplinas. Por isso, ao pensarmos em uma proposta que explore as propriedades dos corpos deformáveis no ensino de Física Geral, pretendemos que os alunos compreendam conceitos relativos ao estudo da elasticidade e possam futuramente aplicá-los também em outras disciplinas nos cursos de Engenharia, como por exemplo, na disciplina de Resistência dos Materiais.

Estando os alunos dentro da zona de desenvolvimento proximal, sugerimos que eles executem os experimentos em grupo e sob o acompanhamento de um professor. Ao propormos uma seqüência de atividades, tivemos também a preocupação de ensinar os conceitos científicos buscando relacionar a teoria com a prática. Na execução das atividades experimentais, o aluno será conduzido a exercitar as funções intelectuais, analisando os resultados encontrados e discutindo com os demais componentes do grupo o comportamento físico observado. Além das discussões feitas oralmente, julgamos importante que os alunos apresentem, por escrito, suas explicações acerca dos fenômenos que serão observados. Para isso, sempre que os alunos obtiverem algum resultado, indicamos algum questionamento para conduzir as reflexões.

No decorrer das atividades, introduzimos novos signos quando o aluno sente a necessidade de novos conceitos que possam caracterizar melhor o comportamento elástico do material. Ao realizar os primeiros experimentos, os alunos verificam que a constante elástica se altera na medida em que se modifica a geometria do material. A partir do momento em que os alunos percebem a necessidade de eliminação da influência da área transversal da gominha para caracterização da borracha, inserimos um novo signo que é o Módulo de Young.

Posteriormente, para descreverem o comportamento da área transversal da gominha, os alunos consideram que ao longo de seu estiramento o volume permanece constante. Em seguida, inserimos outro signo denominado de Coeficiente de Poisson que servirá para relacionar a deformação lateral com a deformação longitudinal, auxiliando no tratamento da área transversal. Com este novo conceito, os alunos conhecem uma nova forma de controlar a área transversal e uma nova expressão para força deformante em função da deformação da gominha. De posse da nova expressão $F(\Delta L)$, os alunos devem reconhecer que a hipótese de volume constante conduz a um Coeficiente de Poisson igual a $1/2$.

Na sequência, os alunos encontram a deformação volumétrica específica e o Módulo de Compressibilidade de um material com Coeficiente de Poisson igual a $1/2$. Contudo, eles percebem que existe um problema na hipótese de volume constante devido à impossibilidade de um material com Módulo de Compressibilidade infinito. Diante desse confronto, os alunos devem utilizar a nova expressão $F(\Delta L)$ para determinar o Módulo de Young e o Coeficiente de Poisson da borracha.

Sempre que formularem uma argumentação sobre o comportamento elástico, os alunos serão conduzidos a reorganizarem suas idéias e a discutirem os conceitos no grupo. Pretendemos que, com a realização das atividades, os alunos compreendam que os conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson são fundamentais para o estudo das deformações.

No final, apresentamos um desafio para os alunos, no qual eles precisarão utilizar conceitos de elasticidade para resolver um problema diferente sobre o aquecimento de uma borracha.

4 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

4.1 Introdução

No experimento, associando o mundo empírico à abstração de conceitos e à linguagem, torna-se possível ao aluno exercitar as técnicas de investigação e controle e também discutir e avaliar resultados. Com isso, o aluno torna-se capaz de criticar, propor modelos e desenvolver estratégias participando ativamente das relações entre teoria e prática. Observamos que nas atividades experimentais de laboratório, os alunos se apropriam do conhecimento por meio das técnicas, dos métodos e por terem a oportunidade de debater a validade dos experimentos e dos resultados encontrados. As atividades experimentais demonstrativas também ilustram o fenômeno físico e ajudam na compreensão de conceitos, mas, percebemos que o aluno participa pouco da manipulação do objeto concreto.

Quando definimos os procedimentos para um experimento de laboratório, estamos sugerindo uma seqüência de ações para organizar dados e informações referentes à situação proposta. No laboratório estruturado, os alunos, geralmente, realizam os procedimentos experimentais seguindo as orientações de uma proposta.

Segundo Borges (2002), no laboratório estruturado, a recomendação do trabalho em pequenos grupos possibilita aos alunos a oportunidade de participarem das montagens, da manipulação dos instrumentos e discussões de resultados; um aspecto positivo do laboratório é o caráter mais informal comparado à formalidade de outras aulas. Dentre as críticas endereçadas às atividades experimentais de laboratório estruturado, percebemos que, geralmente, muitas práticas não são relevantes aos alunos, a solução do problema é previamente determinada e a montagem dos equipamentos, a coleta de dados e os cálculos tomam quase todo tempo, deixando um pequeno espaço para que os alunos possam analisar e interpretar os resultados e o significado da atividade. Nessas condições, concordamos que o laboratório torna-se pouco efetivo para o desenvolvimento de conceitos e mudança de comportamento dos alunos.

No entanto, na presente proposta, o uso do laboratório estruturado tem como finalidade evitar que as análises sejam feitas de maneira superficial, ou seja,

pretendemos orientar o desenvolvimento das atividades com a intenção de formar conceitos, conduzindo os alunos a análises de problemas mais relevantes. Na seção 4.3 deste capítulo, descreveremos um pouco mais sobre a abordagem adotada nas atividades experimentais.

4.2 Enfoques das atividades experimentais e o tipo de laboratório adotado no trabalho

As diversas tendências das atividades experimentais apontam desde situações que enfocam a demonstração, até situações que exigem do aluno a verificação do comportamento físico previsto por um modelo teórico.

Analizando as atividades experimentais com base na ênfase matemática empregada, no grau de direcionamento das atividades, no uso de novas tecnologias, na relação com o cotidiano e na proposta de montagem de equipamentos, Araújo e Abib (2003) descrevem as características relevantes apresentadas em cada categoria:

i - No tocante à ênfase matemática, as atividades podem abordar os conceitos físicos qualitativamente ou quantitativamente. No aspecto qualitativo, percebemos que os laboratórios não-estruturados e as atividades de demonstração ou investigação procuram destacar os aspectos fenomenológicos e conceituais, relacionando-os com a verificação de conceitos espontâneos, teste de hipótese e mudança conceitual frente às questões problematizadoras. No entanto, os experimentos que abordam o aspecto quantitativo procuram explorar a validade e os limites das leis, comparando os resultados obtidos com os valores previstos teoricamente. Outro aspecto vinculado aos experimentos quantitativos é que na execução das atividades, o aluno pode desenvolver a capacidade de usar equipamentos e/ou instrumentos de medida e tratar, estatisticamente, os resultados e os erros de medição. É desejável que os experimentos quantitativos possam ser mais flexíveis, propiciando a ampliação das discussões referente ao fenômeno explorado.

ii – Com relação ao grau de direcionamento das atividades, verificamos que os experimentos podem apresentar o caráter de demonstração, verificação ou

investigação. Na demonstração é possível ilustrar os fenômenos e permitir que os alunos construam representações que possam ser úteis para o entendimento de outras situações correlacionadas. Podemos encontrar tanto demonstrações fechadas quanto abertas. Enquanto as demonstrações fechadas são realizadas pelo professor, sem que o aluno possa intervir no direcionamento das atividades, as abertas são atividades utilizadas para exploração e reflexões dos alunos a respeito de um fenômeno. Geralmente, estas demonstrações exigem pouco tempo para serem realizadas e podem ser facilmente inseridas em uma aula. Precisamos considerar que a interferência dos alunos na formulação de hipóteses torna mais significativa as contribuições das atividades demonstrativas abertas, podendo ser consideradas como uma atividade de investigação. As atividades de verificação procuram orientar a interpretação dos parâmetros de um sistema físico, visando a busca da validação de uma lei. Nos experimentos de verificação, os alunos podem desenvolver a capacidade de refletir, de generalizar, de trabalhar em grupo e também de questionar os limites de validade de uma lei. As atividades investigativas são centradas em aspectos cognitivos do processo de ensino-aprendizagem e exigem que o professor estimule o envolvimento dos alunos na busca de explicações causais. Analisando o caráter de investigação, percebemos que o laboratório não-estruturado conduz os alunos ao desenvolvimento da observação, da descrição de fenômenos e até mesmo da reelaboração das explicações causais, mas o uso de uma atividade estruturada ajuda os alunos a superar as deficiências para, posteriormente, utilizarem uma abordagem não-estruturada.

iii – Concernente à utilização de novas tecnologias, as ferramentas computacionais aparecem como essenciais no desenvolvimento de simulações de fenômenos físicos, nas instruções dirigidas e nas atividades experimentais. Com o auxílio do computador na experimentação, os processos de coleta e tratamento de dados tornam-se mais rápidos, contribuindo para maior dedicação do aluno à criatividade e à interpretação dos resultados.

iv – Na relação com o cotidiano, as atividades experimentais podem ser utilizadas para propiciar a formação de novas concepções e a reestruturação dos conceitos. Pelo fato dos alunos se relacionarem com a realidade que os cerca, nessa linha de experimentação, é possível que o interesse e a motivação pelo estudo apareçam, verificando-se os conceitos estudados na explicação de fenômenos ligados ao dia a dia.

v – As atividades que propõem a montagem de equipamentos, geralmente, procuram explicar em detalhes como ocorre a construção de certo equipamento e busca sugerir também possíveis situações nas quais tais aparatos possam ser empregados.

Considerando que alguns alunos apresentam conceitos que são fundados em um senso comum impreciso, tais deficiências precisam ser enfrentadas, pois acreditamos que a utilização de diferentes metodologias experimentais, planejadas adequadamente, pode estimular o envolvimento dos alunos e propiciar o desenvolvimento de habilidades e competências, auxiliando o processo de ensino e aprendizagem da Física nos cursos de Engenharia.

A sequência experimental deste trabalho é uma proposta de laboratório estruturado, explorando a investigação e a verificação. Na realização dos experimentos, os alunos investigam e elaboram explicações para o comportamento físico observado na prática. O caráter de verificação pode ser percebido à medida que os alunos determinam parâmetros e/ou validam uma lei da física. No tocante à ênfase matemática, procuramos abordar o estudo da elasticidade tanto no aspecto qualitativo quanto no aspecto quantitativo. Qualitativamente, os experimentos procuram formar conceitos mediante a observação crítica dos fenômenos e, quantitativamente, os experimentos exploram os limites das leis através da interpretação dos resultados obtidos na prática aplicando os modelos teóricos. No desenvolvimento das atividades consideramos que a utilização de ferramentas computacionais se faz necessária, tornando mais rápido e prático o tratamento dos dados e obtenção de resultados.

4.3 O enfoque do laboratório estruturado sob uma ótica de Vigotski

Apesar de Borges (2002) defender o uso do laboratório aberto, gostaríamos de esclarecer que um dos motivos pelo qual adotamos o laboratório estruturado fechado, foi o fato de que nos cursos de Engenharia temos um extenso programa de Física para ser ensinado e um curto de prazo de três semestres para cumpri-lo. Nas atividades experimentais propostas, sugerimos um direcionamento para as

investigações e reflexões, a fim de que os alunos não se sintam perdidos e/ou se contentem com explicações parciais e pouco aprofundadas.

Ao estruturarmos as atividades, procuramos exigir que os alunos observem, reflitam, analisem e discutam o comportamento observado, de forma que o foco do trabalho ultrapasse o objetivo de encontrar uma resposta. No desenvolvimento das atividades, preocupamos em mostrar para os alunos a necessidade de se conhecer novos conceitos. Por isso, consideramos primordial que os alunos visualizem o significado físico de cada resultado encontrado.

Como já mencionamos, a seqüência de atividades experimentais deste trabalho se apóia na teoria de Vigotski, onde os “signos”, Módulo de Young e Coeficiente de Poisson são inseridos somente quando os alunos sentem a sua necessidade. A fim de avaliarmos a assimilação dos conceitos desenvolvidos nas atividades propostas, no final, colocamos os alunos de frente com uma situação de desafio na qual problematizamos a questão do arqueamento de uma borracha. Com este desafio, pretendemos verificar se o aluno é capaz de lidar com os conceitos de elasticidade aplicados numa situação nova.

Unindo as dimensões teóricas e práticas do conhecimento científico, no lugar de, simplesmente, restringir o ensino de Física ao enunciado de leis e definições, o uso das atividades experimentais propostas se mostram como uma alternativa metodológica para auxiliar na formação de conceitos básicos de elasticidade.

5 PRODUTO

5.1 Apresentação

Como já antecipamos, o material que elaboramos consiste em uma seqüência de atividades experimentais para o ensino de Física Geral, abordando as propriedades dos corpos deformáveis através da problematização. Na prática, as atividades permitem tratar as deformações elásticas de forma mais completa, propiciando aos alunos a formação de conceitos básicos da elasticidade.

Julgamos que a assimilação destes conceitos é importante para a formação do estudante de Engenharia e consideramos que a atitude experimental instiga a criatividade e a reflexão, promovendo discussões em grupo conduzindo à compreensão dos fenômenos. A presente seqüência experimental apresenta objetivos claros, indicações de materiais para realização dos experimentos, orientações para montagem, fundamentos teóricos sobre os assuntos tratados, procedimentos para realização das atividades e exercícios para auxiliar nas investigações.

Quando nos referimos ao material como uma seqüência de atividades, significa que, ao longo do desenvolvimento das investigações, só introduzimos um novo signo para formar um novo conceito a partir do momento em que os alunos percebem sua necessidade.

As atividades da Parte I têm início com um estudo do comportamento elástico para pequenas deformações. Primeiramente, os alunos realizam na prática a determinação da constante elástica de uma gominha, dando continuidade à investigação experimental, os alunos determinam também a constante elástica para combinações de gominhas em paralelo e em série.

Fechando a Parte I, os alunos realizam uma investigação do comportamento de uma gominha submetida a grandes deformações. Nesse momento, esperamos que os alunos constatem que o gráfico da força deformante versus deformação deixa de ser linear para deformações maiores. Ainda nesta etapa, provocamos os alunos, a fim de que eles possam relacionar esse comportamento não-linear com a

observação visual do estreitamento da área transversal e com as observações para a constante elástica ao se associarem gominhas em paralelo.

A partir do momento em que os alunos reconhecem que a alteração na área transversal da gominha modifica a constante elástica, iniciamos a Parte II com a introdução teórica do conceito Módulo de Young. Em seguida, apresentamos um exercício, no qual os alunos devem obter uma relação para força deformante em função da deformação tomando a hipótese de volume constante para controlar a área transversal da gominha.

Na sequência, inserimos o conceito Coeficiente de Poisson. Utilizando este conceito no tratamento da área transversal, propomos uma nova expressão para força deformante em função da deformação da gominha. No exercício 2, solicitamos que os alunos comparem a nova expressão $F(\Delta L)$ com a expressão obtida anteriormente no exercício 1 e obtenham o valor do Coeficiente de Poisson para uma hipótese de volume constante.

Em seguida, apresentamos uma dedução para deformação volumétrica específica e Módulo de Compressibilidade. Através de outro exercício, os alunos devem determinar a deformação volumétrica específica e o Módulo de Compressibilidade para um material com Coeficiente de Poisson igual a $1/2$, percebendo também o problema daí derivado.

Encerrando a Parte II, solicitamos que os alunos retomem os dados experimentais e determinem, através de um ajuste polinomial, o Módulo de Young e o Coeficiente de Poisson da borracha ensaiada.

A fim de avaliarmos o trabalho, propomos no final uma situação de desafio para os alunos. Nesse momento, esperamos que os conceitos apreendidos nas atividades desenvolvidas nas Partes I e II possam auxiliar no entendimento de um problema diferente, que é o arqueamento da borracha.

A execução da presente sequência é prevista para ser concluída em 2 aulas de 100 minutos, o equivalente a 4 horas/aula. A seguir, apresentamos a proposta, inclusive com alguns equipamentos fotografados ilustrando a montagem para realização dos experimentos.

5.2 A seqüência de atividades experimentais

Uma abordagem experimental das propriedades dos corpos deformáveis no ensino de Física Geral para os cursos de Engenharia.

5.2.1 Introdução

Todo corpo sob a ação de uma força de tração ou compressão, se deforma. Em geral, a partir de um limite de valor de força, o corpo de prova deixa de se deformar elasticamente e passa a sofrer deformação permanente. Dentro de um limite de pequenas deformações, dizemos que há uma relação linear entre a força aplicada F e a deformação ΔL . Este comportamento linear pode ser escrito da seguinte forma:

$$F = k \Delta L \quad (1)$$

Esta relação é conhecida como Lei de Hooke. O parâmetro k é denominado de constante elástica e seu valor depende do material que está sendo alongado e de sua geometria (comprimento, largura e espessura).

Para pequenas deformações, a força aplicada é diretamente proporcional ao alongamento do material. Porém, para deformações maiores, o material deixa de apresentar essa linearidade.

5.2.2 Objetivo geral

Propor um aprofundamento no estudo das propriedades dos corpos deformáveis buscando promover problematizações favoráveis à formação dos conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson.

5.2.3 Objetivos específicos

Parte I:

- Interpretar um gráfico de Força deformante versus deformação;
- Determinar a constante elástica de uma única gominha submetida a pequenas deformações;
- Determinar a constante elástica de uma combinação de gominhas submetidas a pequenas deformações e analisá-la com o resultado anterior;
- Verificar as condições de aplicações da Lei de Hooke;
- Verificar o comportamento de uma gominha submetida a grandes deformações;

Parte II:

- Compreender o conceito Módulo de Young;
- Investigar o comportamento elástico de uma gominha de borracha para uma hipótese de volume constante;
- Compreender o conceito Coeficiente de Poisson;
- Investigar o comportamento elástico de uma gominha de borracha usando o Coeficiente de Poisson para controlar a área transversal;
- Reconhecer implicações advindas da hipótese de volume constante;
- Determinar o Módulo de Young e o Coeficiente de Poisson da borracha através de um ajuste polinomial obtido com os dados de força e deformação de uma gominha submetida ao ensaio de grandes deformações.

5.2.4 Materiais utilizados nas atividades experimentais

06 gominhas novas,
01 fita adesiva,

03 suportes de discos,
18 discos de massas 50 g cada,
02 hastes tubulares de 57 cm,
01 tripé,
01 garra universal,
01 haste tubular de 25 cm,
01 gancho,
01 fita milimétrica de 150 cm.



Figura 2: Materiais para a prática

5.2.5 Montagens e algumas orientações

O conjunto é constituído de uma haste com gancho, conectada por uma garra a uma haste maior (junção de duas hastes) que está apoiada em um tripé.

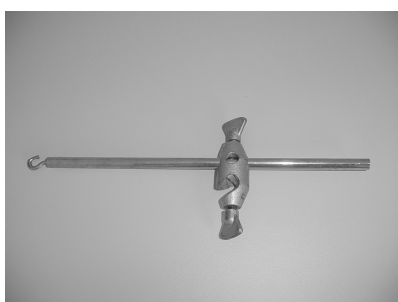


Figura 3: Haste com gancho



Figura 4: Haste com gancho conectada à haste maior

Coloque a(s) gominha(s) presa(s) ao gancho e fixe uma fita milimétrica na haste menor a fim de auxiliar na leitura do comprimento L . A figura a seguir ilustra algumas montagens que serão solicitadas ao longo das atividades experimentais.

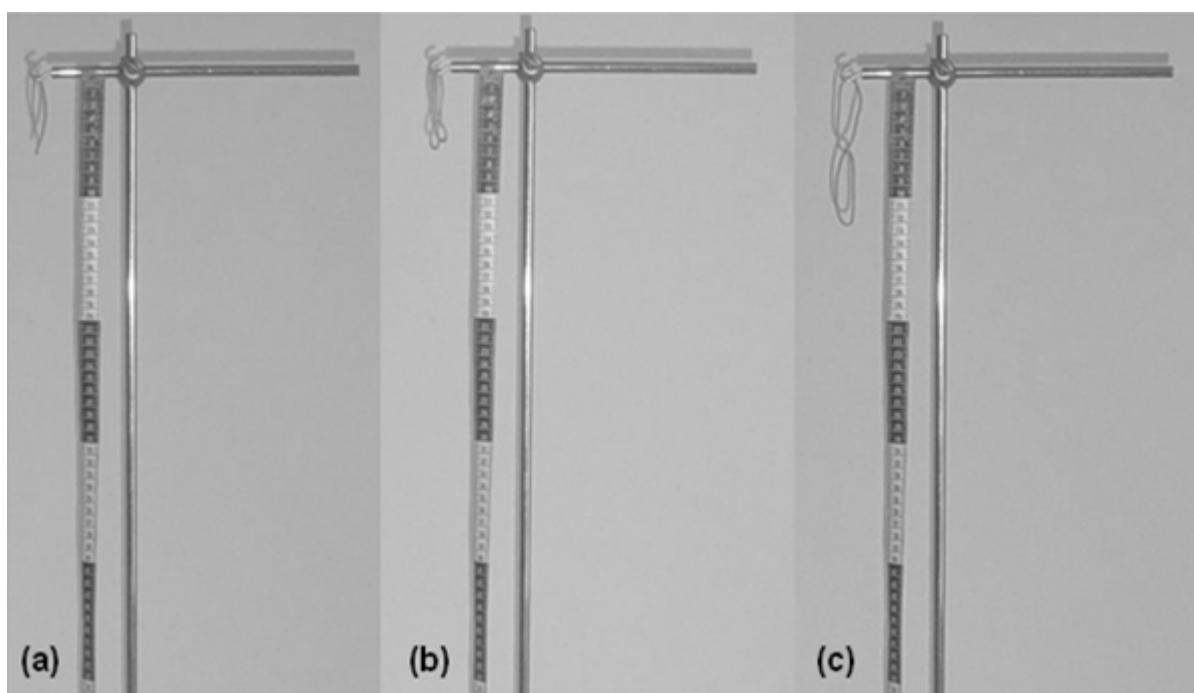


Figura 5: Montagens para estiramento de (a) uma gominha, (b) duas gominhas em paralelo e (c) duas gominhas em série

Para facilitar o controle da intensidade da força na gominha tracionada, pendure o suporte e adicione discos de 50 gf cada. Para medir o comprimento e a respectiva deformação na gominha, aplique uma força F e encontre uma posição em que o sistema se equilibre. Orientamos ainda que o intervalo de tempo entre uma medição e a seguinte não seja muito longo.

5.2.6 Parte I – Um primeiro contato com as deformações elásticas de gominhas de borracha

Consideremos o caso de uma única gominha de borracha. Se aplicarmos uma força ao longo de um eixo, ela será alongada. A figura abaixo mostra uma situação inicial onde uma gominha encontra-se pendurada por uma de suas extremidades e na outra extremidade foi acoplado um suporte para discos. Dentro de um comportamento elástico, os pesos do suporte e da gominha servem apenas para deslocar o ponto a partir do qual serão efetuadas as medidas de deformações. Portanto, nas atividades que se seguem, os pesos do suporte e da gominha não serão considerados.



Figura 6: Gominha de borracha na posição inicial



Figura 7: Discos de 50 gf

Admitiremos que a força F aplicada na gominha seja o próprio peso dos discos e, dentro do limite de pequenas deformações, utilizaremos a relação $F = k \Delta L$ apresentada anteriormente como Lei de Hooke.

- **Submetendo uma gominha ao ensaio de pequenas deformações**

1 - Suspenda uma gominha e pendure em sua extremidade livre o suporte para os discos. Meça o comprimento inicial L_0 da gominha e admita que esta será a posição de deformação zero, ou seja, não será considerado o alongamento produzido pelos pesos do suporte e da gominha.

$L_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$

2 - Faça medidas de comprimento L e de deformação ΔL de acordo com a força aplicada na gominha. Para completar as lacunas na tabela a seguir, execute as leituras de 50 em 50 gf até atingir a carga máxima⁴ de 200 gf.

⁴ Nos ensaios de pequenas deformações, a carga máxima deve ser reduzida, de modo que sobressaia a linearidade da força em função da deformação. Caso utilize um material diferente daquele indicado na prática, realize alguns testes para definir um limite de carga que seja mais adequado para proporcionar gráficos lineares de F versus ΔL .

TABELA 1

Dados de uma gominha sendo carregada

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0$ (cm)
1	50		
2	100		
3	150		
4	200		

3 - Utilizando as 04 (quatro) medidas acima, trace um gráfico⁵ da Força deformante (F) versus Deformação (ΔL) e obtenha por regressão linear a relação $F = A + B \cdot \Delta L$.

4 - Indique o valor da constante elástica k_1 da gominha.

• **Submetendo uma combinação de duas gominhas em paralelo ao ensaio de pequenas deformações**

5 - Agora, associe em paralelo, duas gominhas novas e pendure em sua extremidade livre o suporte para os discos. Meça o comprimento inicial L_0 da combinação de gominhas e admita que esta será a posição de deformação zero, ou seja, novamente não será considerado o alongamento produzido pelos pesos do suporte e das gominhas.

$L_0 =$ _____ cm

6 - Faça medidas de comprimento L e deformação ΔL de acordo com a força aplicada na combinação de gominhas em paralelo. Para completar as lacunas na tabela a seguir, execute as leituras de 50 em 50 gf até atingir a carga máxima de 200 gf.

⁵ Tendo em vista a praticidade e agilidade no tratamento dos dados, sugerimos aos alunos que, para traçarem gráficos e/ou obter regressões, utilizem algum programa computacional adequado. No APÊNDICE A, mostramos algumas orientações para utilizar o programa MICROCAL ORIGIN.

TABELA 2

Dados de duas gominhas em paralelo sendo carregadas

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0$ (cm)
1	50		
2	100		
3	150		
4	200		

7 - De acordo com os dados coletados no estiramento de duas gominhas em paralelo, o que você notou com relação às deformações?

8 - Usando os dados da tabela anterior, trace o gráfico da Força deformante (F) versus Deformação (ΔL) e obtenha por regressão linear a relação $F = A + B \cdot \Delta L$.

9 - Indique o valor da constante elástica k_{paralelo} para duas gominhas em paralelo e o compare com o valor k_1 encontrado para uma única gominha.

- **Submetendo uma combinação de duas gominhas em série ao ensaio de pequenas deformações**

10 - Monte uma associação em série com duas gominhas novas e pendure em sua extremidade livre o suporte para os discos. Meça o comprimento inicial L_0 da combinação de gominhas e admita que esta será a posição de deformação zero, ou seja, novamente não será considerado o alongamento produzido pelos pesos do suporte e das gominhas.

$L_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ cm

11 - Faça medidas de comprimento L e deformação ΔL de acordo com a força aplicada na combinação de gominhas em série. Para completar as lacunas na tabela a seguir, execute as leituras de 50 em 50 gf até atingir a carga máxima de 200 gf.

TABELA 3

Dados de duas gominhas em série sendo carregadas

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0(\text{cm})$
1	50		
2	100		
3	150		
4	200		

12 - De acordo com os dados coletados acima, o que você notou com relação às deformações?

13 - Usando os dados da tabela anterior, trace o gráfico da Força deformante (F) versus Deformação (ΔL) e obtenha por regressão linear a relação $F=A+B \Delta L$.

14 - Indique o valor da constante elástica $k_{\text{série}}$ para duas gominhas em série e o compare com os valores das constantes elásticas k_1 e k_{paralelo} obtidos anteriormente.

- **Submetendo uma gominha ao ensaio de grandes deformações**

15 - Pendure uma gominha nova colocando nela o suporte para os discos. Meça o comprimento inicial L_0 da gominha, desconsiderando o alongamento produzido pelos pesos do suporte e da gominha.

$L_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ cm

16 - Utilizando um disco, coloque um peso de 50 gf no suporte e desça-o lentamente até encontrar a posição em que o sistema se equilibre (ver figura a seguir) e, neste momento, faça a leitura do comprimento da gominha.

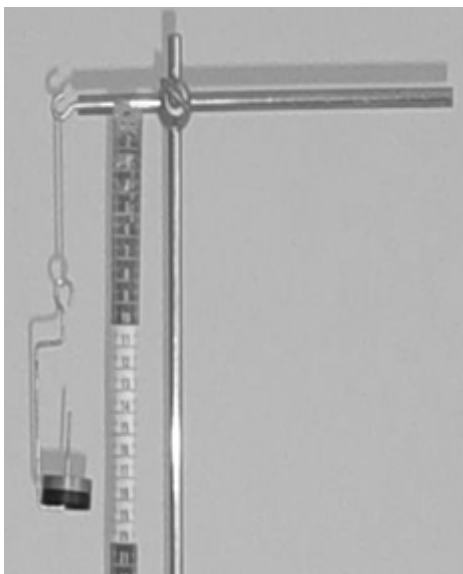


Figura 8: Montagem com apenas um disco de peso 50 gf

Os suportes de discos mostrados na figura a seguir podem ser conectados um ao outro, permitindo a colocação de mais discos.

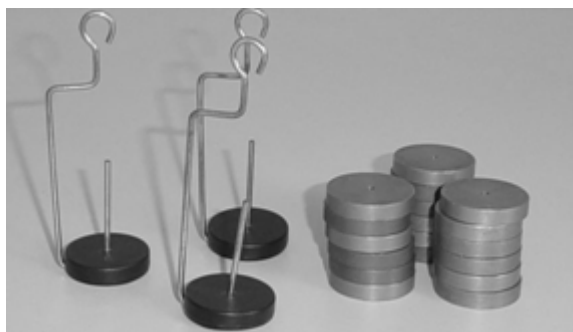


Figura 9: Suportes e discos de pesos 50gf cada

Em seguida, acrescente um peso de 50 gf de cada vez e faça para cada um destes pesos medidas de comprimento L e deformação ΔL da gominha, preenchendo as lacunas da tabela a seguir. Execute as leituras até atingir a carga máxima de 900 gf.

TABELA 4

Dados de uma gominha sendo carregada até 900 gf

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0(\text{cm})$
1	50		
2	100		
3	150		
4	200		
5	250		
6	300		
7	350		
8	400		
9	450		
10	500		
11	550		
12	600		
13	650		
14	700		
15	750		
16	800		
17	850		
18	900		

17 – Utilizando as 18 medidas na tabela acima, trace o gráfico da Força deformante (F) versus Deformação (ΔL) da gominha.

18 – O gráfico F versus ΔL obtido anteriormente apresentou alguma novidade? Em caso positivo, cite-a.

19 – Visualmente, o que você observou com relação à área transversal na medida em que a gominha se alongava?

20 – O que você pode dizer a respeito da constante elástica da gominha, na medida em que ela sofreu grandes deformações?

21 – Mediante o que você observou no ensaio de tração realizado com a gominha, procure interpretar o comportamento da área transversal com a constante elástica de uma associação de gominhas em paralelo.

5.2.7 Parte II – Explorando um pouco mais o comportamento elástico de uma gominha de borracha submetida a grandes deformações

- **Introduzindo o conceito Módulo de Young**

Um bloco retangular de comprimento L e larguras w e h aumentará seu comprimento de uma quantidade ΔL , quando puxarmos os finais (ver figura 10) com uma força F .

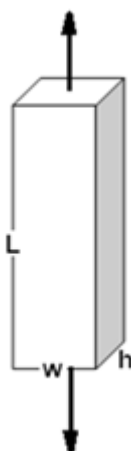


Figura 10: Bloco retangular tracionado

Se esta força for pequena o suficiente, o deslocamento relativo nos vários pontos do material será proporcional à força – em cujo caso, dizemos que o comportamento será elástico e linear. A atividade experimental realizada no início da Parte I confirma que, para pequenas variações de comprimento, a força é proporcional a tal variação

$$F \propto \Delta L \quad (2)$$

O aumento ΔL da barra também dependerá de seu comprimento. Podemos compreender como, através do seguinte argumento: Se colarmos dois blocos idênticos juntos, um atrás do outro, com a mesma força agindo em cada bloco, cada um esticará por ΔL . Portanto, o estiramento do bloco de comprimento $2L_0$ será duas vezes maior. Isso pode ser confirmado no ensaio com duas gominhas em série.

A fim de chegarmos a um número que seja mais característico do material e menos da forma particular, escolhemos tratar com a relação $\Delta L/L_0$ do estiramento em relação ao comprimento original. Esta relação é proporcional à força, mas independente de L_0 .

$$F \propto \Delta L/L_0 \quad (3)$$

A força F também dependerá da área transversal do bloco. Suponha que coloquemos dois blocos, um ao lado do outro. Então, para um dado estiramento ΔL , necessitaríamos da força F em cada bloco, ou seja, duas vezes maior. A força para um dado estiramento deve ser proporcional à área transversal A da seção reta do bloco. Isso pode ser observado no ensaio com duas gominhas em paralelo.

Para obtermos a lei onde o coeficiente de proporcionalidade seja independente das dimensões do corpo, escrevemos a Lei de Hooke para um bloco retangular na seguinte forma generalizada:

$$F = YA \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

Nesta relação, o parâmetro Y é denominado de Módulo de Young e seu valor depende apenas do tipo do material.

A força por unidade de área é chamada de tensão e o estiramento por unidade de comprimento chamaremos de deformação específica. Com isso, a equação anterior pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\text{Tensão} = (\text{Módulo de Young}) \times (\text{Deformação específica})$$

Observação:

Dentro de um regime elástico, o Módulo de Young do material permanece constante. No entanto, em alguns materiais, tais como borracha, madeira e concreto o longo tempo de aplicação de uma carga provoca o rompimento das ligações na estrutura do material e faz com que ele continue a deformar-se. Neste caso, o Módulo de Young do material deixa de ser constante. Ressaltamos aqui que nos ensaios realizados anteriormente com as gominhas de borracha, solicitamos que o intervalo de tempo entre uma medição e a seguinte não fosse muito longo com o objetivo de evitar variações no Módulo de Young.

• Exercício 1

Admitindo-se que no estiramento da gominha, o volume permaneça constante, a área transversal é dada por: $A = A_0 L_0 / L$, onde A_0 é área transversal inicial para uma gominha. Diante disso, a relação $F = YA \frac{\Delta L}{L_0}$, toma a seguinte forma:

$$F = Y \frac{A_0 L_0}{L_0 + \Delta L} \frac{\Delta L}{L_0} = Y \frac{A_0}{1 + \frac{\Delta L}{L_0}} \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right) = YA_0 \left(1 + \frac{\Delta L}{L_0} \right)^{-1} \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right).$$

Considerando a expansão binomial $\left(1 + \frac{\Delta L}{L_0} \right)^{-1} \approx \left(1 - \frac{\Delta L}{L_0} \right)$, reescreva a função

$$F = YA_0 \left(1 + \frac{\Delta L}{L_0} \right)^{-1} \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right) \text{ como uma função de 2º grau em } \Delta L.$$

• Introduzindo o conceito Coeficiente de Poisson

Como discutimos no início da Parte II, a tensão e a deformação específica se relacionam através da expressão: $\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L_0}$

Vamos considerar agora outra parte da Lei de Hooke: Quando você distende um material em uma direção, ele contrai a ângulos retos em relação à direção de distensão.

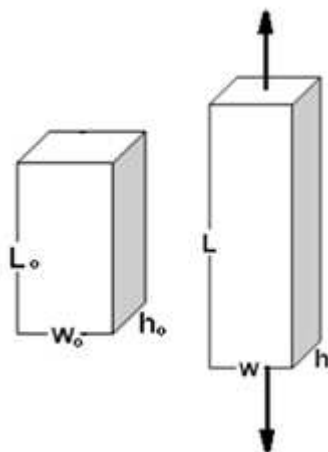


Figura 11: Contrações laterais do bloco retangular

A contração na largura é proporcional à respectiva largura e ao esforço. Para materiais isotrópicos e homogêneos, a contração lateral está na mesma proporção, tanto para w quanto para h , sendo comumente escrita como:

$$\frac{\Delta w}{w_o} = \frac{\Delta h}{h_o} = -\sigma \frac{\Delta L}{L_o}, \quad (5)$$

onde a constante σ é outro parâmetro do material, chamado de Coeficiente de Poisson. Ele é sempre positivo e menor que $1/2$, como poderá ser confirmado à frente.

Considerar um material ideal com $\sigma=0$, seria tomar um material que pudesse ser alongado em qualquer direção sem sofrer contrações laterais.

- **Uma nova expressão para força deformante em função da deformação da gominha**

A área transversal

A área transversal de um bloco retangular é $A=(w_o+\Delta w)(h_o+\Delta h)$. Considerando a gominha de borracha como um bloco retangular constituído de um material

isotrópico e homogêneo, com propriedades elásticas definidas pelas constantes Y e σ , temos:

$$\Delta w = -\sigma \cdot w_o \frac{\Delta L}{L_o},$$

$$\Delta h = -\sigma \cdot h_o \frac{\Delta L}{L_o}.$$

Substituindo as relações acima na área transversal

encontramos: $A = A_o - 2\sigma A_o \frac{\Delta L}{L_o} + \sigma^2 A_o \left(\frac{\Delta L}{L_o} \right)^2$, onde A_o é a área transversal

inicial da gominha; σ é o Coeficiente de Poisson; L_o é o comprimento inicial da gominha; ΔL é deformação no comprimento.

A força deformante em função da deformação

De posse da relação obtida anteriormente para controlar a área transversal,

podemos reescrever a relação $F = YA \frac{\Delta L}{L_o}$, como $F = YA_o \left[\frac{\Delta L}{L_o} - 2\sigma \left(\frac{\Delta L}{L_o} \right)^2 + \sigma^2 \left(\frac{\Delta L}{L_o} \right)^3 \right]$.

Truncando esta expressão para uma função de 2º grau em ΔL , temos:

$$F \approx \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{2YA_o\sigma}{L_o^2} \Delta L^2$$

• Exercício 2

Comparando a nova expressão $F \approx \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{2YA_o\sigma}{L_o^2} \Delta L^2$ com a expressão $F(\Delta L)$

obtida no exercício 1, responda: Qual seria o valor do Coeficiente de Poisson σ ao considerar o volume da gominha como constante?

- **Deduzindo uma expressão para a deformação volumétrica específica**

Considere que um bloco retangular, sob uma pressão isotrópica uniforme p , fica submetido a uma força agindo em cada face proporcionalmente à área.

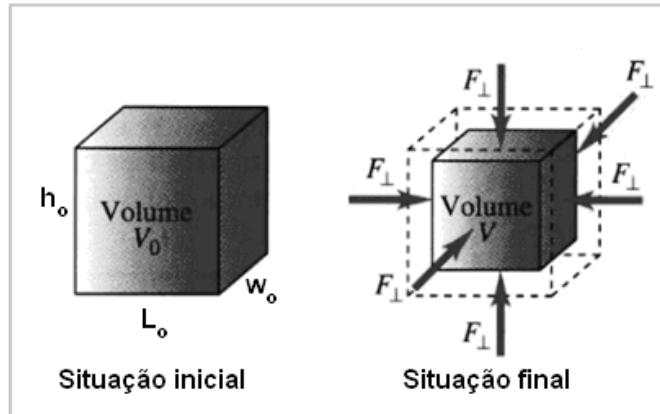


Figura 12: Bloco retangular sob pressão isotrópica uniforme

Primeiramente, vamos analisar a mudança de comprimento. Ela pode ser pensada como uma soma das mudanças em comprimento que ocorreria em três problemas independentes apresentados a seguir.

1º) Compressão na direção de L : $\frac{\Delta L_1}{L_o} = -\frac{p}{Y}$.

2º) Compressão na direção de w : $\frac{\Delta w}{w_o} = -\frac{p}{Y} \Rightarrow \frac{\Delta L_2}{L_o} = +\sigma \frac{p}{Y}$.

3º) Compressão na direção de h : $\frac{\Delta h}{h_o} = -\frac{p}{Y} \Rightarrow \frac{\Delta L_3}{L_o} = +\sigma \frac{p}{Y}$.

Combinamos estes resultados, obtemos: $\frac{\Delta L}{L_o} = -\frac{p}{Y}(1 - 2\sigma)$.

Podemos dizer que o problema é, claramente, simétrico nas três direções, ou seja, $\frac{\Delta w}{w_o} = \frac{\Delta h}{h_o} = -\frac{p}{Y}(1 - 2\sigma)$.

Tomando $V=L.w.h$, temos: $\frac{\Delta V}{V_o} \approx \frac{\Delta L}{L_o} + \frac{\Delta w}{w_o} + \frac{\Delta h}{h_o}$.

Com isso, a deformação volumétrica específica obtida é $\frac{\Delta V}{V_o} = -3 \frac{p}{Y} (1 - 2\sigma)$.

Esta expressão pode ser reescrita também na forma $\frac{\Delta V}{V_o} = -\frac{p}{B}$, onde o parâmetro

$B = \frac{Y}{3(1-2\sigma)}$ é denominado de Módulo de Compressibilidade.

- **Exercício 3**

Com base nas deduções acima, qual seria o valor da deformação volumétrica específica $\left(\frac{\Delta V}{V_o}\right)$ para um material com Coeficiente de Poisson $\sigma = \frac{1}{2}$? Neste caso, determine o Módulo de Compressibilidade B.

- **O problema da hipótese de volume constante no tratamento da área transversal da gominha**

No exercício 1 realizado anteriormente, utilizamos a relação $A=A_o.L_o / L$ para controlar a área transversal da gominha. Porém, precisamos considerar que esta hipótese de volume constante nos leva a um problema com relação ao Módulo de Compressibilidade, porque na prática podemos dizer que não existe nenhum material com Módulo de Compressibilidade infinito.

- **Retornando aos dados experimentais – Usando a nova expressão**

$$F \approx \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{2YA_o\sigma}{L_o^2} \Delta L^2 \text{ na determinação de } Y \text{ e } \sigma$$

Considerando o ensaio realizado com uma gominha submetida a grandes deformações, obtenha através de uma regressão polinomial de 2º grau, um gráfico F versus ΔL com a correspondente expressão analítica e, estimando a área transversal inicial da gominha, DETERMINE o Módulo de Young Y e o Coeficiente de Poisson σ da borracha.

5.3 Atividade de desafio

- **O arqueamento de uma borracha em forma de paralelepípedo**

Nesta atividade, a investigação do arqueamento de uma borracha de área transversal inicial A_0 e comprimento inicial L_0 será realizada produzindo pequenos arqueamentos, ou seja, ao curvar o raio de curvatura deve ser muito maior do que o comprimento da borracha.

O experimento consiste em curvar uma borracha e examinar o que ocorre com as dimensões da seção de área transversal ao ser distorcida. Os materiais (ver Figura 13) necessários para a realização desta atividade são: 01 paquímetro, 02 hastes com prendedores, 02 plaquetas finas e 01 borracha extra grande em forma de paralelepípedo.

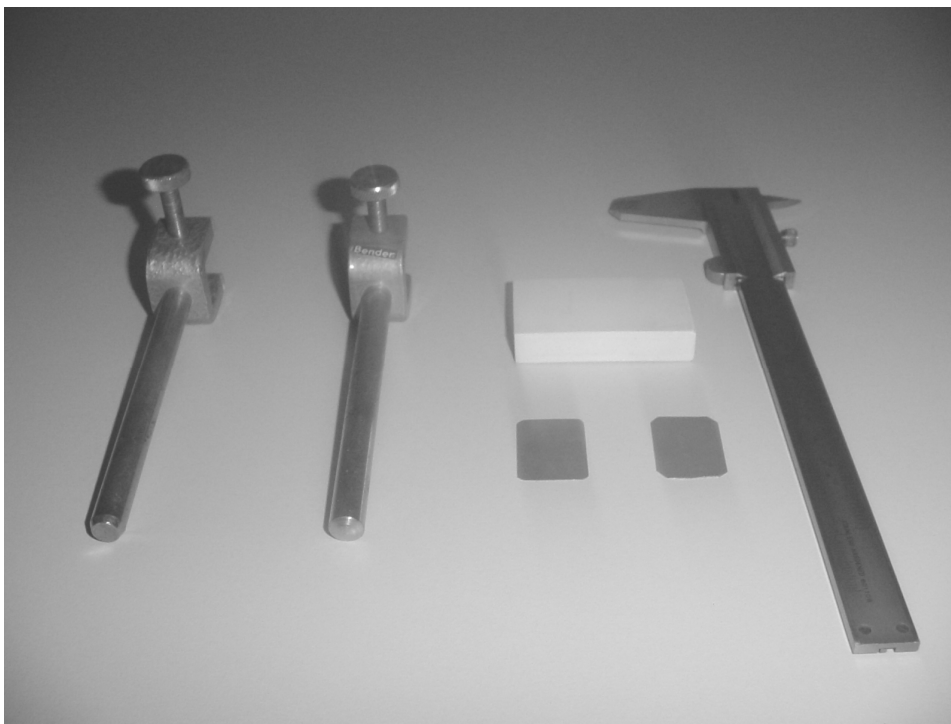


Figura 13: Materiais para a atividade de desafio

Inicialmente, meça as dimensões (ver Figura 14) da borracha não-deformada e preencha a tabela a seguir.

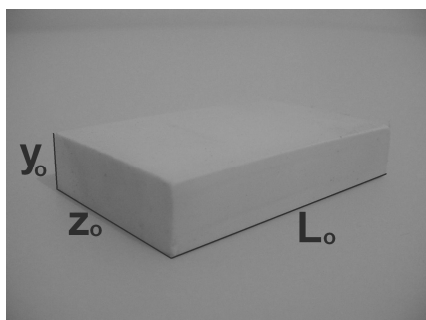


Figura 14: Borracha não-deformada

TABELA 5

Dados iniciais da borracha não-deformada

Comprimento		Largura		Espessura	
$L_0 =$	cm	$z_0 =$	cm	$y_0 =$	cm

Questão 01

Considerando que para encurvar a borracha para cima, a parte inferior sofre um alongamento e a parte superior uma redução no comprimento, responda:

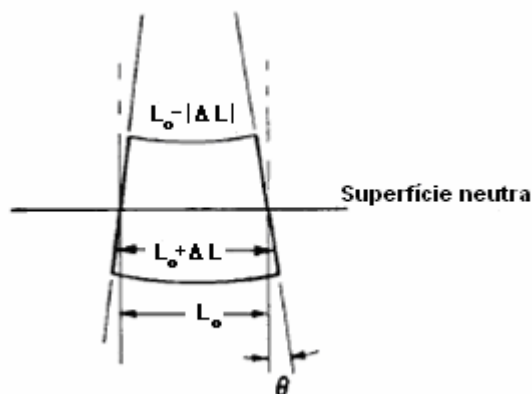


Figura 15: Borracha encurvada para cima

Tomando a seção de área transversal do material, como atua a força que produz tal alongamento na parte inferior? E como atua a força que reduz o comprimento na parte superior? Utilizando a Figura 15, faça a representação⁶ destas forças.

Questão 02

Utilizando as duas hastes com prendedores e as duas plaquetas finas⁷, faça a montagem mostrada na Figura 16.

⁶ Superfície neutra é uma superfície que nem se comprime nem se distende.

⁷ As plaquetas finas devem ser colocadas na parte de baixo da borracha para evitar que o prendedor parafuso venha cortar a borracha ao ser apertado.

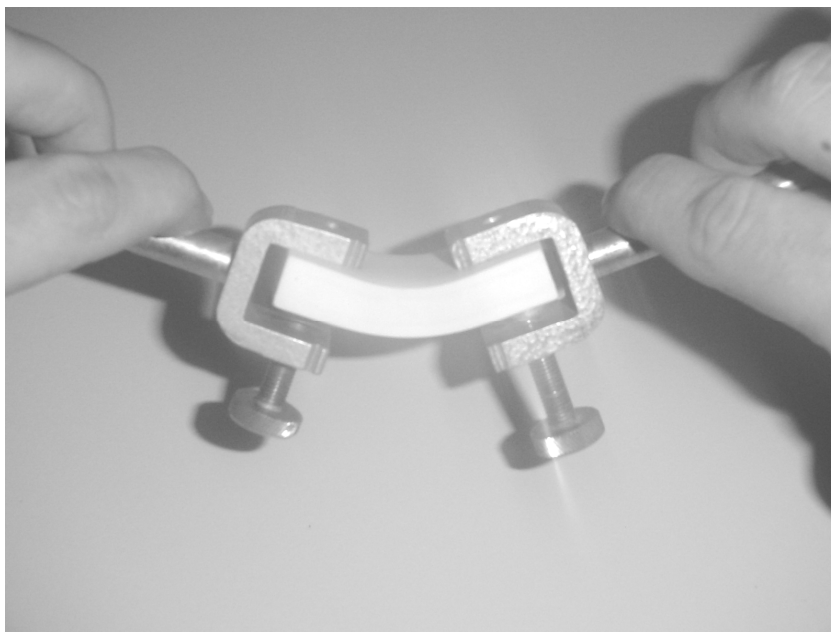


Figura 16: Montagem para curvar a borracha

Exercendo um pequeno esforço, procure produzir um arqueamento suave na borracha para cima e com o auxílio de um paquímetro, verifique o que ocorre com a largura na parte superior (z_{superior}) e na parte inferior (z_{inferior}) deste material. Indique as medidas e explique este fato.

Questão 03

Com base na Figura 17, observe as deformações produzidas num material quando este se encurva para cima e em seguida responda: Por que ao curvar a borracha para cima, ela inchou na parte superior? Explique com detalhes.

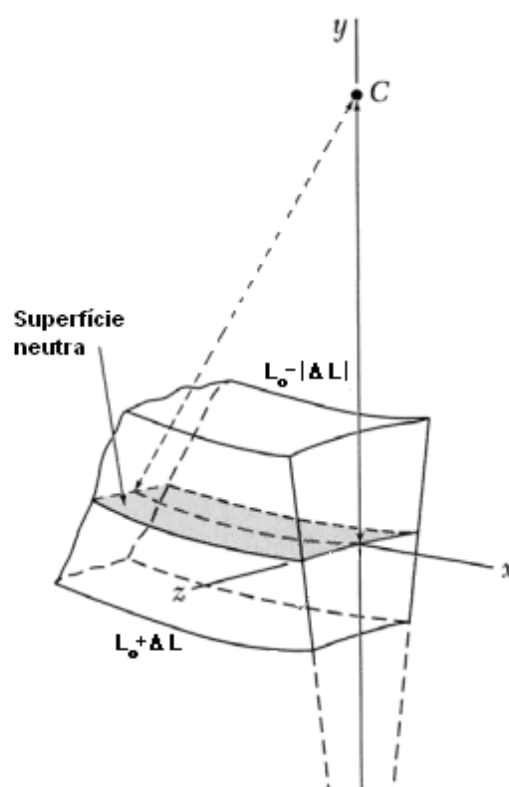


Figura 17: Material com a parte superior inchada

Questão 04

Cortando a borracha ao meio, de modo que a área transversal inicial fique duas vezes menor, sem alterar o comprimento inicial (L_0) e a espessura inicial (y_0) do material, faça novamente a montagem mostrada na figura da questão 02 e em seguida curve a borracha para cima. O que você percebeu? Ficou mais fácil ou mais difícil de produzir deformações? Justifique o observado.

Questão 05

Suponha que na proposta da questão 02 tivéssemos uma barra com as mesmas dimensões originais, porém feita de aço. O que se pode dizer com relação ao esforço que seria necessário para provocar um arqueamento semelhante ao que foi

obtido com a borracha? Justifique sua resposta usando conceitos discutidos no estudo de elasticidade.

5.4 Respostas esperadas com a execução das atividades

A fim de que pudéssemos oferecer algumas orientações para um possível professor que usará o produto, realizamos todas as atividades propostas. Nesta seção apresentamos a execução das atividades na íntegra, como se fosse um relatório da prática, mostrando os resultados esperados, isto é, contendo os exercícios resolvidos, os gráficos e os ajustes.

- **Descrevendo a Parte I**

Na Parte I produzimos alguns ensaios de tração com gominhas, objetivando interpretar o comportamento da Força versus Deformação. Para pequenas deformações fizemos ajustes lineares, para que pudéssemos determinar a constante elástica k aplicando a Lei de Hooke. No entanto, para grandes deformações observamos um comportamento não-linear, no qual a constante elástica se modificou devido à redução na área transversal. Diante disso, sentimos a necessidade de um novo parâmetro para caracterizar o material sem depender de sua geometria.

Uma gominha submetida ao ensaio de pequenas deformações

Nesta prática coletamos dados de deformação ΔL para uma única gominha sendo tracionada. A força F se limitou à carga máxima de 200 gf. A seguir, apresentamos as respostas dos itens 1 ao 4, contendo os dados coletados experimentalmente, o gráfico F versus ΔL e o valor esperado para k_1 .

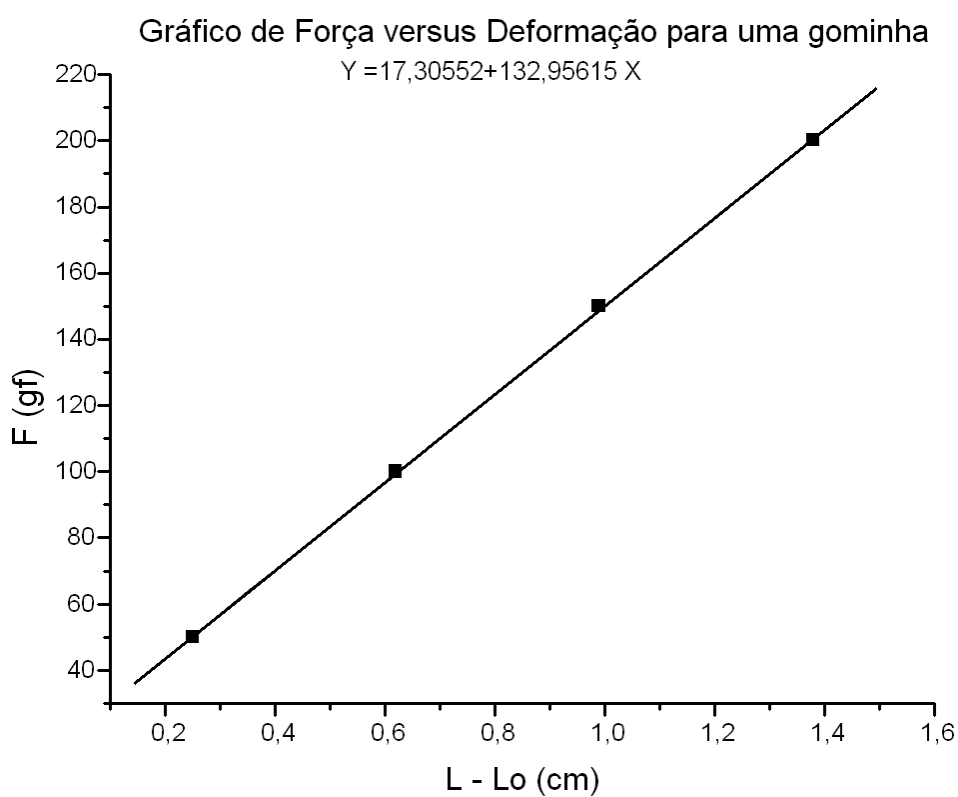
Respostas:

$$1 - L_0 = 7,50 \text{ cm}$$

2 –

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0(\text{cm})$
1	50	7,75	0,25
2	100	8,12	0,62
3	150	8,49	0,99
4	200	8,88	1,38

3 –



$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	17,30552	1,11788
B1	132,95615	1,22493

4 – A partir da regressão linear $Y = A + B.X$ mostrada acima, vimos que a constante elástica da gominha vale $k_1 = (133 \pm 1) \text{gf/cm}$.

Uma combinação de duas gominhas em paralelo submetida ao ensaio de pequenas deformações

Nesta prática, repetimos o mesmo procedimento mencionado anteriormente, porém utilizando uma combinação de duas gominhas em paralelo. A seguir, apresentamos as respostas dos itens 5 ao 9, contendo os dados coletados experimentalmente, o gráfico F versus ΔL e o valor esperado para k_{paralelo} .

Respostas:

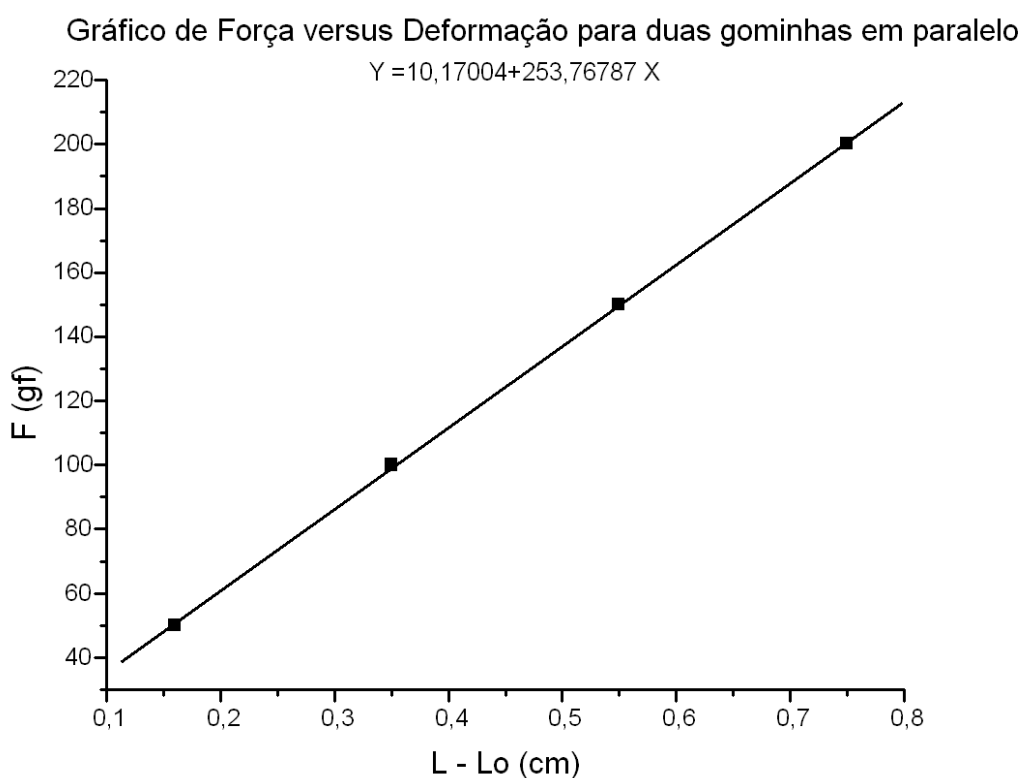
5 – $L_0 = 7,50 \text{ cm}$

6 –

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0(\text{cm})$
1	50	7,66	0,16
2	100	7,85	0,35
3	150	8,05	0,55
4	200	8,25	0,75

7 – As deformações apresentadas pelas gominhas em paralelo foram menores do que as deformações apresentadas por uma única gominha.

8 –



$$Y = A + B * X$$

Parameter	Ualue	Error
A	10,17004	1,12286
B1	253,76787	2,23116

9 – A partir da regressão linear $Y = A + B.X$ mostrada acima, percebemos que a constante elástica da combinação de duas gominhas em paralelo vale $k_{\text{paralelo}} = (254 \pm 2) \text{gf/cm}$. Com esta prática concluímos que a constante elástica obtida para duas gominhas em paralelo foi praticamente o dobro da constante elástica obtida para uma única gominha. Isto se deve ao fato de que na combinação de duas gominhas em paralelo, a área transversal inicial ficou duas vezes maior. Comparando as constantes elásticas encontradas, temos: $k_{\text{paralelo}} > k_1$

Uma combinação de duas gominhas em série submetida ao ensaio de pequenas deformações

Nesta prática, repetimos o mesmo procedimento mencionado inicialmente, porém, utilizando uma combinação de duas gominhas em série. A seguir, apresentamos as respostas dos itens 10 ao 14, contendo os dados coletados experimentalmente, o gráfico F versus ΔL e o valor esperado para $k_{\text{série}}$.

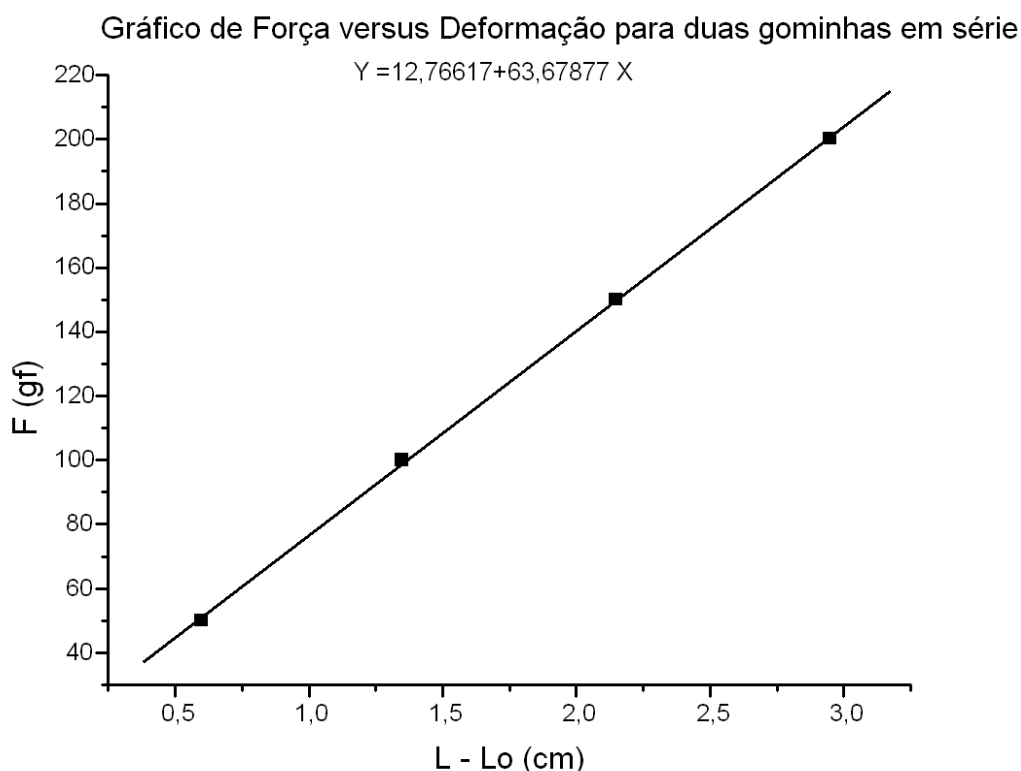
10 – $L_0 = 15,00 \text{ cm}$

11 –

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0(\text{cm})$
1	50	15,60	0,60
2	100	16,35	1,35
3	150	17,15	2,15
4	200	17,95	2,95

12 – As deformações apresentadas pelas gominhas em série foram maiores do que as deformações apresentadas por uma única gominha.

13 –



$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	12,76617	1,38324
B1	63,67877	0,70252

14 – A partir da regressão linear $Y = A + B.X$ mostrada acima, notamos que a constante elástica da combinação de duas gominhas em série vale $k_{\text{série}} = (63,7 \pm 0,7) \text{ gf/cm}$. Com esta prática concluímos que a constante elástica obtida para duas gominhas em série foi praticamente a metade da constante elástica obtida para uma única gominha. Isto se deve ao fato de que na combinação de duas gominhas em série, o comprimento inicial ficou duas vezes maior. Comparando as constantes elásticas encontradas, temos: $k_{\text{série}} < k_1 < k_{\text{paralelo}}$

Uma gominha submetida ao ensaio de grandes deformações

Nesta prática, coletamos dados de deformação ΔL para uma gominha sendo tracionada sob cargas maiores. A força F se limitou à carga máxima de 900 gf. A

seguir apresentamos as respostas dos itens 15 ao 21, contendo os dados coletados experimentalmente, o gráfico F versus ΔL e algumas observações relevantes.

Respostas:

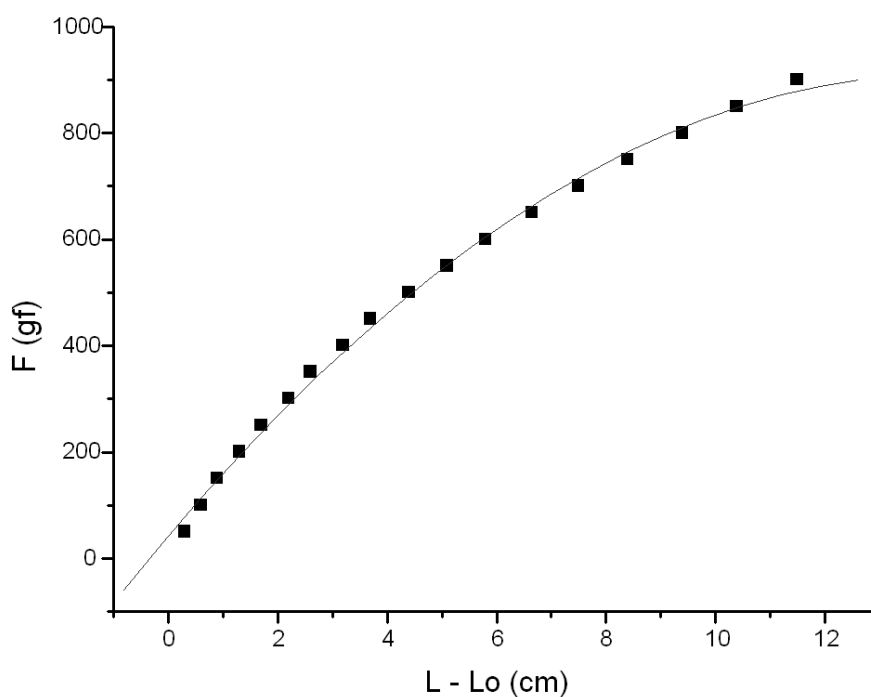
15 – $L_0 = 7,50$ cm

16 –

Nº das Medidas	F(gf)	L(cm)	$\Delta L = L - L_0(\text{cm})$
1	50	7,80	0,30
2	100	8,10	0,60
3	150	8,40	0,90
4	200	8,80	1,30
5	250	9,20	1,70
6	300	9,70	2,20
7	350	10,10	2,60
8	400	10,70	3,20
9	450	11,20	3,70
10	500	11,90	4,40
11	550	12,60	5,10
12	600	13,30	5,80
13	650	14,15	6,65
14	700	15,00	7,50
15	750	15,90	8,40
16	800	16,90	9,40
17	850	17,90	10,40
18	900	19,00	11,50

17 –

Gráfico de Força versus Deformação para uma gominha submetida a deformações maiores



18 – Sim. O gráfico da Força versus Deformação deixou de ser linear.

19 – A área transversal reduziu.

20 – Podemos apontar que na medida em que a gominha se alongava, a área transversal da gominha reduziu provocando uma redução na constante elástica k . Isto fica evidente uma vez que notamos uma redução na inclinação do gráfico F versus ΔL .

21 – Neste experimento podemos fazer uma analogia da redução na constante elástica com as propriedades verificadas numa combinação de gominhas em paralelo, isto é, podemos interpretar o estreitamento (redução na área transversal) da gominha como se houvesse uma redução na quantidade de gominhas associadas em paralelo, resultando numa constante elástica cada vez menor.

- **Descrevendo a Parte II**

A introdução do conceito Módulo de Young

Ao concluirmos as práticas da Parte I, percebemos que a constante elástica k era um parâmetro que dependia da geometria da gominha. Foi nesse contexto que reescrevemos a Lei de Hooke generalizada: $F = YA \frac{\Delta L}{L_o}$,

onde Y (Módulo de Young) é um parâmetro que caracteriza o material sem depender da sua geometria.

Resolução do exercício 1

Na hipótese de volume constante, podemos escrever a área transversal como:

$$A = \frac{A_o L_o}{L} = \frac{A_o L_o}{L_o + \Delta L}$$

Substituindo esta relação na Lei de Hooke generalizada, temos:

$$F = Y \frac{A_o L_o}{L_o + \Delta L} \frac{\Delta L}{L_o} = Y \frac{A_o}{1 + \frac{\Delta L}{L_o}} \left(\frac{\Delta L}{L_o} \right) = Y A_o \left(1 + \frac{\Delta L}{L_o} \right)^{-1} \left(\frac{\Delta L}{L_o} \right)$$

Utilizando a expansão binomial $\left(1 + \frac{\Delta L}{L_o}\right)^{-1} \approx \left(1 - \frac{\Delta L}{L_o}\right)$, a expressão

$F = YA_o \left(1 + \frac{\Delta L}{L_o}\right)^{-1} \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)$ pode ser reescrita assim:

$$F = YA_o \left(1 - \frac{\Delta L}{L_o}\right) \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right) = \left(YA_o - YA_o \frac{\Delta L}{L_o}\right) \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)$$

Escrevendo a expressão acima na forma de uma função de 2º grau em ΔL , temos:

$$F = \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{YA_o}{L_o^2} \Delta L^2$$

A introdução do conceito Coeficiente de Poisson

O Coeficiente de Poisson σ é definido como a razão negativa entre uma das deformações específicas transversais e a deformação específica longitudinal:

$$\sigma = - \frac{\frac{\Delta w}{w_o}}{\frac{\Delta L}{L_o}}$$

$$\sigma = - \frac{\frac{\Delta h}{h_o}}{\frac{\Delta L}{L_o}}$$

Uma nova expressão para força deformante em função da deformação da gominha

Utilizando o parâmetro σ para controlar a área transversal da gominha, encontramos uma nova função $F(\Delta L)$:

$$F \approx \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{2YA_o\sigma}{L_o^2} \Delta L^2$$

Resolução do exercício 2

Se compararmos a relação acima com a função $F = \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{YA_o}{L_o^2} \Delta L^2$ do exercício 1, podemos dizer que ao considerarmos a hipótese de volume constante, estamos tomando um Coeficiente de Poisson $\sigma=1/2$.

A deformação volumétrica específica

A deformação volumétrica específica é $\frac{\Delta V}{V_o} = -3 \frac{p}{Y} (1 - 2\sigma)$. Esta expressão pode ser reescrita na forma $\frac{\Delta V}{V_o} = -\frac{p}{B}$, onde o parâmetro $B = \frac{Y}{3(1 - 2\sigma)}$ é denominado de Módulo de Compressibilidade.

Resolução do exercício 3

$$\frac{\Delta V}{V_o} = -3 \frac{p}{Y} \left(1 - 2 \cdot \frac{1}{2} \right) \Rightarrow \frac{\Delta V}{V_o} = 0$$

$$B = \frac{Y}{3 \left(1 - 2 \cdot \frac{1}{2} \right)} \Rightarrow B \rightarrow \infty$$

Para um coeficiente de Poisson igual a 1/2, temos deformação volumétrica específica nula e Módulo de Compressibilidade⁸ infinito.

O problema da hipótese de volume constante no tratamento da área transversal da gominha

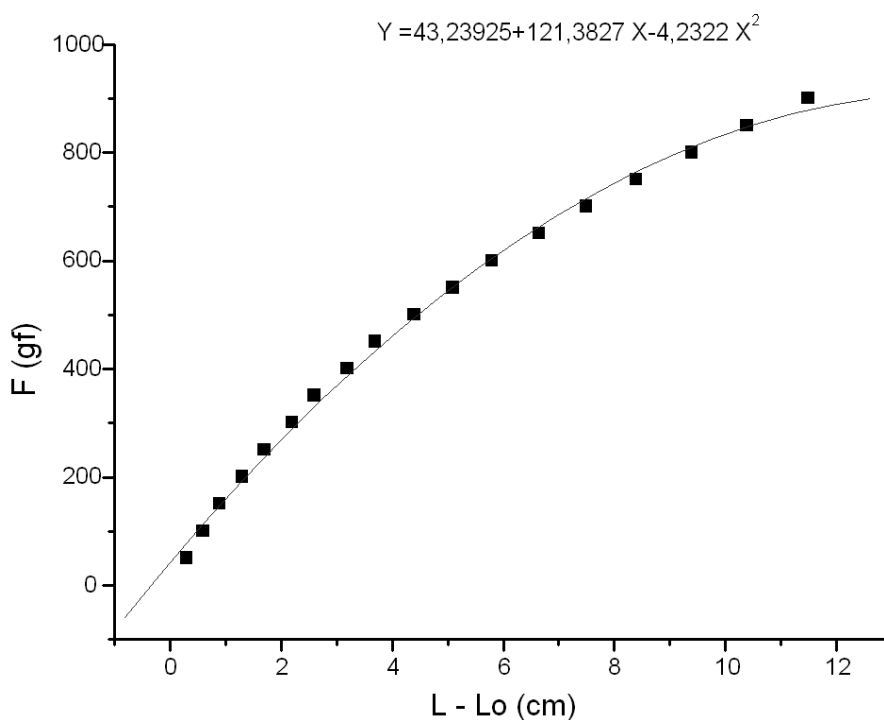
A partir dos exercícios anteriores, podemos perceber que considerar a hipótese de volume constante para controlar a área transversal da gominha nos leva a uma impossibilidade, pois teríamos um material com Módulo de Compressibilidade infinito.

⁸ Existe uma diferença entre “Módulo de Compressibilidade” e “Compressibilidade”. Por definição a Compressibilidade é o inverso do Módulo de Compressibilidade. Desta forma, determinar um Módulo de Compressibilidade infinito pode ser traduzido como encontrar uma Compressibilidade nula.

Determinação de Y e σ

A partir dos dados experimentais obtidos no final da Parte I, representamos graficamente a função $F(\Delta L)$, com a respectiva expressão analítica na forma: $Y = A + B1.X + B2.X^2$

Gráfico de Força versus Deformação para uma gominha submetida a deformações maiores



$$Y = A + B1 * X + B2 * X^2$$

Parameter	Value	Error
A	43,23925	8,6866
B1	121,3827	3,90808
B2	-4,2322	0,33886

Considerando a relação $F \approx \frac{YA_o}{L_o} \Delta L - \frac{2YA_o\sigma}{L_o^2} \Delta L^2$ e tomando a expressão analítica $Y =$

$A + B1.X + B2.X^2$ obtida a partir do gráfico, temos: $B1 = \frac{YA_o}{L_o}$; $B2 = \frac{-2YA_o\sigma}{L_o^2}$.

Dados do problema:

Comprimento inicial da gominha $L_o = 7,50\text{cm}$,

Área transversal inicial estimada para uma gominha $A_o = 6,0\text{mm}^2 = 0,060\text{cm}^2$,

$$B1=121\text{gf/cm},$$

$$B2=-4,2\text{gf/cm}^2.$$

Cálculo do Módulo de Young:

$$B1 = \frac{YA_o}{L_o} \Rightarrow 121 = \frac{Y \cdot 0,060}{7,50} \Rightarrow \boxed{Y = 1,5 \cdot 10^4 \text{ gf / cm}^2 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}}$$

Cálculo do Coeficiente de Poisson:

$$\frac{B2}{B1} = \frac{\frac{-2YA_o\sigma}{L_o^2}}{\frac{YA_o}{L_o}} = \frac{-2\sigma}{L_o} \Rightarrow \sigma = -\frac{1}{2} \left(\frac{L_o \cdot B2}{B1} \right) \Rightarrow \sigma = -\frac{1}{2} \left(\frac{7,50 \cdot (-4,2)}{121} \right) \Rightarrow \boxed{\sigma = 0,13}$$

Confronto dos resultados obtidos com a previsão teórica e resultados existentes na literatura:

Sabendo-se que a ordem de grandeza do Módulo de Young da borracha sintética é compreendida entre 10^6 e 10^8 Pa (CARAM, 2000), podemos dizer que o valor obtido para o Módulo de Young Y da borracha que constitui a gominha ensaiada apresentou uma ordem de grandeza dentro do que esperávamos. Acrescentamos ainda que esse valor é bem menor do que os valores tabelados para o Módulo de Young de outros materiais⁹ como nylon e borracha vulcanizada.

No que se refere ao Coeficiente de Poisson σ , devemos recordar duas impossibilidades:

- i - Um material com $\sigma=0$ é aquele que ao ser alongado não sofre contrações laterais.
- ii - Um material com $\sigma=1/2$ é aquele que ao ser deformado mantém seu volume constante.

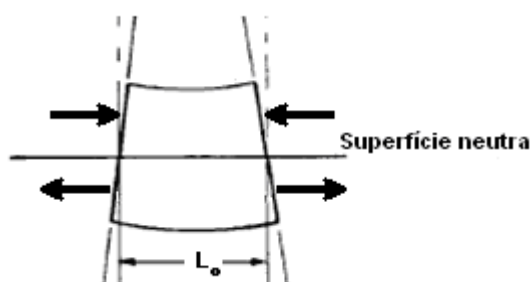
Ao determinarmos o Coeficiente de Poisson da borracha, confirmamos que o resultado obtido também foi satisfatório, uma vez que o valor encontrado foi positivo e menor do que $1/2$.

⁹ O Módulo de Young do nylon e da borracha vulcanizada apresenta ordem de grandeza de 10^9 Pa. (CARAM, 2000)

- **Respostas esperadas para as questões apresentadas na atividade de desafio**

Questão 01

Na parte inferior da seção de área transversal, existem forças que atuam do centro para as extremidades tracionando a borracha. Já na parte superior, existem forças que atuam das extremidades para o centro impondo uma tensão de compressão na borracha.



Questão 02

A largura da borracha na parte superior aumenta e na parte inferior diminui. Isto ocorre porque a parte superior da borracha fica sob uma tensão de compressão produzindo uma contração longitudinal que impõe uma expansão na largura. Na parte inferior, a borracha fica tracionada produzindo um alongamento longitudinal que impõe uma contração na largura. Considerando-se que não existe um material com Coeficiente de Poisson igual a zero, seria impossível submeter a borracha à variação no comprimento sem observar variação na largura.

Questão 03

Ao produzir um arqueamento na borracha para cima, a parte superior da borracha fica sob uma tensão de compressão. Devido à contração longitudinal ocorre uma expansão na espessura e na largura acarretando o inchaço na parte de cima. Admitindo-se a inexistência de um material com Coeficiente de Poisson igual a zero, seria impossível produzir uma contração longitudinal sem provocar expansões laterais na borracha.

Questão 04

Percebemos que ficou mais fácil de produzir um novo arqueamento pelo fato de que a área transversal da borracha reduziu à metade. Nesta situação, reconhecemos que existe uma relação de proporcionalidade entre força e área transversal.

Questão 05

Neste caso, admitimos que existe uma relação de proporcionalidade entre tensão e Módulo de Young e/ou força e Módulo de Young. Portanto, o esforço exigido para produzir um arqueamento numa barra de aço seria maior pelo fato de que o Módulo de Young do aço é superior ao da borracha.

6 METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Procedimentos metodológicos da pesquisa

Neste capítulo, descreveremos o que fizemos, como implementamos, como colocamos em prática e avaliamos a proposta experimental contida neste trabalho. Basicamente, a pesquisa apresentou duas etapas realizadas em 4 horas/aula:

1ª etapa – Realização de uma seqüência de atividades experimentais;

2ª etapa – Aplicação de uma atividade de desafio¹⁰ para trinta e seis alunos que participaram das atividades experimentais propostas.

6.2 Público-alvo do trabalho, justificativa da escolha dos participantes da pesquisa e a disciplina Física nos cursos de Engenharia do UNIFOR-MG

O produto desta dissertação é uma proposta de laboratório estruturado para ser utilizada nas aulas de Física Geral com alunos do 2º período de cursos de graduação em Engenharia. Na aplicação da proposta experimental, os alunos que fizeram parte da pesquisa cursavam o 2º período do curso de Engenharia Ambiental do UNIFOR-MG. Essa instituição oferece cursos de graduação e pós-graduação nas áreas de Ciências Sociais, Aplicadas e Exatas, Saúde e Educação.

Atualmente, o UNIFOR-MG conta com 35 laboratórios, dentre os quais podemos citar os laboratórios de Física, Química, Mineralogia, Análises de Água e Resíduos, Topografia, entre outros.

Nas grades curriculares¹¹ dos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Engenharia de Produção do UNIFOR-MG, a disciplina Física é ministrada nos

¹⁰ Como nos lembra Laburú (2006), o desafiar consiste em promover uma situação com certa complexidade em que as habilidades ou conhecimentos dos estudantes são provocados, mas num nível intermediário de dificuldade, de forma passível de ser vencido com um emprego razoável de esforço.

¹¹ Nos ANEXOS A, B e C mostramos as grades curriculares dos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Engenharia de Produção do UNIFOR-MG, todas com duração de 5 anos.

1º, 2º e 3º períodos. Sendo que no curso de Engenharia Ambiental destina-se 80 horas/aula no 1º período, 60 horas/aula no 2º período e 60 horas/aula no 3º período; no curso de Engenharia Civil destina-se 60 horas/aula no 1º período, 60 horas/aula no 2º período e 60 horas/aula no 3º período; no curso de Engenharia de Produção destina-se 80 horas/aula no 1º período, 80 horas/aula no 2º período e 80 horas/aula no 3º período. Considerando que a proposta experimental do trabalho se aplica a alunos do 2º período de cursos de Engenharia, escolhi aplicar a proposta no 2º período do curso de Engenharia Ambiental, pelo fato de que no período da pesquisa, esta turma era a única turma de 2º período de Engenharia na qual eu estava ministrando aulas de Física.

Os participantes da pesquisa são alunos que, desde o início do curso até a data de aplicação das atividades, tiveram a oportunidade de estudar diversos assuntos de Mecânica e Termodinâmica. Portanto, acreditamos que a turma do 2º período de Engenharia escolhida apresenta um nível de desenvolvimento cognitivo necessário para a realização do estudo experimental das propriedades dos corpos deformáveis proposto no trabalho.

6.3 Elaboração do material

6.3.1 *Elaboração das atividades experimentais*

Na elaboração do material, inicialmente nos orientamos de acordo com a proposta do projeto de pesquisa, que era projetar atividades que permitissem o estudo experimental das propriedades dos corpos deformáveis.

Num primeiro momento, para que pudéssemos definir um referencial teórico-pedagógico, fizemos uma análise de diversas teorias e nos identificamos com a teoria de Vigotski pelo fato de que percebemos que em sua teoria sócio-histórica havia grande valorização à questão do ambiente escolar, inclusive com relação ao processo de formação dos conceitos nos alunos.

Na etapa seguinte, fizemos um levantamento dos tipos de laboratório em ensino de Física e de acordo com os diversos enfoques que encontramos para a

realização das atividades experimentais, optamos pelo uso de um laboratório estruturado fechado, propondo uma série de ações que vão desde uma apresentação de uma teoria até a compreensão do fenômeno investigado experimentalmente.

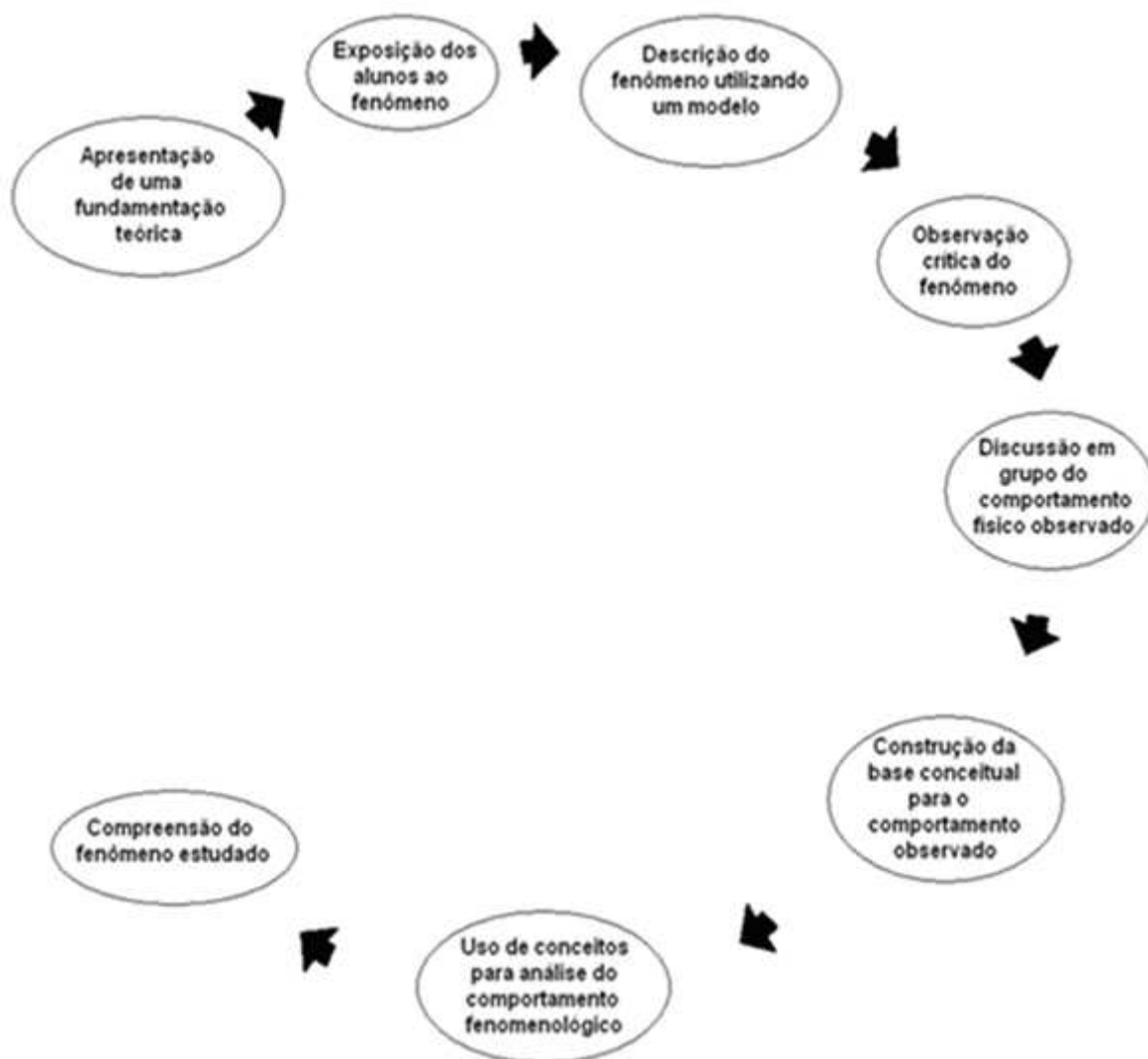


Figura 18: Ações indicadas na proposta

A seqüência de atividades experimentais foi planejada para que na medida em que os alunos realizassem os experimentos, eles pudessem sentir a necessidade de usar novos conceitos que os auxiliassem nas investigações propostas.

Pelo fato do foco do trabalho ser oferecer uma experimentação que pudesse formar conceitos mediante a realização da prática pelos alunos, nos preocupamos

em abordar problemas bem delineados, que permitissem o envolvimento¹² dos alunos propiciando sua conscientização com relação aos problemas investigados e conduzindo-os ao desenvolvimento de competências inerentes ao estudo das propriedades dos corpos deformáveis.

6.3.2 Elaboração da atividade de desafio como instrumento de avaliação

Em nossa pesquisa, elaboramos uma atividade de desafio sobre o arqueamento de uma borracha com o intuito de avaliar o material proposto no presente trabalho. Nesta atividade, procuramos verificar, individualmente, se o aluno utilizou os conceitos trabalhados na seqüência de atividades experimentais para analisar e interpretar uma situação nova. Nesse sentido, Vigotski (1999) defende que um conceito encontra-se desenvolvido quando o aluno consegue aplicá-lo em situações inéditas.

As questões contidas neste instrumento de avaliação foram desenvolvidas considerando também dois aspectos importantes:

- i – Clareza e coerência,
- ii – Neutralidade.

No que se refere à clareza e coerência das questões, procuramos elaborar questionamentos concisos e sem ambigüidades, buscando obter dos alunos respostas com objetividade que nos permitissem identificar se o aluno realmente compreendeu o fenômeno. O aspecto de neutralidade das questões diz respeito à liberdade dada ao aluno no momento de responder a questão, isto é, os questionamentos que foram feitos buscaram não induzir uma dada resposta por parte do aluno.

Na escolha do tipo das questões que seriam utilizadas nesta avaliação optamos pelas questões com respostas abertas pelo fato de que estas permitissem

¹² Villani e Carvalho (1993) orientam que os esforços para tornar as observações experimentais eficientes devem ser concentrados na elaboração de atividades que estimulem os estudantes a participarem da observação tomando consciência de suas expectativas e na criação de espaço e motivação para os estudantes observarem com cuidado, até alcançarem um convencimento seguro sobre os resultados.

que o participante da pesquisa pudesse expressar seu pensamento com liberdade e originalidade.

Inicialmente, na primeira questão, o aluno deveria especificar como atuam as forças que produzem alongamento na parte inferior e redução de comprimento na parte superior da borracha quando encurvada para cima. Ainda na mesma questão, o aluno deveria indicar estas forças graficamente. Na segunda questão, o aluno deveria fazer medidas da largura na parte inferior e na parte superior da borracha encurvada e explicar o fato observado. Na terceira questão, o aluno deveria explicar porque a borracha encurvada para cima incha na parte superior. Na quarta questão, cortando a borracha ao meio e reduzindo a área transversal sem alterar o comprimento inicial, o aluno deveria produzir um novo arqueamento e justificar o observado. A quinta questão envolveu uma reflexão sobre o que deveria ocorrer se no lugar de produzir um arqueamento na borracha, o aluno tivesse que encurvar uma barra com dimensões semelhantes, mas feita de aço.

6.4 Aplicação do material

A proposta deste trabalho foi aplicada no Laboratório de Física à turma de 2º período do curso de Engenharia Ambiental do UNIFOR-MG nos dias 18 e 20 de junho de 2009. Para dar início às atividades, os alunos receberam um roteiro contendo a proposta experimental e foram distribuídos em 7 grupos. Na execução das práticas todo o material necessário foi fornecido aos alunos e a elaboração de um relatório das atividades foi obrigatória.

No primeiro dia, os alunos iniciaram a Parte I do estudo das propriedades dos corpos deformáveis através de pequenos estiramentos provocados em gominhas de borracha. Foram realizados estiramentos de uma única gominha, de duas gominhas em paralelo e de duas gominhas em série. Em seguida, os alunos investigaram também o comportamento de uma gominha de borracha submetida a grandes deformações. Neste momento, os alunos reconheceram que as modificações na constante elástica ocorreram devido às alterações na área transversal da gominha. Diante disso, os alunos iniciaram a Parte II conhecendo o conceito Módulo de Young. Na sequência, os alunos realizaram um exercício e puderam obter uma

expressão para $F(\Delta L)$ admitindo a hipótese de volume constante para controlar a área transversal.

No segundo dia, os alunos conheceram o conceito Coeficiente de Poisson e com ele aprenderam uma nova maneira para controlar a área transversal da gominha. Dando continuidade, os alunos conheceram uma nova expressão para $F(\Delta L)$. No segundo exercício, os alunos compararam a nova expressão $F(\Delta L)$ com a expressão obtida no exercício 1 e perceberam que numa hipótese de volume constante o Coeficiente de Poisson assumia um valor $\sigma=1/2$. Em seguida, através de outro exercício, os alunos determinaram a deformação volumétrica específica e o Módulo de Compressibilidade para um material com Coeficiente de Poisson igual a $1/2$. Diante disso, os alunos perceberam que considerar o volume da gominha constante para tratar a área transversal conduzia à impossibilidade do Módulo de Compressibilidade infinito. Tomando a nova expressão $F(\Delta L)$, os alunos retornaram aos dados experimentais e determinaram o Módulo de Young e o Coeficiente de Poisson da borracha ensaiada. Por fim, os alunos realizaram uma atividade sobre o arqueamento de uma borracha e foram avaliados através de um questionário individual sobre o fenômeno observado.

No dia 18 de junho, as aulas aconteceram no período noturno e no dia 20 de junho foram realizadas no período matutino. Segue abaixo o cronograma das atividades desenvolvidas pelos alunos.

CRONOGRAMA		
DATA	CARGA HORÁRIA	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LABORATÓRIO
18/06/09	2 horas-aula	<ul style="list-style-type: none"> • Parte I – Um primeiro contato com as deformações elásticas de gominhas de borracha • Início da Parte II – Explorando um pouco mais o comportamento de uma gominha de borracha submetida a grandes deformações
20/06/09	2 horas-aula	<ul style="list-style-type: none"> • Finalização da Parte II - Explorando um pouco mais o comportamento de uma gominha de borracha submetida a grandes deformações • Atividade de desafio

QUADRO 1: Cronograma das atividades desenvolvidas no laboratório

6.5 Apresentação e análise dos resultados

A seqüência experimental proposta se compunha de um conjunto de tarefas cuja finalidade era propiciar a formação de conceitos.

Na medida em que os alunos executaram os experimentos e refletiram sobre os fenômenos, percebemos que houve uma conscientização acerca da necessidade de se inserir novos signos para formar novos conceitos.

Na avaliação final do trabalho, os alunos foram questionados a respeito do comportamento da borracha quando encurvada e, neste momento, a grande maioria explicou a nova situação problematizada usando os conceitos apreendidos. No entanto, utilizando a classificação de Vigotski, percebemos que alguns alunos sinalizaram pensamentos complexos.

Na análise das argumentações apresentadas pelos alunos seguimos algumas orientações oferecidas por Bardin¹³ (2004):

Designa-se sob o termo de análise de conteúdo um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens. (BARDIN, 2004, p. 37)

O analista possui à sua disposição (ou cria) todo um jogo de operações analíticas, mais ou menos adaptadas à natureza do material e à questão que procura resolver. Pode utilizar uma ou várias operações, em complementaridade, de modo a enriquecer os resultados, ou aumentar a validade, aspirando assim a uma interpretação final fundamentada. Qualquer análise objetiva procura fundamentar impressões e juízos intuitivos, através de operações conducentes a resultados de confiança. (BARDIN, 2004, p. 37)

A seguir, faremos uma análise de um relatório de atividades entregue pelos alunos e, posteriormente, mostraremos os resultados obtidos a partir da avaliação feita com a atividade de desafio.

¹³ A professora de Psicologia da Universidade de Paris V, Laurence Bardin, oferece uma série de exemplos que são tomados como ilustrações e não como modelos para uma análise de conteúdo.

6.5.1 Análise da seqüência de atividades experimentais

A obrigatoriedade de entrega de um relatório além de propiciar o desenvolvimento da habilidade de comunicação escrita e uso dos recursos de informática, nos forneceu um material para análise das atividades experimentais realizadas pelos alunos. Bonadiman e Nonenmacher (2007) esclarecem ainda que na elaboração de um relatório, os alunos retomam idéias e informações produzidas no contexto da atividade experimental e, mediante o uso da linguagem escrita, sistematizam e constroem novos modelos.

Em nossa pesquisa, escolhemos analisar um relatório entregue por um grupo¹⁴ de alunos, objetivando verificar se a estratégia de introduzir os conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson realmente funcionou.

De acordo com o que observamos na aplicação da proposta do presente trabalho, podemos afirmar que a transposição do conhecimento teórico para problemas práticos facilitou a construção de novos conceitos. A partir da observação, da investigação e da verificação do comportamento fenomenológico desencadeado ao longo da seqüência experimental sugerida, foi possível problematizar as situações e conscientizar os alunos a cerca da necessidade de novos parâmetros que fossem mais adequados para analisar o comportamento do material. Nesse sentido, reconhecemos que uma experiência de aprendizagem foi estabelecida a partir do momento em que os alunos investiram sua subjetividade no enfrentamento das dificuldades apresentadas ao longo das atividades. (BAROLLI; FRANZONI, 2008)

Um ponto que nos chamou a atenção durante a realização das atividades foi que no momento de determinar resultados com o auxílio do computador, em cada grupo, alguns alunos se sobressaíram mais do que outros. Notamos que alguns alunos mostraram grande facilidade com relação ao uso das ferramentas computacionais enquanto outros acompanharam e também puderam aprender a

¹⁴ De maneira geral os relatórios apresentados pelos grupos de alunos foram bem parecidos. Esclarecemos ainda que os critérios que adotamos na escolha de um relatório para ser analisado foram: organização e apresentação clara das atividades realizadas. Os exemplos que usaremos nesta seção pertencem aos alunos: Eli Faria, João Ferreira de Oliveira Júnior, Marciana Moraes Almeida, Tainara Silveira Leal e Larissa Carolina Cunha e Silva. Encontra-se no APÊNDICE B um documento assinado pelos alunos autorizando o uso do relatório das atividades para fins deste trabalho de pesquisa.

manipular tal recurso. Todavia, no momento de comparar e interpretar os resultados encontrados, todos os alunos participaram fazendo comentários que engrandeceram o trabalho. Em concordância com Vigotski (2000), podemos afirmar também que a interação no grupo contribuiu significativamente para o aprendizado, despertando o desenvolvimento intelectual dos alunos.

Com relação à montagem dos equipamentos, observamos que todas as situações foram preparadas facilmente. Acreditamos que as orientações, bem como as ilustrações apresentadas no roteiro facilitaram a execução prática.

No tocante às atividades da Parte I, os alunos produziram inicialmente ensaios de tração com gominhas de borracha submetidas a pequenas deformações. A partir dos experimentos realizados com uma gominha, duas gominhas em paralelo e duas gominhas em série, os alunos verificaram um comportamento linear para F (ΔL). Nessa fase de investigação, os alunos reconheceram o significado da constante elástica e apontaram de maneira correta sua dependência com a área transversal e comprimento inicial da gominha. A partir dos dados coletados experimentalmente, os alunos obtiveram os gráficos de F versus ΔL que permitiram, por meio de regressões lineares, a determinação de valores para a constante elástica em cada situação ensaiada.

No relatório apresentado pelos alunos ficou muito claro que a constante elástica estava vinculada à geometria do material. Isto pode ser confirmado em um trecho apresentado pelos alunos: *“Quanto maior a área transversal do material, maior será a constante elástica, necessitando assim de forças maiores para deformá-lo”*. Ainda na Parte I, os alunos produziram um ensaio de tração de uma gominha submetida a grandes deformações. A partir dos dados experimentais, os alunos traçaram o gráfico F versus ΔL e verificaram que a gominha apresentou um comportamento não-linear. Nesse momento, os alunos usaram corretamente a relação entre força e área transversal para explicar o comportamento do material submetido a grandes deformações: *“[...] a partir do momento em que a força aumentou, as deformações aumentaram muito, deixando de apresentar uma linearidade, pois com o alongamento, a área transversal reduziu”*.

Associando o estreitamento da gominha alongada com o comportamento de uma combinação de gominhas em paralelo, os alunos conseguiram também justificar a redução na inclinação do gráfico F versus ΔL e na constante elástica. Vale

esclarecer que numa combinação de gominhas em paralelo, quanto menor o número de gominhas associadas menor será a constante elástica. Ressaltamos aqui que as observações feitas na Parte I foram fundamentais para que os alunos pudessem investir em novos estudos na Parte II.

Mediante nossa análise, podemos afirmar que a realização das atividades experimentais propiciou várias reflexões a respeito do comportamento da gominha, reconstruindo idéias e ampliando a visão dos alunos. Diante disso, confirmamos o posicionamento de Rocha Filho, Salami e Lima (2007):

A experimentação é um dos bons caminhos para a concretização da aprendizagem, especialmente nas ciências, porque o experimento, entendido como atividade mediadora entre o estudante e o objeto de conhecimento, constitui um substrato sobre o qual vão ser construídos novos argumentos a respeito do conceito trabalhado. (ROCHA FILHO; SALAMI; LIMA, 2007, p.225)

Depois de realizarem as atividades da Parte I, os alunos perceberam que a constante elástica não servia como parâmetro para caracterizar o material, uma vez que seu valor modificava na medida em que a área transversal reduzia. Diante da necessidade de um novo parâmetro que pudesse representar propriedades exclusivas do material, de maneira independente da geometria, na Parte II, os alunos conheceram o conceito Módulo de Young. Com este novo signo inserido, os alunos realizaram um exercício tomando a hipótese de volume constante para controlar a área transversal. Nesse momento, devemos lembrar que segundo Vigotski (1999) o uso dos signos é indispensável à formação e/ou aperfeiçoamento dos conceitos. Na formação de uma nova estrutura de pensamento, o uso dos signos serve para dirigir as operações mentais para a compreensão de um determinado processo.

Em seguida, os alunos conheceram o conceito Coeficiente de Poisson. Com este novo signo inserido, os alunos encontraram um novo tratamento para área transversal e aprenderam uma nova expressão para $F(\Delta L)$. No exercício 2, os alunos compararam a nova expressão $F(\Delta L)$ com a expressão obtida anteriormente no exercício 1, confirmando que a hipótese de volume constante conduzia a um Coeficiente de Poisson igual a $1/2$.

No exercício 3, os alunos determinaram a deformação volumétrica específica e o Módulo de Compressibilidade para um material com Coeficiente de Poisson igual a $1/2$. Neste momento, surgiram muitas discussões entre os alunos que culminaram com um problema na hipótese de volume constante para o tratamento da área transversal, pois seria impossível encontrar um material com Módulo de Compressibilidade infinito. Diante disso, os alunos se conscientizaram da importância do conceito Coeficiente de Poisson no estudo das deformações, mais especificamente, no tratamento da redução na área transversal da gominha.

Finalmente, a partir de um tratamento dos dados coletados para o ensaio da gominha submetida a grandes deformações, os alunos utilizaram a nova expressão $F(\Delta L)$ e determinaram o Módulo de Young e o Coeficiente de Poisson da borracha. Apontamos ainda, que os valores obtidos pelos alunos foram satisfatórios.

6.5.2 Análise das respostas individuais dos alunos na atividade de desafio

A fim de apontar se houve formação de conceitos, analisamos as cinco respostas que os trinta e seis alunos apresentaram aos questionamentos provocados na atividade de desafio. Em nossa análise, procuramos detectar as tendências dos discursos utilizados para justificar determinadas situações. A classificação das respostas¹⁵ apresentadas foi feita utilizando a escala de Likert¹⁶. Nesta seção, destacaremos algumas peculiaridades destas respostas, mostraremos os critérios que utilizamos para classificá-las e citaremos alguns exemplos.

Na questão 01, dezesseis alunos conseguiram representar, esquematicamente, as forças que provocaram o arqueamento na borracha e ainda citaram que abaixo da superfície neutra a borracha foi submetida à tração e acima foi submetida à compressão. Neste caso, podemos afirmar que os alunos conseguiram aplicar as propriedades verificadas nas atividades anteriores para analisar o arqueamento da borracha. Percebemos que este resultado confirma a idéia de Vigotski (1999), que diz que quando um conceito se amadurece, o aluno

¹⁵ A relação completa das respostas apresentadas pelos alunos se encontra no APÊNDICE C.

¹⁶ A escala de Likert foi utilizada para cotarmos as respostas em cinco tipos, dentre as quais classificamos como: Ótima, Muito Boa, Boa, Regular, Ruim.

torna-se capaz de aplicá-lo em outras situações. Tomando ainda a questão 01, observamos que apenas três alunos não conseguiram representar corretamente as forças na figura. Nestes casos, podemos dizer que as representações apresentadas foram carregadas de pensamentos complexos, mais parecidos, com o que Vigotski (1999) denomina de complexo difuso.

Os resultados que apresentamos a seguir, mostram que 91,67% dos alunos apresentaram uma resposta ótima, muito boa ou boa e apenas um percentual de 8,34% das respostas foram classificadas como regulares ou ruins. Isto mostra que os alunos, em grande parte, concordam com a existência de forças que comprimem e forças que tracionam a borracha ao ser encurvada para cima.

TABELA 6

Resultados da questão 01

Classificação	Nº de alunos
Ótima	16
Muito boa	11
Boa	6
Regular	2
Ruim	1

Fonte: Dados da pesquisa

Resultados da questão 01

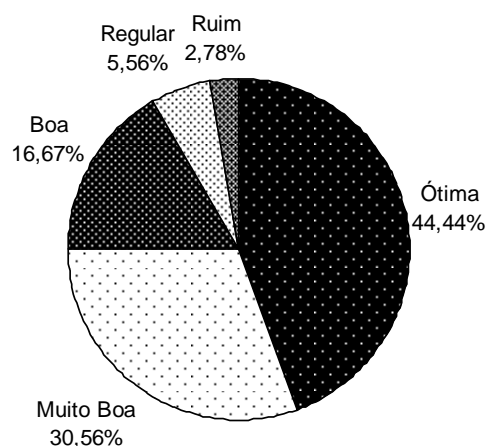


Figura 19: Representação gráfica dos resultados da questão 01

Fonte: Dados da pesquisa

Nesta questão, classificamos uma resposta como ótima, quando o aluno representou as forças na figura corretamente e indicou na resposta que a parte da borracha que estava acima da superfície neutra foi comprimida e a que estava abaixo da superfície neutra foi esticada. Mediante a análise que fizemos 44,44% dos alunos apresentaram respostas ótimas.

Exemplos¹⁷
A1G1 – “Na parte inferior, a força atua do centro para as bordas e na parte superior a força age das bordas para o centro. Esticando embaixo e comprimindo em cima”.
A4G7 – “Na parte superior, as forças comprimem as laterais e na parte inferior, as forças são exercidas esticando a borracha”.

Dentre as respostas analisadas, 30,56% dos alunos representaram as forças na figura indicando a direção e o sentido corretamente, porém não fizeram referência à compressão e ao alongamento em suas respostas. Tais respostas foram classificadas como muito boas.

Exemplos
A3G1 – “Na parte superior atua das pontas para o centro, na parte inferior do centro para as pontas”.
A3G5 – “A força atua do centro para os extremos na parte inferior e na parte superior dos extremos para o centro da borracha”.

Classificamos uma resposta como boa quando o aluno fez a representação das forças na figura de forma incompleta, mas fez referência à compressão e ao alongamento da borracha em sua resposta. Na representação gráfica das forças, o aluno representou as forças ora somente na parte superior, ora apenas na parte inferior. De acordo com a análise feita, 16,67% das respostas foram classificadas como boas.

Exemplos
A1G2 – “A força atuou na parte superior no sentido de produzir uma compressão e na parte inferior atuou no sentido de esticar”.
A6G4 – “Com a borracha flexionada existem forças que tracionam a parte inferior e forças que comprimem a parte superior”.

Quando o aluno fez referência à compressão e ao alongamento da borracha na resposta, mas representou as forças na figura de forma incorreta, classificamos a resposta como regular. Nas representações gráficas que os alunos fizeram, aparecem forças de tração e compressão na horizontal e também forças atuando na

¹⁷ Na identificação dos alunos leia: A1G1 como Aluno número 1 do Grupo 1, A4G7 como Aluno número 4 do Grupo 7, etc.

parte inferior orientadas de baixo para cima. As respostas regulares representam um percentual de 5,56% do total.

Exemplos
A4G2 – “Observando a borracha em duas partes, notei que a força na parte inferior aumentou o comprimento tracionando as extremidades para fora e na parte superior impôs uma compressão”.
A5G3 – “As forças que estão na parte inferior são exercidas para fora e na parte superior são exercidas para dentro”.

Como resposta ruim, houve um percentual de apenas 2,78%. Neste caso, tanto a resposta como a representação gráfica das forças estavam incorretas.

Exemplo
A2G2 – “Ao flexionar, as forças estão sendo aplicadas de baixo para cima”.

Analisando as respostas da questão 02, percebemos que houve grande tendência dos alunos em colocar que o aumento no comprimento impôs contração na largura da mesma forma que a redução no comprimento provocou expansão na largura do material. Um aspecto positivo que nos chamou a atenção ao analisar esta questão foi que alguns alunos indicaram a relação entre as variações no comprimento e na largura, expondo claramente que seria impossível existir um material com o Coeficiente de Poisson nulo, pois para isso as variações na largura não deveriam ocorrer. Ainda na questão 02, houve respostas que associaram as alterações na largura com variações na área transversal, e, dos alunos avaliados, somente seis não expuseram nenhuma explicação razoável para o fenômeno.

Com relação à questão 02, podemos afirmar que os resultados obtidos foram bastante favoráveis. Nesta questão, não houve nenhuma resposta considerada como incorreta, porém, algumas respostas apresentaram explicações mais completas para o fenômeno. Vale comentar que as respostas ótimas, muito boas e boas representaram 80,56% do total, enquanto as respostas regulares e ruins representaram 19,45%.

TABELA 7

Resultados da questão 02

Classificação	Nº de alunos
Ótima	2
Muito boa	14
Boa	13
Regular	1
Ruim	6

Fonte: Dados da pesquisa

Resultados da questão 02

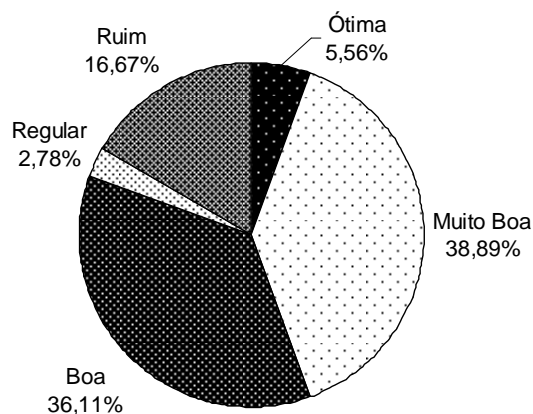


Figura 20: Representação gráfica dos resultados da questão 02

Fonte: Dados da pesquisa

As respostas ótimas, com um percentual de 5,56%, foram aquelas que procuraram mostrar que o aumento da largura superior ocorre devido à compressão e a redução da largura inferior ocorre pelo fato de tracionar e/ou esticar a borracha, evidenciando ainda a relação existente entre as variações no comprimento e na largura.

Exemplos

A1G4 – “Ocorrendo a compressão na parte superior ela alarga, já na parte inferior, ela estica e afina. Se não afinasse nem se alargasse, o material teria um Coeficiente de Poisson igual a zero”.

A4G7 – “Na parte superior z aumenta pela compressão e na parte inferior z diminui pelo alongamento. Sabendo que o Coeficiente de Poisson da borracha não é zero, se L reduzir, z tem que aumentar e se L aumentar, z tem que reduzir”.

Um ponto importante que se verifica nestas respostas é que os alunos passaram a utilizar o Coeficiente de Poisson em suas respostas. Além das respostas dos alunos A1G4 e A4G7, outras duas respostas classificadas como boas, também apresentaram este signo. Dentre todas as respostas analisadas, as respostas que utilizaram o Coeficiente de Poisson representam 11,11%. As respostas consideradas como muito boas, com 38,89%, foram as que apresentaram maior percentual. Em tom bem parecido, estas respostas mostraram que o aumento da largura superior

estava associado à compressão e a redução da largura inferior estava associada ao ato de tracionar e/ou esticar a borracha.

Exemplos
A3G4 – “Quando a borracha é flexionada, a parte inferior sofre um estiramento ficando com largura menor e a parte superior sofre uma compressão aumentando a largura”.
A3G5 – “Quando encurvamos a borracha para cima, a largura inferior diminui porque em baixo estamos esticando e a parte superior aumenta a largura porque estamos comprimindo”.

Em nossa análise, 36,11% das respostas se classificaram como boas. Nestas respostas, os alunos associaram o aumento da largura com a redução do comprimento e/ou aumento da área transversal e a redução da largura com o aumento no comprimento e/ou redução na área transversal sem referenciar às trações e compressões presentes na borracha.

Exemplos
A5G2 – “A largura superior aumentou porque o comprimento diminuiu e a largura inferior reduziu porque o comprimento aumentou”.
A3G3 – “Na parte superior, a largura aumentou porque houve um aumento na área transversal e na parte inferior a largura reduziu porque houve uma redução na área transversal”.

Apenas uma única resposta, representando 2,78%, foi considerada como regular. Nesta resposta, o aluno indicou que ao curvar a borracha, houve aumento da largura superior e redução na largura inferior, porém a explicação foi muito pobre.

Exemplo
A4G6 – “Na parte inferior z reduziu e na parte superior z aumentou, porque a área transversal modificou”.

Na segunda questão, 16,67% das respostas foram classificadas como ruins. Nestas respostas as mudanças na largura superior e na largura inferior da borracha foram confirmadas, porém os alunos não explicaram e/ou explicaram incorretamente a situação observada.

Exemplos
A2G1 – <i>“Após curvar a borracha, a parte inferior sofre um decréscimo e a parte superior um acréscimo na largura z”.</i>
A2G6 – <i>“A medida de z na parte superior aumenta e na parte inferior diminui. Isso ocorre porque a borracha se deforma facilmente”.</i>

Ao analisarmos as respostas da questão 03, percebemos que trinta alunos apresentaram explicações bem satisfatórias para o inchaço da borracha. Vale ressaltar que nesta questão, a compreensão do efeito observado exigiu dos alunos profunda atividade de abstração. (VIGOTSKI, 1999)

Na questão 03, observamos também que apenas seis alunos apresentaram interpretações incorretas. Dentre estes alunos, houve aqueles que justificaram o fato dizendo que parte da borracha que reduziu em baixo passou para cima e/ou uma força foi exercida de baixo para cima provocando o inchaço da borracha na parte de cima. Nestes casos, notamos que as respostas não apresentaram fundamentação física para o comportamento. Tais explicações podem ser caracterizadas como um tipo de pensamento complexo denominado por Vigotski (1999) de complexo associativo. Isto nos leva a concordar que alguns erros e dificuldades enfrentadas pelos alunos no laboratório se devem a uma concepção inadequada de senso comum, relativa à Física como uma Ciência. (MARINELI; PACCA, 2006)

Mediante os resultados apresentados a seguir, notamos que 63,89% das respostas que analisamos se classificaram como ótimas, muito boas ou boas e 36,11% como regulares ou ruins. Outro ponto que não podemos deixar de destacar é que dos vinte e três alunos que conseguiram compreender o inchaço da borracha encurvada, sete utilizaram o Coeficiente de Poisson em suas respostas.

TABELA 8

Resultados da questão 03

Classificação	Nº de alunos
Ótima	9
Muito boa	3
Boa	11
Regular	7
Ruim	6

Fonte: Dados da pesquisa

Resultados da questão 03

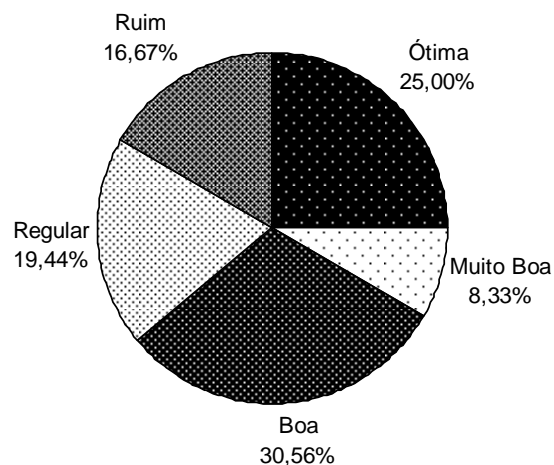


Figura 21: Representação gráfica dos resultados da questão 03

Fonte: Dados da pesquisa

Os 25% das respostas classificadas como ótimas explicaram que o inchaço da borracha estava relacionado ao fato de que ao curvá-la para cima, ocorreu uma compressão na parte superior, reduzindo o comprimento e provocando uma expansão para cima e para os lados.

Exemplos

A6G5 – “Neste caso, com o curvar para cima, diminui o comprimento na parte superior provocando aumento da largura e espessura. Isto comprova que o Coeficiente de Poisson é diferente de zero”.
A3G7 – “Porque o comprimento da parte de cima reduziu e dessa forma, a largura e a espessura da parte superior expandiram”.

As respostas que explicaram que a compressão da parte superior impôs uma sobreposição de moléculas e/ou uma expansão da borracha para cima foram classificadas como muito boas. Estas respostas representaram um percentual de 8,33%.

Exemplos

A4G2 – “A parte superior sofreu uma compressão que obrigou a borracha a se expandir para cima”.
A4G4 – “A borracha incha em cima, pois existem forças de fora para dentro que fazem com que as moléculas se sobreponham”.

Com um percentual de 30,56%, as respostas boas foram aquelas que associaram o inchaço da borracha com a compressão da parte superior e o respectivo aumento da área transversal.

Exemplos
A6G4 – “Ela inchou na parte superior porque na compressão, a área transversal aumentou”.
A2G7 – “Com o aumento da largura superior devido a aplicação de força que comprime a borracha durante o arqueamento, aumenta assim sua área transversal superior, inchando em cima”.

Classificamos como resposta regular, quando a explicação do inchaço da borracha encurvada foi feita apenas citando o ato de comprimir a parte superior. As respostas regulares representaram 19,44%.

Exemplos
A2G4 – “Ela inchou porque na parte superior houve uma compressão”.
A3G6 – “Ao flexionar a borracha para cima, na parte superior aplica-se força nas extremidades para comprimir causando o inchaço”.

Com 16,67%, as respostas ruins foram aquelas que apresentaram explicações incorretas. Dentre estas respostas, algumas indicaram que existiam forças de baixo para cima e/ou havia transferência de borracha da parte de baixo para a parte de cima.

Exemplos
A5G1 – “Ela incha a parte superior porque o volume que a parte inferior perde é passado para a parte superior”.
A2G2 – “Inchou na parte superior e reduziu a parte inferior porque houve uma força de baixo para cima. Da mesma forma, se colocar a borracha em uma prensa, ela inchará para os lados”.

A questão 04 referia-se ao arqueamento da borracha cortada ao meio. Pela análise das respostas dos alunos podemos afirmar que a maior parte (trinta e dois) dos alunos julgou a área transversal como fator responsável pela redução no esforço exigido nas deformações. Em uma dessas respostas, o signo Módulo de Young também foi usado para indicar que apesar do esforço exigido ser menor, o Módulo

de Young era o mesmo. Nesta resposta ficou claro que o Módulo de Young foi colocado para expressar que este parâmetro independia da geometria do material.

Os resultados que apresentamos a seguir, apontam que 86,11% dos alunos já identificam a relação de dependência entre força e área transversal. Das respostas analisadas, 88,89% foram consideradas como ótimas, muito boas ou boas e somente 11,11% como regulares ou ruins.

TABELA 9

Resultados da questão 04

Classificação	Nº de alunos
Ótima	10
Muito boa	21
Boa	1
Regular	3
Ruim	1

Fonte: Dados da pesquisa

Resultados da questão 04

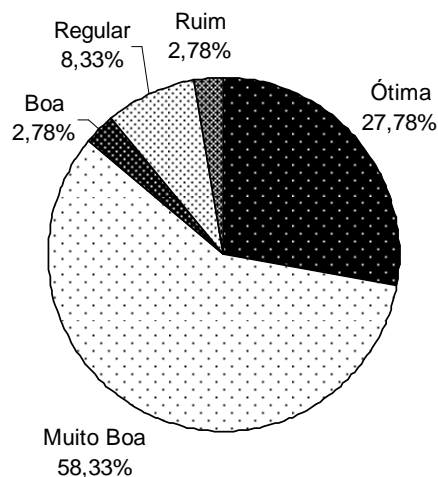


Figura 22: Representação gráfica dos resultados da questão 04

Fonte: Dados da pesquisa

As respostas ótimas, com um percentual de 27,78%, foram aquelas que nas explicações mostraram que se torna mais fácil de curvar porque a força é diretamente proporcional à área transversal. Interessante que em uma dessas respostas, o aluno (A3G7) indicou que apesar da área transversal mudar, o Módulo de Young não alterou porque o material utilizado foi o mesmo.

Exemplos

A3G7 – “A borracha ficou mais maleável, mas o Módulo de Young é o mesmo. Percebi que sem alterar o material quando a área transversal reduz a força aplicada pode ser menor”.

A3G6 – “Mais fácil, porque a área transversal da borracha ficou menor. Como a área transversal é menor, a força aplicada também é menor”.

Com 58,33%, as respostas consideradas como muito boas foram aquelas que indicaram que área transversal reduziu.

Exemplos
A1G4 – <i>“Ficou mais fácil de ser encurvada, porque a área transversal diminuiu”.</i>
A4G6 – <i>“Ficou mais flexível, pois diminuiu a área transversal”.</i>

A resposta considerada como boa, representando apenas 2,78% apresenta na explicação o conceito de tensão.

Exemplo
A5G3 – <i>“Mais fácil. A largura sendo reduzida à metade, a força pode ser menor, pois a tensão é a razão entre força e área”.</i>

Os 8,33% das respostas foram classificadas como regulares por apresentarem justificativas pobres. Nas explicações, os alunos associaram a redução da força com redução na largura e/ou na quantidade de material.

Exemplos
A2G2 – <i>“Ficou bem mais fácil. Isso ocorreu porque ao diminuir a largura da borracha pela metade, a força aplicada reduziu à metade”.</i>
A5G6 – <i>“Bem mais fácil, pelo fato da quantidade de material ser menor”.</i>

A resposta ruim, também com apenas 2,78%, foi aquela que não apresentou justificativas para o efeito observado.

Exemplo
A4G1 – <i>“Percebi que ficou mais fácil de produzir deformações”.</i>

Apesar de um aluno citar o signo Módulo de Young na questão 04, foi só na questão 05 que este signo apareceu com maior frequência. Na questão 05, os alunos foram interrogados a respeito do que aconteceria ao curvar uma barra feita de aço. Nesta questão, percebemos que trinta e dois alunos expressaram corretamente o conceito Módulo de Young em suas respostas. Nesse momento, confirmamos que o signo Módulo de Young tornou-se o meio fundamental para

orientar o pensamento. Segundo Vigotski (1999), a palavra é o signo usado para formar um conceito, convertendo em sua representação simbólica.

Na questão 05, 88,89% das respostas foram ótimas, muito boas ou boas e apenas 11,11% foram regulares ou ruins. Os resultados obtidos nesta questão se mostraram muito favoráveis, sendo que 50% das respostas se classificaram como ótimas e dentre os 36 (trinta e seis) alunos avaliados, 32 (trinta e dois) utilizaram o Módulo de Young em suas respostas.

TABELA 10

Resultados da questão 05

Classificação	Nº de alunos
Ótima	18
Muito boa	9
Boa	5
Regular	3
Ruim	1

Fonte: Dados da pesquisa

Resultados da questão 05

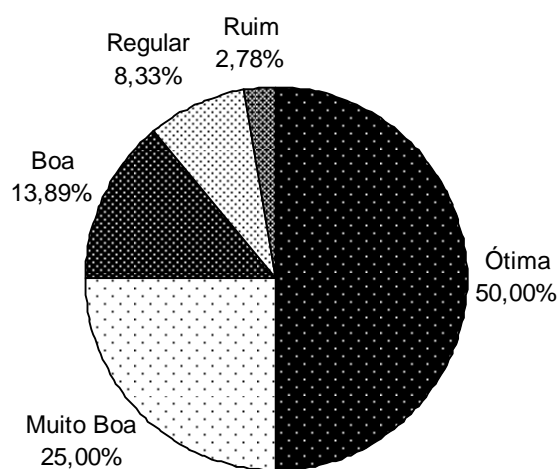


Figura 23: Representação gráfica dos resultados da questão 05

Fonte: Dados da pesquisa

Dentre as respostas analisadas, 50% se classificaram como ótimas. Nestas respostas, os alunos justificaram a situação apresentada relacionando maior Módulo de Young com maiores tensões.

Exemplos

A2G3 – “O esforço será maior. Sendo que o aço possui maior Módulo de Young do que a borracha, para se obter a mesma deformação, devem-se exercer tensões maiores”.

A6G5 – “Precisaria de uma tensão maior para curvar o aço, pois seu Módulo de Young é bem maior”.

As respostas consideradas como muito boas, representando 25% do total, foram aquelas que justificaram a proposição apresentada relacionando maior Módulo de Young com maiores forças.

Exemplos
A2G5 – “Seria necessário um esforço maior, pois o Módulo de Young é bem maior para o aço e precisaria de uma força maior”.
A4G6 – “O Módulo de Young do aço é maior, por isso exige mais força para encurvá-lo”.

As respostas boas foram aquelas que somente citaram que o Módulo de Young do aço é maior do que o da borracha. O percentual de alunos que apresentaram este tipo de resposta corresponde a 13,89%.

Exemplos
A1G3 – “Haveria maior dificuldade para deformar o aço, porque o Módulo de Young do aço é maior do que o da borracha”.
A4G4 – “Deverá ser maior, pois o Módulo de Young do aço é maior”.

Com 8,33%, as respostas regulares justificaram simplesmente que o aço era menos maleável do que a borracha.

Exemplos
A1G1 – “A força seria maior devido ao uso de um produto bem menos maleável do que a borracha”.
A3G1 – “O aço é menos maleável, por isso ele é mais difícil de esticar”.

Com um percentual de 2,78%, a resposta ruim foi aquela que não apresentou nenhuma justificativa.

Exemplo
A5G1 – “Seria muito mais difícil de deformar”.

Tomando os resultados obtidos e analisados nesta seção, estamos convencidos de que, no geral, o uso das práticas no laboratório possibilitou o desenvolvimento dos conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson nos

alunos. Contudo, acreditamos na necessidade de mais exercícios e/ou discussões que possam contribuir para a consolidação do processo de interiorização dos conceitos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusões

Apresentamos neste trabalho uma seqüência de atividades experimentais para o laboratório de Física nos cursos de Engenharia. Um ponto positivo que observamos com a aplicação desta proposta foi que os problemas abordaram temas adequados e exigiram um nível de conhecimento adequado ao interesse e ao estágio de desenvolvimento cognitivo dos participantes da pesquisa.

Notamos que ao atuar na zona de desenvolvimento proximal (VIGOTSKI, 2001), a aprendizagem e o desenvolvimento intelectual dos alunos foram favorecidos. Podemos afirmar que os experimentos foram acessíveis aos alunos, permitindo o levantamento dos problemas e análise das situações propostas em detalhes. Nesse sentido, concordamos com Silva (2002) ao esclarecer que os experimentos propostos não devem ser demasiadamente complexos para os alunos. Isto significa que ao problematizar uma situação, os alunos precisam ter noção clara de seu propósito.

Uma das finalidades do trabalho foi despertar o desenvolvimento das habilidades de análise e interpretação das propriedades dos corpos deformáveis através de problemas práticos. Com esta abordagem, podemos afirmar que foi possível instigar nos alunos o raciocínio, o espírito investigativo, a cooperação mútua na solução dos problemas e a troca de conhecimentos. Outra contribuição que já esperávamos e foi confirmada, foi a tese de que o ensino experimental poderia ser planejado para oferecer estratégias favoráveis à apropriação dos conceitos físicos. Percebemos ainda que a teoria sócio-histórica de Vigotski apontou contribuições significativas para o laboratório estruturado no Ensino de Física. A manipulação dos materiais no laboratório tornou-se pertinente pelo fato de que na medida em que os alunos executaram as práticas, surgiram questionamentos suscitando várias discussões no grupo.

Com a análise dos resultados encontrados com a aplicação das atividades experimentais, comprovamos que a aprendizagem se concretizou por meio da

interiorização dos signos, sendo que novas estruturas de pensamento se originaram nas interações entre os alunos e se internalizaram por meio da linguagem.

Por meio de uma proposição de investigações hierarquizadas resgatando as idéias dos alunos e adequando-as ao contexto científico foi possível dar sustentabilidade no desenvolvimento das atividades experimentais. Considerando o grande envolvimento e empenho da turma na execução das atividades, o uso do laboratório se mostrou como elemento favorecedor da transposição didática e serviu para motivar os alunos.

Ao abordar experimentalmente um estudo dos corpos deformáveis, esperávamos que os alunos pudessem perceber a necessidade de se introduzir novos parâmetros que fossem mais adequados para tratar o comportamento elástico dos materiais. Pela análise que fizemos no capítulo anterior, ficou evidente que o objetivo de formar novos conceitos inserindo-se novos signos a partir da conscientização dos alunos foi alcançado com sucesso.

Constatamos ainda, que os recursos computacionais permitiram que os alunos pudessem tratar os dados com maior praticidade, dispondo-se assim de maior tempo para entendimento dos problemas abordados nos experimentos. Consideramos este aspecto positivo, pois precisamos preparar nossos alunos para trabalharem não somente com os conteúdos específicos de Física, mas também com as novas ferramentas de informática. No tocante à infra-estrutura, podemos dizer que houve tranquilidade para realização dos experimentos. O UNIFOR-MG disponibilizou o laboratório de Física e providenciou todo o material necessário para as práticas.

A avaliação da aprendizagem dos conceitos com o enfrentamento da situação problematizada na atividade de desafio também é um ponto que merece nossa atenção. Muitos alunos, após a realização das atividades experimentais, apresentaram melhoria no seu vocabulário científico. Com base na análise das respostas abertas da atividade de desafio concluímos que:

- i – Muitos alunos passaram a aplicar as propriedades trabalhadas no estiramento das gominhas para explicar um novo problema envolvendo o arqueamento da borracha;
- ii – Muitos alunos conseguiram justificar porque surgiu um inchaço na borracha ao ser encurvada;

- iii – Alguns alunos passaram a utilizar o signo Coeficiente de Poisson em suas explicações;
- iv – Muitos alunos visualizaram a relação entre força e área transversal na problematização envolvendo o arqueamento da borracha;
- v – A maioria dos alunos passou a utilizar o signo Módulo de Young em suas argumentações.

No geral, podemos concluir que a estratégia de formar os conceitos Módulo de Young e Coeficiente de Poisson realmente foi válida. Algumas limitações em nossa pesquisa, decorrentes da metodologia adotada, não nos permitem afirmar que o uso isolado destas atividades experimentais dispensa outros métodos de ensino. Contudo em diversas publicações nacionais¹⁸, a adoção de atividades voltadas para o laboratório tem sido indicada como uma metodologia relevante para melhorar o Ensino de Física. Levando em conta os bons resultados aqui alcançados, este trabalho se mostra como uma boa alternativa metodológica capaz de desenvolver conceitos científicos nos alunos. Com este trabalho, temos a expectativa de ter lançado uma importante contribuição para os professores de Física que atuam nos cursos de Engenharia.

7.2 Pesquisas futuras

Lembramos ainda que alguns problemas que surgiram ao longo de nossa pesquisa não faziam parte do escopo do trabalho. Diante disso, apontamos novas investigações que são dignas de pesquisas futuras:

- i – Análise das concepções alternativas em experimentos. Ambigüidades nas representações dos alunos;
- ii – Os efeitos de intervenção do professor numa atividade experimental. Suas vantagens e desvantagens;
- iii – Estudo comparativo das atividades de laboratório com outras metodologias, tais como: laboratório virtual, aula expositiva, etc.

¹⁸ Em diversos encontros como EPEF, ENPEC e SNEF e revistas nacionais como CBEF e RBEF a importância do laboratório no Ensino de Física tem sido a temática de várias publicações.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, José de Pinho. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **CBEF**, v.17, n.2:p.174-188, ago. 2000.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **RBEF**,v.25, n.2:p.176-194, Jun. 2003.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Ed. 70, 2004. 223p.

BAROLLI, Elisabeth; FRANZONI, Marisa. Efeitos de intervenções docentes na condução de uma atividade experimental em um laboratório didático de física. **CBEF**, v.25, n.1, p.35-54, abr. 2008.

BAZZO, Walter Antônio; PEREIRA, Luiz Teixeira. **Introdução à Engenharia**. 6ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

BEER, Ferdinand P. e JOHNSTON JR., E. Russell. **Resistência dos materiais**. 3ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2006.

BONADIMAN, Hélio; NOMENMACHER, Sandra E. B. O gostar e o aprender no Ensino de Física: Uma proposta metodológica. **CBEF**, v.24, n.2, p.194-223, ago. 2007.

BORGES, A. Tarcísio. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **CBEF**, v19, n3:291-313, dez.2002.

CAMPOS, Geraldo Maia. **Estatística prática para docentes e pós-graduandos**. Ribeirão Preto: FORPUSP, 1997. Disponível na Internet: http://www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro.html.

CARAM JÚNIOR, Rubens. **Estrutura e propriedades dos materiais**. Campinas: Departamento de engenharia de materiais da UNICAMP, 2000. Cap. 10, p.125-138. (Apostila do curso de engenharia mecânica). Disponível na Internet: <http://www.fem.unicamp.br/~caram/capitulo10.pdf>.

CHAVES, Alaor. **Física**. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001. 4 vols.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. **Parecer CNE/CES 1362/2002**. Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Despacho do Ministro em 22/2/2002, publicado no Diário Oficial da União de 25/2/2002, Seção 1, p.17. Disponível na Internet: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. **Resolução CNE/CES 11/2002**. Estabelece as Diretrizes Curriculares para os Cursos Graduação em Engenharia. Datado de 11/03/2002, publicado no Diário Oficial da União de 09/04/2002, Seção 1, p.32. Disponível na Internet: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física**. 1ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2008. 4 vols.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 4 vols.

HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos Materiais**. 5ª edição. São Paulo: Pearson – Prentice Hall, 2006.

LABURÚ, Carlos Eduardo. Fundamentos para um experimento cativante. **CBEF**, v23, n3:382-404, dez.2006.

MAINARDES, Jefferson; PINO, Angel. Publicações brasileiras na perspectiva vigotskiana. **Educação & Sociedade**, v21. n71, jul.2000. Disponível na Internet: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-73302000000200012.

MARINELI, Fábio; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física. **RBEF**, v.28, n.4, p.497-505, dez. 2006.

MEIRIEU, Philippe. **Aprender... sim, mas como?** Tradução de Vanise Pereira Dresch. 7ª edição. Porto Alegre: Artmed, 1998.

MOREIRA, Marco Antônio; GONÇALVES, Ennio Sallaberry. Laboratório estruturado versus não estruturado: Um estudo comparativo em um curso convencional. **RBEF**, v.10, n.2:389-402, jun.1980.

NUSSENZVEIG, Hersh Moysés. **Curso de Física Básica**. 4ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2002. 4 vols.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Pró-Reitoria de Graduação. Sistema de Bibliotecas. Padrão PUC Minas de normalização: normas da ABNT para apresentação de trabalhos científicos, teses, dissertações e monografias. Belo Horizonte, 2006. Disponível na Internet: <http://www.pucminas.br/biblioteca/>.

RIBEIRO, Milton de Souza; FREITAS, Dagoberto da Silva; MIRANDA, Durval Eusíquio de. A problemática do Ensino de Laboratório de Física na UEFS. **RBEF**, v.19, n.4, p.444-447, dez.1997.

ROCHA FILHO, João Bernardes da; SALAMI, Marcos Alfredo; LIMA, Valderez Marina do Rosário. Observando a física da não-linearidade em um experimento simples. **CBEF**, v.24, n.2, p.224-232, ago. 2007.

ROSA, Cleci T. W. . Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de Física na UPF. **Ensaio**, Belo Horizonte - MG, v.5, n.2, p.13-27, 2003.

SERWAY, Raymond A., JEWETT, John W. **Princípios de física**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 4 vols.

SILVA, J. Humberto Dias da. Algumas considerações sobre o ensino e aprendizagem na disciplina de laboratório de eletromagnetismo. **RBEF**, v.24, n.4, p.471-476, dez. 2002.

TIPLER, Paul Allen. **Física para cientistas e engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 3 vols.

VILLANI, Alberto; CARVALHO, Lizete Maria Orquiza de. Representações mentais e experimentos qualitativos. **RBEF**, v.15, n.1, p.101-117, mar. 1993.

VIGOTSKI, Lev S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. 1ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VIGOTSKI, Lev S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. Tradução de José Cipolla Neto, Luís Silveira Menna Barreto e Solange Castro Afeche. 6ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

VIGOTSKI, Lev S. **Pensamento e linguagem**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 2ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física: Mecânica**. 10ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ORIENTAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA MICROCAL ORIGIN

- Plotando gráficos

Para plotar gráficos no programa ORIGIN digite (ou importe) os dados na tabela, e em seguida, dirija-se para PLOT, selecione SCATTER e indique a associação entre a coluna de dados e o respectivo eixo. Tenha atenção em indicar o título, nomes das grandezas em cada eixo com suas respectivas unidades.

- Obtendo regressões

Uma vez que você tenha na tela um gráfico, dirija-se ao menu ANALYSIS, selecione FIT POLYNOMIAL. Na janela seguinte indique em ORDER o grau da função desejada e para obter a respectiva função que relaciona as grandezas relacionadas, marque a opção SHOW FORMULA ON PLOT.

- Plotando vários gráficos numa mesma folha

No programa ORIGIN é possível representar dois ou mais gráficos, um ao lado do outro. Para tanto, obtenha na tela os gráficos e em seguida, dirija-se para EDIT, selecione MERGE ALL PAGES e confirme a janela seguinte com a resposta SIM.

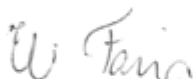
APÊNDICE B – DOCUMENTO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DO RELATÓRIO DE ATIVIDADES E ARGUMENTAÇÕES APRESENTADAS PELOS ALUNOS

AUTORIZAÇÃO

Prezados estudantes:

Referindo-se ao relatório das atividades realizadas no laboratório de Física, no mês de junho do corrente ano, assim como também às respostas abertas apresentadas na atividade de desafio, venho por meio deste documento, solicitar autorização para utilizar o conteúdo mencionado em meu trabalho de Mestrado Profissional em Ensino de Física, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Formiga, 17 de agosto de 2009



Eli Faria (Aluno do UNIFOR-MG)



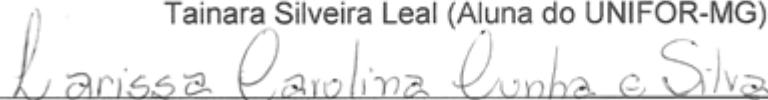
João Ferreira de Oliveira Júnior (Aluno do UNIFOR-MG)



Marciana Moraes Almeida (Aluna do UNIFOR-MG)



Tainara Silveira Leal (Aluna do UNIFOR-MG)



Larissa Carolina Cunha e Silva (Aluna do UNIFOR-MG)

Desde já agradeço a participação.

Tiago Clarimundo Ramos

APÊNDICE C – RELAÇÃO COMPLETA DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS ÀS QUESTÕES DA ATIVIDADE DE DESAFIO

Mostramos aqui a relação completa das respostas que os alunos apresentaram na atividade de desafio com a respectiva classificação recebida. Todas as respostas foram transcritas na íntegra. Na identificação dos alunos, leia A1G1 como Aluno número 1 do Grupo 1, A3G7 como aluno número 3 do grupo 7, etc.

Respostas da questão 01		
Na parte inferior, a força atua do centro para as bordas e na parte superior, a força age das bordas para o centro. Esticando embaixo e comprimindo em cima.	Ótima	A1G1
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Atua em forma de compressão na parte superior e na parte inferior atua esticando a borracha fazendo com que sofra um alongamento.	Ótima	A2G1
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte superior atua das pontas para o centro na parte inferior do centro para as pontas.	Muito boa	A3G1
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força que produz tal alongamento na parte inferior atua do meio da borracha para as bordas e a que produz a compressão na parte superior atua das bordas para o centro.	Ótima	A4G1
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte inferior a força atua do centro para as laterais e na parte superior atua das laterais para o centro.	Muito boa	A5G1
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força atuou na parte superior, no sentido de produzir uma compressão e na parte inferior, atuou no sentido de esticar.	Boa	A1G2
A representação das forças na figura ficou incompleta.		
Ao flexionar, as forças estão sendo aplicadas de baixo para	Ruim	A2G2

cima.		
A representação das forças na figura ficou incorreta.		
A força aplicada na parte superior produz um aumento na área transversal e a força aplicada em baixo produz uma redução na área transversal sob uma tensão maior.	Boa	A3G2
A representação das forças na figura ficou incompleta.		
Observando a borracha em duas partes, notei que a força na parte inferior aumentou o comprimento tracionando as extremidades para fora e na parte superior impôs uma compressão.	Regular	A4G2
A representação das forças na figura ficou incorreta.		
Em cima, as forças atuam comprimindo os extremos e em baixo, as forças produzem uma tensão que aumenta o comprimento e reduz a área transversal.	Boa	A5G2
A representação das forças na figura ficou incompleta.		
Na parte inferior, atua esticando e na parte superior, comprimindo a borracha.	Ótima	A1G3
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Ao curvar a borracha há uma força em cima de fora para dentro, ao mesmo tempo, em baixo, estica.	Muito boa	A2G3
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Existe uma força de dentro para fora que estica a parte inferior e uma força de fora para dentro que comprime sua parte superior.	Ótima	A3G3
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte superior, atua com uma força de fora para dentro e na parte inferior, atua com uma força de dentro para fora.	Muito boa	A4G3
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
As forças que estão na parte inferior são exercidas para fora e na parte superior são exercidas para dentro.	Regular	A5G3
A representação das forças na figura ficou incorreta.		
Na parte inferior, produz uma tensão de estiramento e na parte superior, produz uma compressão.	Ótima	A1G4

A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Ao flexionar a borracha para cima, podemos observar que a parte inferior estica e a parte superior é comprimida.	Ótima	A2G4
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte inferior, as forças são aplicadas para fora e na parte superior, são aplicadas para dentro comprimindo a borracha.	Ótima	A3G4
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte inferior do meio para fora e na parte superior de fora para o meio da borracha.	Muito boa	A4G4
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Atuam para fora estirando a borracha em baixo e para dentro comprimindo a borracha em cima.	Ótima	A5G4
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Com a borracha flexionada existem forças que tracionam a parte inferior e forças que comprimem a parte superior.	Boa	A6G4
A representação das forças na figura ficou incompleta.		
Na parte inferior da borracha, as forças atuam do centro às bordas aumentando o comprimento e na parte superior, as forças atuam das bordas ao centro, provocando contração.	Boa	A1G5
A representação das forças na figura ficou incompleta.		
Na parte inferior da borracha, a força atua do centro para fora e na parte superior ocorre o contrário, de fora para o centro.	Muito boa	A2G5
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força atua do centro para os extremos na parte inferior e na parte superior dos extremos para o centro da borracha.	Muito boa	A3G5
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte inferior, a força atua do centro para a lateral e na parte superior, a força atua da lateral para o centro.	Muito boa	A4G5
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte inferior, a força atua do centro para as bordas e na parte superior, a força atua das bordas para o centro.	Muito boa	A5G5
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte inferior, atua do centro para a lateral e na parte	Muito boa	A6G5

superior atua da lateral para o centro.		
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força que atua na parte superior é de compressão e na parte inferior é de distensão.	Ótima	A1G6
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força que reduz o comprimento na parte superior atua comprimindo e a força que atua na parte inferior atua esticando.	Ótima	A2G6
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força que atua na parte superior comprime a borracha e a força que atua na parte inferior estica reduzindo a área transversal.	Ótima	A3G6
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força na parte de cima atua para comprimir e na parte de baixo para alongar.	Ótima	A4G6
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
A força na parte inferior estica a borracha, por isso há aumento no comprimento reduzindo a espessura. Já na parte superior, ao contrário, a borracha é comprimida e sua espessura aumenta.	Ótima	A5G6
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Uma força que distende na parte inferior e uma força que comprime na parte superior.	Ótima	A1G7
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte superior provoca compressão e na parte inferior estica a borracha.	Boa	A2G7
A representação das forças na figura ficou incompleta.		
Em cima, as forças atuam dos extremos para o centro e em baixo, as forças atuam do centro para os extremos.	Muito boa	A3G7
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		
Na parte superior, as forças comprimem as laterais e na parte inferior, as forças são exercidas esticando a borracha.	Ótima	A4G7
A representação das forças na figura foi feita corretamente.		

Respostas da questão 02		
A medida z_{superior} aumenta e z_{inferior} diminui, pois a parte superior é comprimida e assim aumenta a área transversal e a parte inferior é alongada e diminui a área transversal.	Muito boa	A1G1
Após curvar a borracha, a parte inferior sofre um decréscimo e a parte superior um acréscimo na largura z .	Ruim	A2G1
z_{superior} aumenta e z_{inferior} diminui.	Ruim	A3G1
Após curvar a borracha, a parte superior sofre um aumento na largura enquanto a parte inferior sofre uma redução.	Ruim	A4G1
A parte superior é comprimida e assim aumenta a largura e a parte inferior é alongada e diminui a largura.	Muito boa	A5G1
Na parte superior, a largura aumenta devido o aumento de área transversal provocado pela compressão e na parte inferior, a largura diminui devido a redução da área transversal quando a borracha é esticada.	Muito boa	A1G2
Na parte inferior, a largura reduziu porque a força aplicada produziu uma redução da área transversal e na parte superior, a largura aumentou porque a força aplicada aumentou a área transversal.	Boa	A2G2
A parte superior aumenta porque em relação à parte neutra, esta sofre uma compressão e a parte inferior diminui, pois em relação à parte neutra, esta sofre uma tensão de estiramento.	Muito boa	A3G2
z_{superior} aumentou e z_{inferior} diminuiu. Percebe-se que se L aumenta, z diminui e se L diminui z aumenta. Isto confirma que o Coeficiente de Poisson é maior do que zero.	Boa	A4G2
A largura superior aumentou porque o comprimento diminuiu e a largura inferior reduziu porque o comprimento aumentou.	Boa	A5G2
Quando encurvou a borracha para cima, a parte de baixo esticou e sua largura diminuiu. Na parte de cima da borracha o comprimento reduziu fazendo com que ela aumentasse a largura.	Boa	A1G3
Na parte inferior, a largura diminui devido à redução da área transversal e na parte superior, a largura aumenta devido ao	Boa	A2G3

aumento na área transversal.		
Na parte superior, a largura aumentou porque houve um aumento na área transversal e na parte inferior a largura reduziu porque houve uma redução na área transversal.	Boa	A3G3
Ao curvar a borracha z_{superior} aumenta devido a compressão e z_{inferior} diminui porque ao esticar fica mais fino.	Muito boa	A4G3
Na parte inferior a largura diminui e na parte superior, a largura aumenta. Isto acontece devido, respectivamente, ao estiramento e à compressão.	Muito boa	A5G3
Ocorrendo a compressão na parte superior ela alarga, já na parte inferior ela estica e afina. Se não afinasse nem se alargasse, o material teria um Coeficiente de Poisson igual a zero.	Ótima	A1G4
Ao encurvar a área transversal e a largura inferior diminuem e a área transversal e a largura superior aumentam. Neste caso, a borracha apresenta um Coeficiente de Poisson maior que zero.	Boa	A2G4
Quando a borracha é flexionada, a parte inferior sofre um estiramento ficando com largura menor e a parte superior sofre uma compressão aumentando a largura.	Muito boa	A3G4
A largura na parte superior aumenta e na parte inferior sofre um estiramento diminuindo a área transversal e a largura.	Boa	A4G4
Alongando a parte inferior, ela sofre uma redução na largura e comprimindo a parte superior, ela sofre um alargamento.	Muito boa	A5G4
A parte inferior sofre um alongamento, diminuindo a largura e já na parte superior, a borracha sofre uma compressão e aumenta a largura.	Muito boa	A6G4
Com o curvar da borracha, houve uma diminuição do comprimento (L) superior e um aumento do comprimento (L) inferior, o que provoca no eixo z um estreitamento em baixo e um aumento na largura em cima.	Boa	A1G5
Ao curvar para cima, a parte superior aumenta a largura e a inferior reduz.	Ruim	A2G5

Quando encurvamos a borracha para cima, a largura inferior diminui porque em baixo estamos esticando e a parte superior aumenta a largura porque estamos comprimindo.	Muito boa	A3G5
A borracha quando encurvada para cima fica com a largura inferior reduzida porque o comprimento aumenta e na parte superior a largura aumenta porque o comprimento diminui.	Boa	A4G5
Ao curvar, comprimimos a borracha em cima e a largura aumenta e alongamos em baixo e a largura diminui.	Muito boa	A5G5
Quando curvamos, comprimimos a borracha na parte superior e a largura aumenta enquanto esticamos a parte inferior e a largura diminui.	Muito boa	A6G5
No z_{superior} , o que podemos notar é que alarga e o z_{inferior} diminuiu.	Ruim	A1G6
A medida de z na parte superior aumenta e na parte inferior diminui. Isso ocorre porque a borracha se deforma facilmente.	Ruim	A2G6
Quando a borracha é flexionada para cima, o z_{superior} aumenta e o z_{inferior} diminuiu, devido às deformações que ocorrem nos comprimentos superior e inferior.	Boa	A3G6
Na parte inferior, z reduziu e na parte superior, z aumentou, porque a área transversal modificou.	Regular	A4G6
A medida z na parte de cima aumenta, pois ocorre compressão e em baixo reduz devido ao alongamento.	Muito boa	A5G6
A largura superior aumenta, pois quanto menor o comprimento, maior será a largura e na parte inferior a largura diminui, pois quanto maior o comprimento, menor fica sua largura.	Boa	A1G7
z_{superior} aumenta e z_{inferior} diminui. Quando a parte superior se comprime, a área transversal superior aumenta e quando a parte inferior estica, sua área transversal inferior diminui.	Muito boa	A2G7
A parte superior se alargou, pois o comprimento reduziu e na parte inferior, a largura reduziu devido ao aumento no comprimento.	Boa	A3G7

Na parte superior, z aumenta pela compressão e na parte inferior, z diminui pelo alongamento. Sabendo que o Coeficiente de Poisson da borracha não é zero, se L reduzir, z tem que aumentar e se L aumentar, z tem que reduzir.	Ótima	A4G7
---	-------	------

Respostas da questão 03		
Com a contração sofrida surge esse inchaço na parte superior e ao retrain a parte inferior estica e assim torna-se menor.	Regular	A1G1
Porque houve uma contração na parte de cima.	Regular	A2G1
A parte de cima é comprimida e aumenta a área transversal, enquanto a parte de baixo estica ficando com a área transversal menor.	Boa	A3G1
O inchaço ocorreu porque houve uma compressão na parte superior e o Coeficiente de Poisson da borracha não é zero.	Boa	A4G1
Ela incha a parte superior porque o volume que a parte inferior perde é passado para a parte superior.	Ruim	A5G1
Como houve uma aplicação de força no sentido de diminuir a área transversal na parte inferior, esta perda será recompensada na parte superior.	Ruim	A1G2
Inchou na parte superior e reduziu a parte inferior porque houve uma força de baixo para cima. Da mesma forma, se colocar a borracha em uma prensa, ela inchará para os lados.	Ruim	A2G2
Como há uma aplicação de força no sentido de diminuir a área transversal inferior, esta perda será compensada com o aumento da parte superior.	Ruim	A3G2
A parte superior sofreu uma compressão que obrigou a borracha a se expandir para cima.	Muito boa	A4G2
Ao aplicar a força em baixo a sua área diminuiu, sendo compensada pelo aumento na área superior.	Ruim	A5G2
Porque ao ser comprimido, o material da parte superior se acumula.	Muito boa	A1G3

Porque ela foi comprimida por uma força de fora para dentro.	Regular	A2G3
Ao curvar a borracha, a tensão exercida sobre a parte superior fez com que ela inchasse. Isto ocorreu porque a borracha apresenta um Coeficiente de Poisson diferente de zero.	Boa	A3G3
Porque ela foi comprimida. Para não inchar, o material deveria apresentar um Coeficiente de Poisson igual a zero.	Boa	A4G3
Ao curvar, a borracha fica submetida a uma tensão maior sobre a parte inferior do que na parte superior.	Ruim	A5G3
A borracha inchou por possuir força de fora para dentro que a comprimiu, aumentando a área transversal superior.	Boa	A1G4
Ela inchou porque na parte superior houve uma compressão.	Regular	A2G4
Porque ao comprimir a borracha, existem forças que atuam de forma que a borracha fica mais alta e mais larga em cima.	Ótima	A3G4
A borracha incha em cima, pois existem forças de fora para dentro que fazem com que as moléculas se sobreponham.	Muito boa	A4G4
Ela inchou na parte superior por ser submetida a uma tensão de compressão.	Regular	A5G4
Ela inchou na parte superior porque na compressão, a área transversal aumentou.	Boa	A6G4
Como há uma redução do comprimento superior, isto causa uma expansão na largura e na espessura e como o Coeficiente de Poisson da borracha está entre 0 e 0,5 ocorre variação no volume.	Ótima	A1G5
Isto ocorre devido à compressão na parte superior. Se diminuir o comprimento, aumentam a largura e a espessura.	Ótima	A2G5
Porque houve compressão e aumento na área transversal na parte superior e alongamento e redução da área transversal na parte inferior.	Boa	A3G5
Ao comprimir a borracha, a largura e a espessura aumentaram em cima fazendo com que inchasse. Isso porque o Coeficiente de Poisson é diferente de zero e menor do que 0,5.	Ótima	A4G5

Porque ocorre uma compressão em cima que faz com a largura e a espessura aumentem.	Ótima	A5G5
Neste caso, com o curvar para cima, diminui o comprimento na parte superior, provocando aumento da largura e espessura. Isto comprova que o Coeficiente de Poisson é diferente de zero.	Ótima	A6G5
Ao se aplicar a força para curvar a borracha a parte superior se comprimiu ficando inchada.	Regular	A1G6
Porque ao curvar para cima houve na parte superior uma força nas extremidades comprimindo-as para dentro, ganhando espessura (inchaço) e largura.	Ótima	A2G6
Ao flexionar a borracha para cima, na parte superior aplica-se força nas extremidades para comprimir causando o inchaço.	Regular	A3G6
Porque ao comprimir, a área transversal aumentou.	Boa	A4G6
Porque curvando a borracha para cima, diminuímos o L superior e como o Coeficiente de Poisson da borracha é diferente de zero, as medidas de largura e espessura aumentam.	Ótima	A5G6
Quando encurvamos a borracha, aplicamos na parte superior forças que reduzem o comprimento e aumentam a área transversal.	Boa	A1G7
Com o aumento da largura superior devido a aplicação de força que comprime a borracha durante o arqueamento, aumenta assim sua área transversal superior, inchando em cima.	Boa	A2G7
Porque o comprimento da parte de cima reduziu e dessa forma, a largura e a espessura da parte superior expandiram.	Ótima	A3G7
Quando a borracha se encurva, a área transversal superior aumenta, inchando a parte superior. Na parte inferior, a área transversal diminui, ficando mais fino.	Boa	A4G7

Respostas da questão 04

Mais fácil, pois a área transversal trabalhada é menor e assim fica mais maleável.	Muito boa	A1G1
Ficou mais fácil. Ao cortar a borracha ao meio, ficou mais maleável.	Regular	A2G1
Mais fácil, porque houve redução da área transversal.	Muito boa	A3G1
Percebi que ficou mais fácil de produzir deformações.	Ruim	A4G1
Mais fácil, pois a área transversal reduz à metade.	Muito boa	A5G1
Ficou mais fácil, pois a área transversal do material deformado diminuiu.	Muito boa	A1G2
Ficou bem mais fácil. Isso ocorreu porque ao diminuir a largura da borracha pela metade, a força aplicada reduziu à metade.	Regular	A2G2
Diminuindo-se a área transversal da borracha, percebe-se que agora para realizar uma deformação semelhante é necessária uma força menor.	Ótima	A3G2
Fica mais fácil, porque diminuiu a área transversal.	Muito boa	A4G2
Ficou mais fácil. Como a área transversal do material diminuiu, a força exigida foi menor.	Ótima	A5G2
Mais fácil, porque a área transversal diminui.	Muito boa	A1G3
Ficou mais fácil de produzir deformação, pois a área transversal reduziu.	Muito boa	A2G3
Mais fácil, porque ao diminuir sua área transversal, a força pode ser menor.	Ótima	A3G3
Mais fácil, pois a força é diretamente proporcional à área transversal.	Ótima	A4G3
Mais fácil. A largura sendo reduzida à metade, a força pode ser menor, pois a tensão é a razão entre força e área.	Boa	A5G3
Ficou mais fácil de ser encurvada, porque a área transversal diminuiu.	Muito boa	A1G4
Ficou mais fácil, porque a área transversal reduziu à metade.	Muito boa	A2G4
Cortando a borracha ao meio, diminuiu a área transversal ficando mais fácil de curvar.	Muito boa	A3G4
Mais fácil, pois a resistência oferecida pela área transversal é	Muito boa	A4G4

menor.		
Mais fácil, porque a área transversal diminuiu.	Muito boa	A5G4
Ficou mais fácil devido à redução da área transversal.	Muito boa	A6G4
Com a redução da área transversal da borracha, se tornou mais fácil curvÁ-la, pois a força necessária à deformação se tornou menor.	Ótima	A1G5
Observei que ficou mais fácil de provocar o mesmo curvar, pois sua área transversal ficou menor.	Muito boa	A2G5
Ficou mais fácil, porque a área transversal diminuiu fazendo com que a força exigida fosse menor.	Ótima	A3G5
Mais fácil, porque a área transversal diminuiu.	Muito boa	A4G5
Ficou mais fácil. Como sua área transversal diminuiu, resultou em uma força menor para obter o mesmo curvar anterior.	Ótima	A5G5
Ficou mais fácil, pois a área transversal diminuiu.	Muito boa	A6G5
Mais fácil, pois sua área transversal de atuação da tensão é menor.	Muito boa	A1G6
Ficou mais fácil por causa da redução em sua área transversal de atuação.	Muito boa	A2G6
Mais fácil, porque a área transversal da borracha ficou menor. Como a área transversal é menor, a força aplicada também é menor.	Ótima	A3G6
Ficou mais flexível, pois diminuiu a área transversal.	Muito boa	A4G6
Bem mais fácil, pelo fato da quantidade de material ser menor.	Regular	A5G6
Ficou mais fácil, pois a área transversal de atuação da força é menor, fazendo com que a borracha se torne mais maleável.	Muito boa	A1G7
Mais fácil, porque a área transversal é menor.	Muito boa	A2G7
A borracha ficou mais maleável, mas o Módulo de Young é o mesmo. Percebi que sem alterar o material, quando a área transversal reduz, a força aplicada pode ser menor.	Ótima	A3G7
Ficou mais fácil. A força pode ser menor por ter reduzido a	Ótima	A4G7

área transversal.		
-------------------	--	--

Respostas da questão 05		
A força seria maior devido ao uso de um produto bem menos maleável do que a borracha.	Regular	A1G1
Exigiria uma força maior já que o aço é menos maleável que a borracha. A borracha apresenta Módulo de Young baixo, enquanto o aço possui Módulo de Young muito maior.	Muito boa	A2G1
O aço é menos maleável, por isso ele é mais difícil de esticar.	Regular	A3G1
Teria que fazer mais esforço, porque o aço é um material mais difícil de deformar.	Regular	A4G1
Seria muito mais difícil de deformar.	Ruim	A5G1
Será necessária uma força bem maior, isto ocorre, pois o Módulo de Young do aço é bem maior.	Muito boa	A1G2
Teria que aplicar uma força bem maior, pois o aço não chega nem perto da borracha em termos de apresentar deformação. O aço possui um Módulo de Young muito maior do que a borracha.	Muito boa	A2G2
Necessita de forças bem maiores, pois o Módulo de Young do aço é bem elevado.	Muito boa	A3G2
O esforço para deformar o aço seria maior pelo fato de que o Módulo de Young é alto.	Boa	A4G2
Seria bem maior, pois possuindo um Módulo de Young maior, as tensões para tal ato seriam também maiores.	Ótima	A5G2
Haveria maior dificuldade para deformar o aço, porque o Módulo de Young do aço é maior do que o da borracha.	Boa	A1G3
O esforço será maior, sendo que o aço possui maior Módulo de Young do que a borracha, pois para se obter a mesma deformação, devem-se exercer tensões maiores.	Ótima	A2G3
Deverá ser maior. Devido o Módulo de Young ser alto, exige tensões altas para realizar deformações.	Ótima	A3G3
Mais difícil. Para o Módulo de Young é muito alto, mais do	Ótima	A4G3

que o da borracha e, portanto, precisa de tensões muito grandes.		
Maior, pois o Módulo de Young é maior, onde terão tensões muito maiores do que para deformar a borracha.	Ótima	A5G3
O Módulo de Young do aço é maior, então é preciso submeter uma tensão maior para obter a deformação que obteve na borracha.	Ótima	A1G4
Exigirá uma tensão maior, porque o Módulo de Young do aço é maior.	Ótima	A2G4
O Módulo de Young do aço é maior e por isso exige uma tensão maior do que na borracha.	Ótima	A3G4
Deverá ser maior, pois o Módulo de Young do aço é maior.	Boa	A4G4
Seria necessário um esforço maior, porque o aço possui Módulo de Young maior do que a borracha.	Boa	A5G4
Sendo o Módulo de Young para o aço maior do que para a borracha, terá que exercer tensões maiores para deformá-lo.	Ótima	A6G4
O esforço seria maior. Já que o Módulo de Young do aço é maior do que o Módulo de Young da borracha, torna-se necessária uma tensão maior para produzir um curvar.	Ótima	A1G5
Seria necessário um esforço maior, pois o Módulo de Young é bem maior para o aço e precisaria de uma força maior.	Muito boa	A2G5
O esforço seria bem maior, pois o Módulo de Young do aço é bem maior do que o da borracha.	Boa	A3G5
Mais difícil, pois como o material é diferente, teríamos que fazer um esforço diferente. No caso do aço, o Módulo de Young é muito grande e precisaríamos de tensões maiores para encurvá-lo.	Ótima	A4G5
O esforço seria maior, porque seu Módulo de Young é maior do que o da borracha. Como a tensão teria que ser mais alta, resultou em uma maior força.	Ótima	A5G5
Precisaria de uma tensão maior para curvar o aço, pois seu Módulo de Young é bem maior.	Ótima	A6G5
Com uma barra de aço, o curvar não seria fácil, pois o aço é	Ótima	A1G6

bem resistente e apresenta um Módulo de Young muito maior do que o da borracha. A tensão a ser fornecida deveria ser bem maior.		
O Módulo de Young do aço é muito maior do que o da borracha, com isso, a força exercida para que ocorram deformações tem que ser muito maior.	Muito boa	A2G6
Se usado o aço, a força aplicada deveria ser maior, pois o Módulo de Young é maior do que o da borracha.	Muito boa	A3G6
O Módulo de Young do aço é maior, por isso exige mais força para encurvá-lo.	Muito boa	A4G6
Será necessária uma força bem maior, porque o Módulo de Young do aço é muito mais alto do que o da borracha.	Muito boa	A5G6
O esforço teria que ser bem maior, pois seu Módulo de Young é muito elevado, sendo necessária maior tensão para encurvar.	Ótima	A1G7
Como o Módulo de Young do aço é maior do que o Módulo de Young da borracha, seria necessária tensão muito grande para curvar o aço.	Ótima	A2G7
O esforço seria bem maior, pois o Módulo de Young do aço é elevado. Dessa maneira, para haver deformação no aço, devem ser aplicadas altas tensões.	Ótima	A3G7
Devido ao aço ter o Módulo de Young bem maior, a tensão para que se consiga esse curvar tem que ser bem grande.	Ótima	A4G7

ANEXOS

ANEXO A – GRADE CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DO UNIFOR-MG

Grade Curricular		
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL		
Disciplina	Período	Carga Horária
Biologia	1	80
Cálculo I	1	60
Computação na Engenharia	1	60
Física I	1	80
Introdução à Engenharia Ambiental	1	60
Química I	1	60
Administração Ambiental	2	60
Cálculo II	2	80
Comunicação e Expressão	2	40
Ecologia Geral	2	60
Física II	2	60
Química II (Analítica)	2	60
Sociologia	2	40
Bioquímica	3	80
Cálculo III	3	60
Cartografia	3	60
Educação Ambiental	3	40
Física III	3	60
Geologia	3	60
Metodologia Científica	3	40
Cálculo Numérico	4	60
Microbiologia Ambiental	4	60
Pedologia	4	60
Química Ambiental	4	60
Resistência dos Materiais	4	60
Sistema de Informação Geográfica (Geoprocessamento)	4	60
Termodinâmica	4	40
Desenho Técnico I	5	80
Economia Ambiental	5	60
Estatística e Probabilidade I	5	60
Projetos de Uso e Conservação do Solo	5	80
Sistemas de Tratamento de Águas e Resíduos I	5	60
Topografia I (Planimetria)	5	60

Atividades Complementares I	6	20
Desenho Técnico II (CAD)	6	40
Estatística e Probabilidade II	6	60
Fenômenos de Transporte	6	60
Mecânica dos Solos	6	60
Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos	6	60
Sistemas de Tratamento de Águas e Resíduos II	6	60
Topografia II (Altimetria)	6	60
Bioclimatologia	7	60
Eletricidade Aplicada	7	40
Hidráulica e Hidrologia I	7	60
Higiene Industrial e Saúde Ambiental	7	60
Legislação e Políticas Ambientais	7	60
Obras Cíveis I	7	60
Psicologia Aplicada ao Trabalho	7	60
Atividades Complementares II	7	20
Atividades Complementares III	8	20
Energia e Meio Ambiente	8	60
Fotogrametria e Fotointerpretação	8	60
Hidráulica e Hidrologia II	8	80
Materiais e Processos de Reciclagem	8	60
Obras Cíveis II	8	60
Recuperação de Áreas Degradadas	8	80
Avaliação de Impactos Ambientais	9	60
Conservação de Recursos Naturais	9	60
Controle de Emissões para Atmosfera	9	60
Engenharia de Segurança no Trabalho	9	60
Manejo de Bacias Hidrográficas	9	60
Orientação de Estágio Supervisionado I	9	40
Sistemas Hidráulicos e Sanitários I	9	60
Atividades Complementares IV	9	20
Estágio Supervisionado I	9	150
Atividades Complementares V	10	20
Epidemiologia e Toxicologia	10	60
Estágio Supervisionado II	10	150
Licenciamento e Auditoria Ambiental	10	60
Orientação de Estágio Supervisionado II	10	40
Planejamento Ambiental Rural e Urbano	10	60
Sistemas Hidráulicos e Sanitários II	10	80
Tópicos em Engenharia Ambiental	10	40
Trabalho de Conclusão de Curso	10	60

ANEXO B – GRADE CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DO UNIFOR-MG

Grade Curricular		
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL		
Disciplina	Período	Carga Horária
Cálculo I	1	80
Computação	1	40
Desenho Técnico I	1	60
Física I	1	60
Geometria Analítica	1	60
Introdução à Engenharia Civil	1	40
Química Geral	1	60
Álgebra Linear	2	60
Cálculo II	2	80
Comunicação e Expressão	2	40
Desenho Técnico II	2	60
Física II	2	60
Metodologia Científica	2	40
Topografia – Planimetria	2	60
Cálculo III	3	80
Desenho Técnico III (CAD)	3	40
Física III	3	60
Geologia	3	60
Hidráulica e Hidrologia I	3	60
Probabilidade e Estatística I	3	40
Topografia – Altimetria	3	60
Cálculo IV	4	60
Hidráulica e Hidrologia II	4	60
Materiais para Construção I	4	40
Mecânica dos Solos I	4	60
Probabilidade e Estatística II	4	60
Resistência dos Materiais I	4	60
Teoria Geral das Fundações	4	60
Cálculo V	5	60
Eletricidade Geral	5	60
Materiais de Construção II	5	60
Mecânica dos Fluidos	5	60
Mecânica dos Solos II	5	40
Resistência dos Materiais II	5	60
Teoria Geral das Estruturas	5	60
Atividades Complementares I	6	20

Bioclimatologia	6	60
Cálculo Numérico	6	40
Canais e Drenagem	6	60
Concreto Armado I	6	80
Economia Aplicada a Construção Civil	6	40
Instalações Elétricas Prediais	6	60
Instalações Hidráulicas Prediais	6	60
Atividades Complementares II	7	20
Concreto Armado II	7	80
Estruturas Metálicas	7	80
Fundamentos de Arquitetura	7	40
Projetos de Pontes	7	80
Psicologia Aplicada ao Trabalho	7	40
Sistemas Hidráulicos Urbanos	7	80
Atividades Complementares III	8	20
Direito do Trabalho	8	40
Estruturas de Madeira	8	80
Gestão Ambiental	8	80
Materiais Alternativos em Construção Civil	8	80
Projetos de Estradas I	8	80
Sociologia	8	40
Administração Aplicada à Engenharia Civil	9	40
Atividades Complementares IV	9	20
Estágio Supervisionado I	9	100
Fundamentos de Engenharia de Transporte	9	80
Orientação de Estágio Supervisionado	9	40
Projetos de Barragens	9	80
Projetos de Estradas II	9	80
Saneamento Ambiental	9	80
Atividades Complementares V	10	20
Estágio Supervisionado II	10	150
Higiene Industrial e Segurança do trabalho	10	80
Segurança e Saúde no Trabalho	10	80
Técnicas de CAD	10	40
Técnicas Gerais de Construção	10	100
Trabalho de Conclusão de Curso	10	100

ANEXO C - GRADE CURRICULAR DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DO UNIFOR-MG

Grade Curricular		
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO		
Disciplina	Período	Carga Horária
Computação I	1	60
Física I	1	80
Introdução à Engenharia de Produção	1	80
Introdução ao Cálculo	1	80
Metodologia Científica	1	40
Química I	1	60
Cálculo I	2	80
Ciência Política	2	40
Computação II	2	80
Física II	2	80
Planejamento Estratégico	2	40
Química II	2	80
Álgebra Linear e Geometria Analítica	3	60
Cálculo II	3	80
Custos de Produção	3	80
Física III	3	80
Modelos de Gestão Organizacional	3	40
Probabilidade	3	60
Cálculo III	4	80
Engenharia Econômica	4	80
Estatística	4	60
Gestão Ambiental	4	40
Resistência dos Materiais	4	60
Termodinâmica	4	80
Cálculo Numérico	5	60
Desenho Técnico	5	40
Eletricidade Aplicada	5	80
Mecânica dos Fluidos	5	60
Sistema de Informação I	5	60
Sistemas Dinâmicos	5	40
Transferência de Calor	5	60
Ciência dos Materiais	6	80
Macro e Microeconomia	6	60
Metrologia	6	40
Racionalização Industrial	6	80

Sistema de Informação II	6	60
Técnicas de CAD	6	80
Controle Estatístico da Qualidade	7	60
Gerenciamento de Transportes	7	80
Instalações Industriais	7	40
Organização e Gerência da Manutenção Industrial	7	80
Pesquisa Operacional I	7	60
Processos de Fabricação	7	80
Administração da Produção	8	60
Arranjo Físico	8	40
Gestão de Projetos I	8	80
Pesquisa Operacional II	8	60
Planejamento e Gestão da Qualidade I	8	80
Projeto do Produto	8	80
Ergonomia e Segurança do Trabalho	9	40
Estágio Supervisionado I	9	150
Gestão de Projetos II	9	40
Orientação de Estágio Supervisionado	9	40
Planejamento e Controle da Produção I	9	80
Planejamento e Gestão da Qualidade II	9	80
Tópicos Especiais em Engenharia de Produção I	9	40
Trabalho de Conclusão de Curso I	9	80
Direito do Trabalho e Previdenciário	10	40
Estágio Supervisionado II	10	150
Licitações Públicas	10	40
Logística e Cadeias de Suprimentos	10	80
Planejamento e Controle da Produção II	10	80
Psicologia Organizacional	10	40
Tópicos Especiais em Engenharia de Produção II	10	40
Trabalho de Conclusão de Curso II	10	80