

PAULO DE OLIVEIRA MACIEL JUNIOR

**O “V” DE GOWIN
NO LABORATÓRIO ESTRUTURADO DE FÍSICA:
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO EM UMA
DISCIPLINA DE FÍSICA EXPERIMENTAL
DA GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

VITÓRIA

2010

PAULO DE OLIVEIRA MACIEL JUNIOR

**O “V” DE GOWIN
NO LABORATÓRIO ESTRUTURADO DE FÍSICA:
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO EM UMA
DISCIPLINA DE FÍSICA EXPERIMENTAL
DA GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Físicas.

Orientador: Prof. Laércio Ferracioli

VITÓRIA

2010

Aos meus pais.

Agradecimentos

Agradeço de coração

a Deus, por eu receber tanta saúde, tanta paz, tantas oportunidades e por me presentear com companhias tão especiais.

aos meus pais, meus maiores amigos, pelo dia-a-dia em busca de saúde e de qualidade de vida sempre com garra e com bom humor. Todas as nossas vitórias, são tantas, são acima de tudo, nossas.

à Ruby, por tanto amor, amizade, carinho e dedicação. Certamente uma das maiores especialistas em “V” de Gowin pelo tanto que me ajudou na conclusão deste trabalho.

à Mariana, ao Gabriel, a Maria e ao Márcio, minha nova família que acompanhou de perto essa empreitada.

ao Ramón e ao André, minhas maiores referências na construção de uma vida acadêmica. Muito obrigado pela amizade incondicional, divertidíssima e sincera. André, a próxima é sua.

aos amigos da UFES, da Física e de outros cursos, que entraram comigo, que entraram depois ou que já estavam lá. Particpei da história da vida de muitos, e todos ajudaram a escrever a minha. Agradecimento especial aos que entendem que nós somos um, um formado de muitos.

ao prof. Ennio Candotti, por me apresentar a Física além das ferramentas.

aos professores Xexéu, Juarez, Tonini, Ennio, Alfredo, Jair, Rogerinho, Julio e Brasil, por mostrarem belezas e desafios das ciências com interpretações únicas.

aos professores Maurício Gomes e Humberto Capai por acreditarem e valorizarem meu trabalho, sempre me ensinando muito fora das salas de aula. Espero voltar a dividir alguns projetos com vocês.

ao prof. Alfredo Gonçalves, meu primeiro orientador, que me ajudou muito no começo da minha vida na academia.

aos amigos do ModeLab, por proporcionarem um ambiente tão saudável, divertido e produtivo. Não devolverei as chaves do laboratório, e vamos continuar trabalhando juntos por bons tempos.

ao prof. Thieberson, que participou diretamente deste trabalho e, está sempre participando das empreitadas no laboratório.

ao prof. Laércio, pela primeira oportunidade como monitor no laboratório que proporcionaria essa dissertação e, pelos últimos dois anos de orientação e colaboração que trarão muitos outros resultados.

à Petrobrás, à CAPES, ao CNPq, à FAPES e ao FACITEC pelo apoio financeiro.

“Não estamos aqui para convencer ninguém, o nosso negócio é chumbo”

- Roland Deschain de Gilead

Sumário

Dedicatória	3
Agradecimentos	4
Epígrafe	6
Sumário	6
Lista de Tabelas	10
Lista de Figuras	11
Resumo	13
1 Introdução	14
1.1 Contexto da Pesquisa	14
1.2 Organização da Dissertação	16
2 Referencial Teórico	17
2.1 Objetivos em uma Disciplina de Física Experimental	17
2.2 Abordagens para o Ensino de Física em Laboratório	21
2.2.1 O Laboratório Programado	22
2.2.2 O Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento	23
2.2.3 O Laboratório sob um Enfoque Epistemológico	24
2.3 Descrição da Abordagem Utilizada	26
2.4 O “V” de Gowin	27
2.5 O “V” de Gowin em uma disciplina de Física Experimental	30

2.6	Estrutura de Avaliação do “V” de Gowin	33
3	Concepções de Estudo	34
3.1	Contexto do Estudo	34
3.1.1	A Física Experimental I do Currículo Antigo	38
3.1.2	A Física Experimental I do Currículo Novo	41
3.2	Questões Básica de Pesquisa	42
3.3	Metodologia	42
3.3.1	Estudo Piloto	43
3.3.1.1	Estruturação do Estudo	43
3.3.1.2	Amostragem	46
3.3.1.3	Coleta de Dados	46
3.3.2	Estudo Principal	47
3.3.2.1	Estruturação do Estudo	48
3.3.2.2	Amostragem	50
3.3.2.3	Coleta de Dados	50
4	Análise de Dados	51
4.1	Metodologia de Análise de Dados	51
4.1.1	Critério de Avaliação para <i>Questão Básica de Pesquisa</i>	52
4.1.2	Critério de Avaliação para <i>Domínio Conceitual</i>	52
4.1.3	Critério de Avaliação para <i>Eventos</i>	54
4.1.4	Critério de Avaliação para <i>Domínio Metodológico</i>	54
4.1.5	Critério de Avaliação para <i>Resposta</i>	56
4.2	Avaliações dos “V”s de Gowin produzidos	57
4.2.1	Análise Longitudinal: Experiências	58
4.2.1.1	Experiência A1 - Soma de Forças	58
4.2.1.2	Experiência A5 - 2ª Lei de Newton	61
4.2.1.3	Experiência A4 - Conservação do Momento Linear - Colisões	64
4.2.1.4	Experiência X1 - Plano Inclinado	67

4.2.1.5	Experiência A3 - Momento de Inércia e Dinâmica de Rotação	70
4.2.2	Análise Transversal dos Aspectos do "V" de Gowin	72
4.2.2.1	Análise Transversal do Aspecto Questão Básica de Pesquisa	73
4.2.2.2	Análise Transversal do Aspecto Domínio Conceitual	75
4.2.2.3	Análise Transversal do Aspecto Eventos	77
4.2.2.4	Análise Transversal do Aspecto Domínio Metodológico	79
4.2.2.5	Análise Transversal do Aspecto Resposta	81
5	Discussões & Conclusões	83
5.1	Primeira Questão Básica de Pesquisa	84
5.1.1	Habilidades e Dificuldades para o Aspecto <i>Questão Básica de Pesquisa</i>	84
5.1.2	Habilidades e Dificuldades para o Aspecto <i>Domínio Conceitual</i>	85
5.1.3	Habilidades e Dificuldades para o Aspecto <i>Eventos</i>	85
5.1.4	Habilidades e Dificuldades para o Aspecto <i>Domínio Metodológico</i>	86
5.1.5	Habilidades e Dificuldades para o Aspecto <i>Resposta</i>	86
5.2	Segunda Questão Básica de Pesquisa	87
5.2.1	Contribuições para os roteiros das experiências	87
5.2.2	Contribuições para o roteiro de utilização do "V" de Gowin em <i>Física Experimental I</i>	89
5.3	Terceira Questão Básica de Pesquisa	89
5.4	Quarta Questão Básica de Pesquisa	91
5.4.1	Adaptações na Disciplina Física Experimental I	92
5.4.2	Adaptações na estrutura do "V" de Gowin	92
5.5	Trabalhos Futuros	94
5.5.1	Considerações sobre a implantação do "V" de Gowin em um curso de Física Experimental I	94
5.5.2	Considerações sobre os roteiros entregues aos estudantes	96

5.5.3	Considerações sobre os critérios de avaliação dos “V”s de Gowin utilizados nesse estudo	97
	Referências Bibliográficas	97
	Apêndices	100
A	Roteiros das experiências realizadas em Física Experimental I	100
B	Roteiro para utilização do “V” de Gowin em Física Experimental I	111
C	Exemplares de “V”s de Gowin produzidos por um estudante para as cinco experiências realizadas nesse estudo	125
D	Artigo apresentado no XVIII SNEF	130

Lista de Tabelas

3.1	Distribuição das Disciplinas de Física Básicas ofertadas pela Nova Grade Curricular da Graduação em Física da UFES	36
3.2	Protocolo de Dados para o Estudo Principal	50
4.1	Critério de Avaliação para <i>Questão Básica de Pesquisa</i>	52
4.2	Critério de Avaliação para <i>Domínio Conceitual</i>	53
4.3	Critério de Avaliação para <i>Eventos</i>	54
4.4	Critério de Avaliação para <i>Domínio Metodológico</i>	55
4.5	Critério de Avaliação para <i>Resposta</i>	56
4.6	Referências para a Análise de Dados	58
4.7	Número de Citações dos <i>Eventos Secundários</i> por Experimento	78

Lista de Figuras

2.1	“V” Espistemológico de Gowin.	28
2.2	“V” de Gowin em um Curso de Física Experimental.	32
4.1	Histogramas dos Valores para a Experiência A1. Amostra com N=27. . .	60
4.2	Histogramas dos Valores para a Experiência A5. Amostra com N=17. . .	63
4.3	Histogramas dos Valores para a Experiência A4. Amostra com N=22. . .	65
4.4	Histogramas dos Valores para a Experiência X1. Amostra com N=21. . .	68
4.5	Histogramas dos Valores para a Experiência A3. Amostra com N=16. . .	71
4.6	Gráficos dos Valores para <i>Questão Básica de Pesquisa</i>	73
4.7	Gráficos dos Valores para <i>Domínio Conceitual</i>	76
4.8	Gráficos dos Valores para <i>Eventos</i>	77
4.9	Gráficos dos Valores para <i>Domínio Metodológico</i>	80
4.10	Gráficos dos Valores para <i>Resposta</i>	81
5.1	Exemplo de um “V” para a construção de conhecimento sobre o efeito da adição de calor na água (Novak and Gowin, 1984).	95

Resumo

Este estudo exploratório mostra resultados sobre a investigação da utilização do "V" Epistemológico de Gowin em uma disciplina de Física Experimental na graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Para o desenvolvimento desse estudo foi estruturada a implantação do "V" de Gowin na disciplina *Física Experimental I* para as modalidades Educador/Licenciatura e Pesquisador/Bacharelado do Currículo Novo do Curso de Física da UFES. Foi utilizado um roteiro sobre o uso do "V" de Gowin em Física Experimental e os roteiros das experiências realizadas na disciplina. Os estudantes produziram um "V" de Gowin para cada experimento, com o objetivo de explicitar a estrutura do experimento, ou seja, quais são as *Questões Básicas de Pesquisa* referentes aos objetivos da experiência; em que consiste o *Domínio Conceitual*, ou seja, os Princípios & Leis, as *Hipóteses* e os *Conceitos* envolvidos na experiência; quais são os *Eventos* realizados para as promover observações e coletas de dados do experimento; qual é o *Domínio Metodológico* utilizado, isto é, quais são os *Registros dos Eventos*, as *Transformações* necessárias, os *Resultados* dessas *Transformações* e as *Interpretações* possíveis a partir desses *Resultados*; quais são as *Respostas* às *Questões Básicas de Pesquisa* proposta e; qual a relevância dessas *Respostas* e de todo o experimento estudado. Para analisar os "V"s de Gowin produzidos utilizou-se critérios de avaliação baseados em parâmetros que valorizam a articulação dos aspectos do "V". Com a conclusão do estudo, foi possível analisar as habilidades e dificuldades apresentadas pelos estudantes com a implantação do "V" de Gowin em Física Experimental. Também foi possível indicar contribuições para os roteiros entregues aos estudantes na disciplina *Física Experimental*. E finalmente, foi realizado uma análise sobre os critérios de avaliação utilizados nesse estudo.

Capítulo 1

Introdução

Este estudo tem como objetivo investigar a utilização do “V” Epistemológico de Gowin como instrumento metodológico com enfoque no processo de investigação e para a análise e interpretação de dados como em uma pesquisa (Ferracioli, 2005) na disciplina *Física Experimental I* do novo currículo da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Para isso estruturaram-se duas intervenções nessa disciplina, que correspondem ao Estudo Piloto e ao Estudo Principal dessa investigação. Os estudantes de *Física Experimental I* produziram “V”s de Gowin para os experimentos realizados sob orientação de um roteiro para utilização do diagrama “V” na disciplina. Esses “V”s foram avaliados de acordo com os critérios propostos por Mintzes et al. (2000) e, após a análise dos resultados dessas avaliações, concluiu-se sobre a implantação do “V” de Gowin em na disciplina *Física Experimental I*, sobre os roteiros de experiência e de utilização dos diagramas “V”s entregues aos estudantes e, sobre os critérios de avaliação utilizados. Assim, este capítulo inicial apresenta o contexto da pesquisa desenvolvida.

1.1 Contexto da Pesquisa

De um modo geral, as atividades de laboratório são pouco frequentes no Ensino Médio e, a responsabilidade do desenvolvimento dessas atividades recai sobre a Educação Superior. A Universidade tem, via de regra, estrutura e recursos suficientes para a realização de atividades de laboratório. O Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo oferece dois laboratórios para o ensino de Física nos primeiros dois anos

do curso, e outros dois laboratórios para disciplinas específicas, sendo um voltado para a modalidade-Educador/Licenciatura e outro para a modalidade-Pesquisador/Bacharelado. Com a implantação de um currículo novo para a Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo surgiu a oportunidade de investigar uma proposta de inovação curricular para uma disciplina de Física Experimental baseada na utilização do “V” Epistemológico de Gowin.

A decisão sobre o uso do “V” de Gowin em *Física Experimental I* foi baseada na apresentação das diferentes abordagens possíveis no ensino de laboratório por Moreira and Levandowski (1983) e nos objetivos a serem alcançados pelos estudantes da disciplina apresentados por Carrasco (1985). Para essa implantação foi elaborado um roteiro para utilização do “V” de Gowin em Física Experimental (Ferracioli, 2008b) e, decidiu-se então por estruturar uma abordagem baseada no Laboratório Estruturado, em que o estudante é guiado pelos roteiros das experiências em todos os procedimentos necessários, em conjunto com o “V” de Gowin, instrumento utilizado no Laboratório sob um enfoque Epistemológico, em que o estudante deve reconhecer a estrutura do experimento, identificando e relacionando os aspectos do “V”: *Questão Básica de Pesquisa, Domínio Conceitual, Eventos Domínio Metodológico e Resposta*.

Para avaliar a implantação do “V” de Gowin em Física Experimental, utilizou-se os critérios propostos por Mintzes et al. (2000) que são sustentados por Novak and Gowin (1984). Esses critérios valorizam a qualidade, a precisão e a integridade das descrições dos aspectos do “V” de Gowin pelos estudantes. Antes da implantação do “V” em sala, porém, algumas modificações foram realizadas nos aspectos do “V” de Gowin e nos critérios de avaliação para aproximar a estrutura destes instrumentos da realidade da disciplina *Física Experimental I*.

Dessa forma, esse estudo tem como objetivos investigar a implantação do “V” de Gowin em um Laboratório Estruturado de *Física Experimental I* no Currículo Novo da Graduação em Física da UFES, investigar a utilização dos roteiros das experiências e sobre o “V” de Gowin pelos estudantes e, investigar os critérios de avaliação utilizados.

Na próxima seção será descrita a organização dessa dissertação.

1.2 Organização da Dissertação

Esta dissertação é apresentada em cinco capítulos e quatro apêndices descritos a seguir.

Este Capítulo Introdutório que tem o objetivo de situar o leitor no contexto da pesquisa e apresentar de maneira sucinta os tópicos que serão desenvolvidos ao longo do texto.

O Capítulo II apresenta os uma revisão de literatura bem como os aspectos teóricos onde são discutidos os pressupostos teóricos para o desenvolvimento deste trabalho.

O Capítulo III apresenta a Concepção do Estudo onde é descrita a metodologia usada para o desenvolvimento deste estudo com enfoque qualitativo e exploratório, apresentadas as questões básicas de pesquisa e descritos os Estudo Piloto e o Estudo Principal.

O Capítulo IV descreve a Análise de Dados onde é apresentada a técnica de análise de dados para proceder a análise dos dados coletados.

O Capítulo V descreve a Discussão e as Conclusões deste estudo, concluindo com sugestões para investigações futuras.

O Apêndice A disponibiliza os roteiros das experiências utilizados pelos estudantes na disciplina *Física Experimental*.

O Apêndice B apresenta o roteiro para utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental* entregue aos estudantes.

O Apêndice C contém as cópias dos “V”s produzidos por um estudante para as cinco experiências realizadas.

E finalmente o Apêndice D apresenta o artigo *A UTILIZAÇÃO DO “V” DE GOWIN EM UMA DISCIPLINA DE FÍSICA EXPERIMENTAL DA GRADUAÇÃO EM FÍSICA* apresentado como comunicação oral no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física em 2009.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Este estudo tem como objetivo investigar a utilização do “V” Epistemológico de Gowin como instrumento metodológico com enfoque no processo de investigação e para a análise e interpretação de dados como em uma pesquisa (Ferracioli, 2005) na disciplina *Física Experimental I* do novo currículo da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Esse capítulo apresenta os pressupostos teóricos e definições para o desenvolvimento deste estudo.

2.1 Objetivos em uma Disciplina de Física Experimental

Alguns autores (Carrasco, 1985; Hodson, 1994; Borges, 2002) abordam os objetivos a serem alcançados pelos estudantes em uma disciplina de Física Experimental e, afirmam que nem todos os professores responsáveis por essa disciplina definem claramente quais objetivos esperam contemplar em suas aulas.

“Mesmo em locais com forte tradição de ensino experimental, por exemplo, nos cursos superiores e cursos das escolas técnicas, quase nunca ocorre o planejamento sistemático das atividades, com a explicitação e discussão dos objetivos de tal ensino. A formulação de um planejamento para as atividades de ensino, quando existe, destina-se mais a atender às demandas burocráticas do que explicitar as diretrizes de ação do professor e dos estudantes, ao longo de um curso.” (Borges, 2002)

Leite (2000) afirma que diferentes atividades ou abordagens privilegiam diferentes objetivos. E Carrasco (1985) apresenta 5 categorias de objetivos em um curso de Física Experimental divididas em subcategorias:

1. Objetivos relativos à aprendizagem de conteúdos (leis, teorias, etc.)

- (a) Aquisição de conceitos físicos através das definições e/ou uso dos mesmos no desenvolvimento dos experimentos de laboratório;
- (b) Aquisição de leis Físicas através da descoberta e/ou uso das mesmas no desenvolvimento dos experimentos de laboratório;
- (c) A facilidade da aplicação das leis Físicas para resolver problemas, através das questões que surgem com o desenvolvimento da atividade experimental.

2. Objetivos relativos à aprendizagem de método

- (a) A capacidade de atenção através da percepção de quais são os eventos e questões básicas envolvidas em um dado experimento;
- (b) A capacidade de análise da obtenção das medidas, dados e resultados em um dado experimento;
- (c) A capacidade de síntese através da descrição, em relatórios, dos passos de um dado experimento;
- (d) A capacidade de avaliação através do julgamento dos resultados experimentais.

3. Objetivos relativos à aprendizagem da estrutura de um experimento

- (a) A capacidade de análise através do reconhecimento das partes de um dado experimento, i.e., reconhecimento do evento, questões básicas, medidas, dados, conclusões, conceitos, leis e teorias envolvidas em dito experimento;
- (b) A capacidade de síntese através do reconhecimento das relações entre as diversas partes de um dado experimento, como por exemplo que as medidas são valores numéricos assumidos por determinada variável (determinado conceito) sob certas circunstâncias.

4. Objetivos relativos à aprendizagem de habilidades

- (a) Aquisição de habilidade prática através da manipulação de aparelhos, produção dos eventos, realização de montagens, obtenção das medidas das variáveis envolvidas em um experimento;
- (b) Aquisição de habilidade intelectual através da: percepção dos eventos, formulação de questões e hipóteses a respeito dos eventos observados, obtenção, comunicação e julgamento dos resultados experimentais obtidos.

5. Objetivos relativos à aprendizagem de atitudes

- (a) A aquisição de normas disciplinares de trabalho, desenvolvendo, por exemplo, as capacidades de pontualidade no início do trabalho, execução do mesmo sem pressa para ir embora;
- (b) A aquisição de atitude científica, desenvolvendo o espírito crítico, a curiosidade, a iniciativa.

Hodson (1994) aponta ainda a *motivação do aluno* como objetivo em uma disciplina de laboratório e Leite (2000) defende que esta, em conjunto com a *aquisição de atitude científica*, devem ser preocupações presentes em qualquer prática laboratorial. Contudo, não se justifica promover atividades de laboratório apenas para atingir estes objetivos.

A simples comprovação de uma *Teoria* não garante a assimilação de novos *Conceitos* ou a reconstrução de *Conceitos* conhecidos, já que o sucesso da experiência é

previamente garantido pela sua preparação adequada (Borges, 2002). O processo, muitas vezes, se resume à busca pela resposta certa e, frequentemente, só há discussões quando essa resposta não é encontrada. O estudante tem contato com diversos *Conceitos* e *Teorias* durante a realização de uma experiência, mas a aprendizagem de conteúdos depende da abordagem utilizada em aula. Se o objetivo da aula for a aprendizagem de um grande conjunto de técnicas de uso e calibração de instrumentos pode haver poucas oportunidades para a discussão sobre o *Domínio Conceitual* dos fenômenos físicos envolvidos.

A aprendizagem de métodos científicos pode ser um objetivo a ser alcançado em aulas experimentais mas, pode haver uma falsa impressão de que existe um único método científico, ou seja, se dois pesquisadores imparciais tiverem acesso aos mesmos dados precisos e confiáveis e aplicarem o método científico eles farão as mesmas observações e apresentarão os mesmos resultados (Borges, 2002). Não há um algoritmo ou conjunto de algoritmos previamente definido para cada situação estudada. Um cientista utiliza **um** método científico para resolver um problema, ou estudar um fenômeno. Os roteiros de laboratório, bastante detalhados, podem transmitir a ideia de que há apenas um caminho para o estudo proposto, não permitindo o questionamento do método científico pré-determinado. Por outro lado, a abordagem em sala de aula pode ser conduzida de forma a apresentar o método científico utilizado nos roteiros de laboratório como exemplos de atividades desenvolvidas pelos cientistas no seu trabalho, favorecendo a aprendizagem de métodos científicos (Moreira and Levandowski, 1983).

De forma semelhante, o estudante pode ser conduzido a escolher um método científico para realizar um experimento se conhecer ou reconhecer a estrutura do experimento, ou seja se (re)conhecer as relações entre:

- os objetivos da experiência,
- o *Domínio Conceitual* correspondente,
- os *Eventos* observados,
- os procedimentos realizados,
- as possíveis conclusões.

Conhecer estas relações permite o entendimento sobre o experimento, sem a obrigação de esta aprendizagem ser requisito para a realização de outro experimento, como ocorre com a aprendizagem de técnicas laboratoriais, tal como o uso de um equipamento específico.

A aprendizagem de habilidades práticas como técnicas laboratoriais são privilegiadas por exercícios frequentes envolvendo a utilização dos mesmos aparelhos e procedimentos. O laboratório parece oferecer as condições ideais para favorecer este tipo de aprendizagem. Estas técnicas se estendem à avaliação sobre a confiabilidade de um resultado e à organização de informações em gráficos, tabelas, ou diagramas, que são úteis fora das aulas de laboratório inclusive. A utilização de equipamentos básicos como régua, cronômetro, balança, multímetro, termômetro, entre outros, é um objetivo importante a ser atingido em algum momento na carreira científica experimental.

Além dessas habilidades, a atitude científica, a curiosidade, a iniciativa devem ser desenvolvidas ou, ao menos, valorizadas em uma disciplina experimental. Aprender a postura em laboratório, a pontualidade, a limpeza, o silêncio e outros aspectos presentes na conduta experimental também podem estar entre os objetivos de atividades de laboratório.

Para alcançar determinados objetivos é necessário o planejamento de atividades específicas em uma abordagem voltada para o desenvolvimento das habilidades pretendidas. Moreira and Levandowski (1983) apresentam três diferentes abordagens a serem utilizadas no ensino de laboratório que são descritas na próxima seção em articulação com Leite (2000).

2.2 Abordagens para o Ensino de Física em Laboratório

O alcance dos diferentes objetivos apresentados na seção anterior está vinculado à definição das atividades desenvolvidas nas aulas de laboratório. Leite (2000) se propõe ao relacionamento das atividades laboratoriais com os objetivos pretendidos com as mesmas da seguinte forma:

- as *habilidades técnicas com exercícios*

- o reforço de conceitos com atividades para aquisição de sensibilidade acerca de fenômenos e atividades ilustrativas
- a construção de conceitos com experiências orientadas para a determinação do que acontece e investigações
- a reconstrução de conceitos com atividades do tipo *prevê-observa-explica-reflete* com e sem atividades práticas
- a metodologia científica com investigações

As atividades desenvolvidas pelos estudantes em aulas em um laboratório de Física dependem do tipo de abordagem definido para essas aulas. Moreira and Levandowski (1983) classifica as abordagens em uma disciplina de Física Experimental em **Laboratório Estruturado** e **Laboratório não Estruturado**. O Laboratório Estruturado oferece um guia de procedimentos ao estudante que o orienta em todas as atividades realizadas, enquanto no Laboratório não Estruturado o estudante é o responsável procedimentos a serem realizados no experimento. Essas diferentes abordagens favorecem diferentes objetivos a serem alcançados pelos alunos conforme será descrito nas próximas seções.

2.2.1 O Laboratório Programado

Como exemplo de um Laboratório Estruturado, Moreira and Levandowski (1983) descreve o laboratório tradicional, ou Laboratório Programado, em que as aulas são apoiadas em um roteiro de experiências que contém todos os procedimentos necessários à realização e conclusão das experiências. Essa abordagem apresenta importantes vantagens como a relativa autosuficiência do estudante ou do grupo de estudantes para realizar as atividades propostas no roteiro e a previsão dos resultados e dificuldades encontrados pelos estudantes que permite o planejamento da aula e de seu andamento.

A avaliação destas aulas costuma ser a avaliação do próprio roteiro na medida que, se um número apreciável de estudantes tem dificuldades com um determinado procedimento o roteiro é atualizado e novamente avaliado. O roteiro é a principal referência do estudante e deve conter todas as informações necessárias ao estudo proposto.

Este tipo de abordagem é adequada para ilustrar ou facilitar a aquisição do conteúdo abordado (Moreira and Levandowski, 1983) e, por ser altamente estruturado, permite a repetição de certos procedimentos e técnicas que favorece a aprendizagem de habilidades técnicas, conforme citado na Seção 2.1.

Entretanto, o Laboratório Programado não é adequado para aprendizagens que impliquem na liberdade do estudante para tomar decisões críticas. E mesmo a aprendizagem de *Conceitos* pode ser criticada, visto que a discussão dos resultados é limitada ao previsto para cada experimento.

“As principais críticas que se fazem a essas atividades práticas é que elas não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos; que muitas delas não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, já que tanto o problema como o procedimento para resolvê-lo estão previamente determinados; que as operações de montagem dos equipamentos, as atividades de coleta de dados e os cálculos para obter respostas esperadas consomem muito ou todo o tempo disponível. Com isso, os estudantes dedicam pouco tempo à análise e interpretação dos resultados e do próprio significado da atividade realizada.” (Borges, 2002)

O Laboratório Programado é o mais difundido entre as instituições e, por isso, existem alternativas à sua utilização na tentativa de promover alguma inovação curricular. A seguir são descritas duas alternativas que podem ser mais adequadas ao alcance de outros objetivos específicos.

2.2.2 O Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento

Enquanto o Laboratório Programado oferece um guia como todos os procedimentos necessários à realização de um experimento, o Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento apresenta uma situação a ser entendida e solicita do estudante a identificação das partes que compõem o experimento e de como elas se relacionam.

“(...) um experimento é, no fundo, a procura de uma resposta (resultado) para alguma pergunta (questão básica sob investigação) sobre um fenômeno (evento) que ocorre ou que se faz ocorrer na natureza. Para isso, segue-se um determinado procedimento, uma sequência (não rígida) de passos, i.e., um método. É claro que tanto na pergunta como na resposta obtida, assim como na descrição do fenômeno estudado e do método usado, usa-se conceitos, alguns dos quais são mais relevantes, i.e., são conceitos-chave. Além disso, ao se obter um resultado, cabe perguntar qual o valor desse resultado, qual a sua importância” (Moreira and Levandowski, 1983)

Para realização das atividades com essa abordagem o estudante deve produzir um experimento que proporcione a visualização de algum determinado fenômeno. Ele recebe um texto com apresentação sobre o fenômeno a ser estudado, fundamentação teórica, dicas e cuidados laboratoriais, e sugestões de atividades. O objetivo apresentado ao estudante é basicamente a identificação das partes que compõe a estrutura do experimento e de como elas se relacionam entre si. Esta é uma abordagem menos estruturada em que o estudante define o método a seguir e é responsável pelo procedimento realizado.

Este laboratório não estruturado requer do estudante o planejamento metódico das atividades e favorece a aprendizagem de atitudes, criatividade e iniciativa. Porém, como não há um guia rigoroso, essa abordagem não deve ser aplicada a grandes turmas, ou a estudantes que não têm clareza sobre técnicas e procedimentos básicos em um laboratório. Moreira and Levandowski (1983) verificaram ainda que esta abordagem apresenta resultados favoráveis, mas os estudantes precisam de um instrumento que os auxilie na identificação da estrutura do experimento. Na opinião desses autores, este instrumento é o “V” de Gowin, que será apresentado na Seção 2.4 e, que é usado no Laboratório Sob Enfoque Epistemológico descrita na próxima seção.

2.2.3 O Laboratório sob um Enfoque Epistemológico

O Laboratório sob um Enfoque Epistemológico tem a finalidade de aprofundar o entendimento sobre a estrutura do experimento destacando as partes dessa estrutura

e a relação entre essas partes. Esta abordagem é exemplo de um Laboratório não Estruturado em que o estudante não é formalmente orientado em todos os passos para a conclusão da atividade por um roteiro com procedimentos. Para isso é necessário utilizar-se um instrumento metodológico com enfoque no processo de investigação e para a análise e interpretação de dados como em uma pesquisa, tal como o “V” Epistemológico de Gowin, ou simplesmente, “V” de Gowin, (Ferracioli, 2005), que será descrito na Seção 2.4.

Para destacar a estrutura do experimento, a produção de um “V” de Gowin é feita a partir de um conjunto de cinco questões:

Questão 01: *Qual o evento realizado para abordar o fenômeno em estudo?*

Questão 02: *Quais as questões básicas para o estudo do fenômeno?*

Questão 03: *Quais os conceitos-chave envolvidos no estudo desse fenômeno? Como esses conceitos-chave estão articulados em uma estrutura conceitual: definições, hipóteses, princípios e leis?*

Questão 04: *Qual é o procedimento experimental para responder às questões básicas? Isto é, quais são os registros do evento, as transformações dos registros e as interpretações dos dados?*

Questão 05: *Quais as respostas às questões básicas formuladas para o estudo do fenômeno?*

Questão 06: *Qual o valor das respostas e do experimento realizado?* (Ferracioli, 2008b)

Esta abordagem procura relacionar todos esses aspectos sob um ponto de vista epistemológico (Moreira and Levandowski, 1983), ou seja sob um ponto de vista da construção e da estrutura do conhecimento. Para o estudante em Física Experimental, responder às questões acima, ou seja, construir o “V” de Gowin, representa um recurso para explicitar a estrutura do experimento.

Assim como o Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento, esta abordagem solicita a reflexão sobre o *Domínio Conceitual* da situação estudada e de como este *Domínio Conceitual* se relaciona com o *Domínio Metodológico* para responder a

Questão Básica de Pesquisa, isto é, para alcançar o objetivo proposto. A construção do “V” de Gowin pode, então, proporcionar a aprendizagem de conteúdos (leis, teorias, hipóteses, entre outras.) além da aprendizagem da estrutura do experimento.

Em um laboratório não estruturado, ou seja, em que os estudantes não são guiados por um roteiro rígido para realização do experimento, os estudantes devem definir um método científico para realizar os procedimentos. Por outro lado, esse tipo de laboratório parece ser mais adequado para turmas pequenas e que já tenham algumas habilidades laboratoriais básicas.

A escolha da abordagem depende de quais objetivos deseja-se que os estudantes alcancem com aulas de laboratório. Neste estudo, baseamos a abordagem implantada em um modelo *híbrido* entre o Laboratório Programado e o Laboratório sob um Enfoque Epistemológico, o qual será descrito na próxima seção.

2.3 Descrição da Abordagem Utilizada

As abordagens propostas por Moreira and Levandowski (1983) podem ser divididas em *i*) Laboratório Estruturado ou Laboratório Programado e não *ii*) Laboratório Não Estruturado podendo ser Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento e Laboratório sob um Enfoque Epistemológico. O Laboratório Estruturado, em que o aluno é conduzido por um guia em todos os seus procedimentos é adequado para apresentação de um método, ainda que este não possa ser criticado, e também para o desenvolvimento de técnicas e habilidades laboratoriais, favorecendo o alcance de objetivos relativos à aprendizagem de método e de habilidades citado por Carrasco (1985) e apresentados na Seção 2.1.

No curso de Graduação em Física na Universidade Federal do Espírito Santo, onde se deu este estudo, sempre foi utilizada uma abordagem que pode ser caracterizada como Laboratório Programado que é baseada em uma **Apostila de Física Experimental** (de Física, 2009) que constitui o guia responsável pela orientação dos estudantes durante a disciplina *Física Experimental I*. No planejamento deste estudo decidiu-se utilizar a Apostila de Física Experimental para não modificar o objetivo central das atividades dos estudantes para a escolha de um método científico adequado.

No entanto, decidiu-se utilizar o “V” de Gowin como instrumento para o reconhecimento da estrutura do experimento, buscando a aprendizagem de conteúdos e da estrutura do experimento. Dessa forma, esperava-se evitar algumas críticas que afirmam que as atividades práticas no laboratório tradicional não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos (Borges, 2002).

Assim, durante este estudo, utilizou-se um instrumento metodológico para o processo de investigação e para a análise e interpretação de dados em uma pesquisa (Ferracioli, 2005), o “V” Epistemológico de Gowin, em um Laboratório Estruturado, em que os estudantes são orientados por um guia, a Apostila de Física Experimental I. Portanto, esta abordagem difere das apresentadas por Moreira and Levandowski (1983), e poderia ser classificada como “Laboratório Estruturado sob um Enfoque Epistemológico.

Nas próximas Seções serão apresentados o “V” de Gowin e as adaptações realizadas no “V” de Gowin para sua aplicação em um curso de Física Experimental.

2.4 O “V” de Gowin

O “V” Epistemológico de Gowin foi apresentado em 1977 por D. Bob Gowin para auxiliar pessoas a entender a estrutura do conhecimento e o processo de construção do conhecimento (Novak and Gowin, 1984). Essa estratégia é entendida como a construção de uma estrutura de significados a partir de elementos básicos, por ele denominado de *eventos*, *fatos* e *conceitos*. A Figura 2.1 mostra uma versão simplificada do diagrama de Gowin.

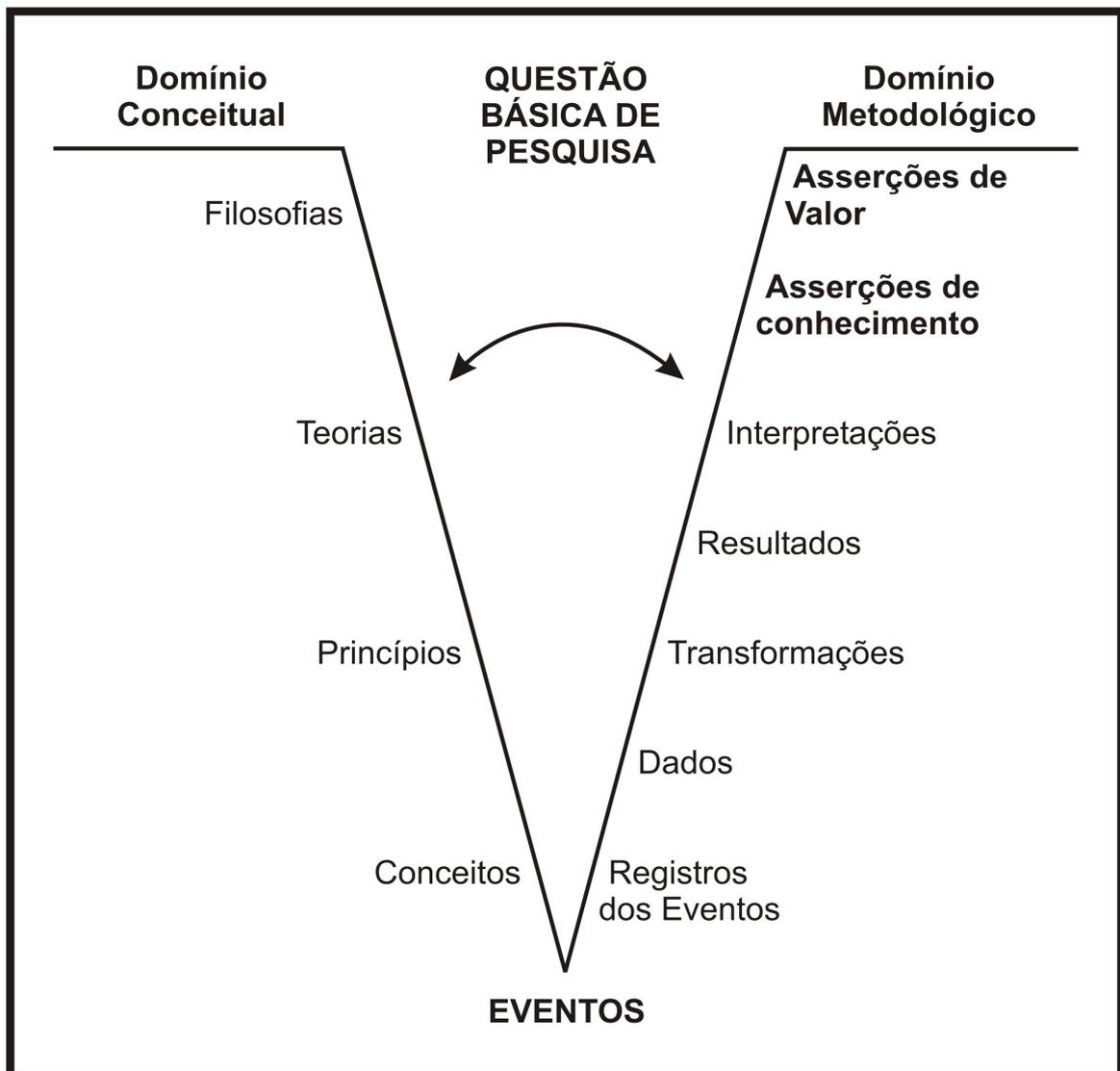


Figura 2.1: “V” Epistemológico de Gowin.

No centro do “V”, na parte superior, está a *Questão Básica de Pesquisa* que deve ser respondida com a situação estudada. O lado direito do “V” traz a Metodologia, ou o *Domínio Metodológico* que reúne os *Registros* extraídos de uma observação, as *Transformações* que são aplicadas a esses *Registros*, os *Resultados* dessas *Transformações* e as *Interpretações* feitas a partir dos *Resultados*. Ainda no lado direito estão as *Asserções de Conhecimento*, ou as *Respostas à Questão Básica de Pesquisa* e as *Asserções de Valor* com a relevância das *Respostas* e/ou de todo o estudo. No lado esquerdo está o *Domínio Conceitual* com as *Teorias* envolvidas no estudo. Dessas *Teorias* usam-se alguns *Princípios & Leis*. E existem também os *Conceitos*, ou palavras-chave que pertencem a

estes *Princípios & Leis*. Na base do “V” de Gowin estão os *Eventos*, ou seja, aquilo que se observa naturalmente ou se faz acontecer artificialmente para responder à *Questão Básica de Pesquisa*.

“Assim, o processo de investigação é visto através da contínua interação dessas questões. A questão básica delimita e norteia o que será pesquisado; os conceitos-chave provêm a sustentação teórica para o questionamento proposto pela questão básica; os métodos determinam o desenvolver da pesquisa que gera as respostas à questão básica que são as asserções de conhecimento as quais, analisadas à luz de sua relevância, produzem as asserções de valor.” - (Ferracioli, 2005)

Novak and Gowin (1984) afirmam que raramente estudantes em um curso de laboratório invocam *Conceitos*, *Princípios* ou *Teorias* relevantes para entender porque *Eventos* específicos foram escolhidos para serem observados ou, porque são feitos certos *Registros* ou determinados tipos de gráficos, tabelas, ou mesmo porque suas conclusões estão “erradas” quando comparadas com textos científicos. Em geral, não há interação entre o *lado do pensar* e o *lado do fazer* e as atividades de laboratório são frustrantes e sem significado. A produção do “V” de Gowin sobre um estudo favorece esta interação através da respostas às questões propostas para produzi-lo:

Questão 01: *Qual o evento realizado para abordar o fenômeno em estudo?*

Questão 02: *Quais as questões básicas para o estudo do fenômeno?*

Questão 03: *Quais os conceitos-chave envolvidos no estudo desse fenômeno? Como esses conceitos-chave estão articulados em uma estrutura conceitual: definições, hipóteses, princípios e leis?*

Questão 04: *Qual é o procedimento experimental para responder às questões básicas? Isto é, quais são os registros do evento, as transformações dos registros e as interpretações dos dados?*

Questão 05: *Quais as respostas às questões básicas formuladas para o estudo do fenômeno?*

Questão 06: *Qual o valor das respostas e do experimento realizado?* (Ferracioli, 2008b)

Além disso, não há uma única ordem definida para construir um “V” de Gowin. Um estudo *indutivo* pode iniciar a partir de observações específicas, *Eventos*, e buscar uma generalização a partir dessas observações. Ou seja, *Após* a realização dos *Eventos* e das *Transformações* e *Interpretações* busca-se entender a *Teoria* envolvida. Por outro lado, um estudo *dedutivo* pode iniciar pelo *lado do pensar*, do *Domínio Conceitual* e seguir para o *lado do fazer*, *Domínio Metodológico*, com a definição de um método científico para a pesquisa (Ferracioli, 2008b).

Ferracioli (2008b) afirma que a aplicação desse procedimento abre duas possibilidades:

Construção: aquele que constrói essa representação é levado a reflexão, organização e conseqüente entendimento de todos os aspectos conceituais e metodológicos envolvidos no experimento;

Análise: aquele que analisa e/ou utiliza esse representação é levado ao rápido entendimento de todos os aspectos conceituais e metodológicos envolvidos no experimento.

Para a aplicação adequada do “V” de Gowin em um curso de Física Experimental foram realizadas algumas adaptações no diagrama proposto, e essas adaptações são descritas na próxima Seção.

2.5 O “V” de Gowin em uma disciplina de Física Experimental

O “V” Epistemológico de Gowin, apresentado na seção anterior, já foi utilizado com sucesso em disciplinas experimentais de biologia no Ensino Superior (Mintzes et al., 2000), de Física na Educação Superior (Moreira and Levandowski, 1983) e, Física no Ensino Médio (Wesoly and da Costa, 2008), entre outras aplicações. Portanto, a estrutura proposta não precisa passar por modificações para ser implantada. Ainda assim, neste

estudo foram feitas algumas modificações com o objetivo de aproximar a construção do “V” de Gowin da linguagem utilizada na disciplina *Física Experimental I*.

Durante as aulas sobre o “V” de Gowin não houve destaque para as *Filosofias* pertinentes ao estudo. O roteiro para utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*, intitulado *Método Analítico para Experimentos de Laboratório* (Ferracioli, 2008b) que foi entregue aos estudantes nesse estudo, disponibilizado no Apêndice B, não define *Filosofia* como faz com os outros aspectos do “V” e, de modo geral, os estudantes não atentaram para esse aspecto. A Análise de Dados apresentada no Capítulo 4 também não aborda as *Filosofias* que alguns estudantes mencionaram em seus “V”s. Há um consenso na comunidade de que *a atividade de laboratório é indispensável ao ensino de Física*, e essa pode ser uma *Filosofia* presente em uma disciplina de Física Experimental, entretanto, não foi foco deste estudo avaliar a habilidade dos estudantes em desenvolver esse aspecto.

Por outro lado, é bastante relevante em um estudo em Física Experimental fazer considerações sobre a validação dos *Princípios & Leis* que se deseja utilizar nos *Eventos* realizados. Para isso, destacou-se o aspecto *Hipóteses* onde o estudante deveria descrever, ou citar, as considerações necessárias à realização do experimento. Os principais temas estudados pela Física são abordados em *modelos* teóricos que representam *recortes da realidade*. Assim, só é válido adotar o módulo da aceleração de um objeto em queda livre igual ao módulo da aceleração da gravidade sob a *Hipótese* de que não haja dissipação de energia no movimento. Da mesma forma, só é válido utilizar o Princípio da Conservação do Momento Linear em um sistema que sofre colisões internas se sobre esse sistema não atuam forças externas. As *Hipóteses* assim propostas constituem um importante aspecto no *Domínio Conceitual* em Física Experimental.

Para a realização de um experimento em um laboratório de ensino é quase sempre necessária a realização de inúmeros ajustes, verificações e calibrações que antecedem a coleta de dados. Essas ações que não correspondem aos *Eventos* principais necessários para se responder a *Questão Básica de Pesquisa* mas que são imprescindíveis à realização dos experimentos receberam o título de *Eventos Secundários*. Estes *Eventos* podem ser característicos de um instrumento, como na calibração de uma balança ou de um dinamômetro, ou podem estar relacionados com as *Hipóteses* descritas anteriormente,

como o nivelamento de um trilho de ar para garantir que não haja componentes da força peso dos objetos sob o trilho na direção do movimento.

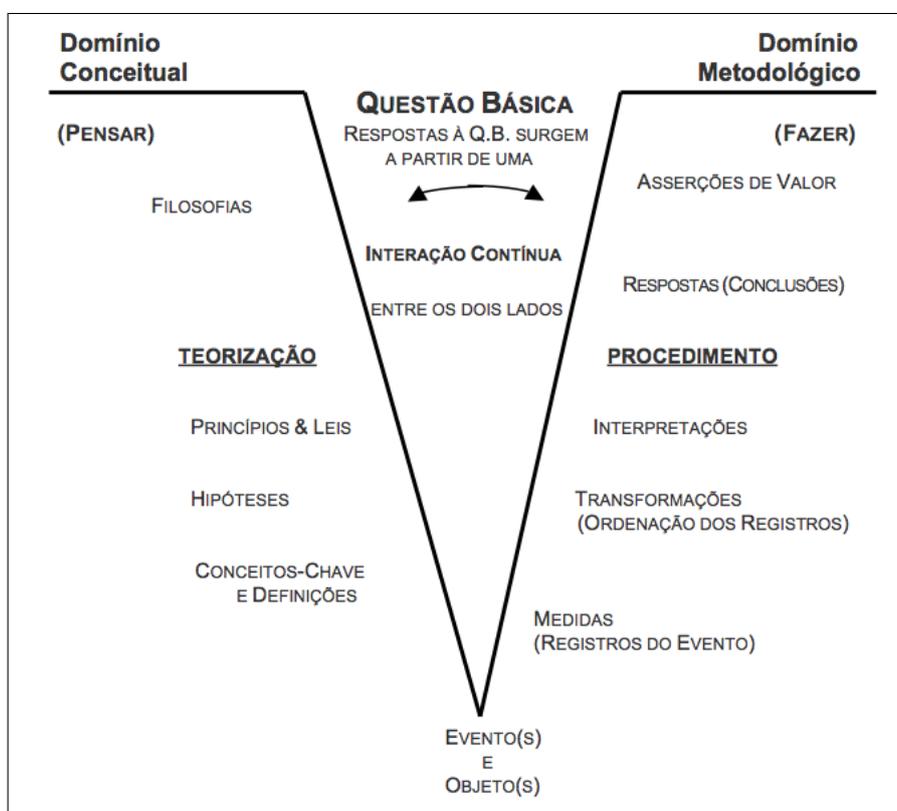


Figura 2.2: “V” de Gowin em um Curso de Física Experimental.

A Figura 2.2 apresenta um “V” de Gowin como o utilizado em *Física Experimental I* nesse estudo. No *lado do pensar* do diagrama substituiu-se *Registros dos Eventos e Dados* somente por *Registros*. Em um Laboratório Estruturado (Moreira and Levandowski, 1983) a coleta de dados se resume ao necessário para as *Transformações e Interpretações* do *Domínio Metodológico*, por isso, não é necessária filtragem dos *Registros dos Eventos* para selecionar os *Dados* a serem utilizados. Todos os *Registros dos Eventos* coletados são necessários e foram intitulados simplesmente de *Registros*.

Finalmente, substituiu-se o subtítulo *Asserções de Conhecimento* do “V” de Gowin originalmente proposto por *Resposta*, para enfatizar que o que se espera nesse aspecto é a descrição da *Resposta* encontrada para a *Questão Básica de Pesquisa* definida. Essa não é portanto, uma modificação na estrutura do “V” de Gowin, e sim na forma com que foi apresentado aos estudantes da disciplina.

2.6 Estrutura de Avaliação do “V” de Gowin

A estrutura de avaliação dos “V”s de Gowin produzidos na disciplina *Física Experimental* foi baseada nos critérios de avaliação apresentados por Mintzes et al. (2000). Esses autores afirmam:

“Nós dizemos que entendemos ou temos entendimento (1) quando os significados que construímos são ressonantes com ou compartilhados por outras pessoas; (2) quando as contradições internas em nossas visões tenham sido reconciliadas; (3) quando nossas explicações não possuem proposições desnecessárias ou não pertinentes e, (4) quando nossas visões podem ser justificadas por estruturas conceituais e metodológicas prevaletentes no paradigma científico” (Mintzes et al., 2000)

Ou seja, para *entender* algo, segundo esses autores, é preciso reunir os requisitos enumerados: (1) intersubjetividade, (2) coerência, (3) parcimônia e, (4) transparência. Para muitos cientistas esses aspectos não são considerados ou explicitados e, frequentemente, fazem parte do inconsciente presente na profissão (Mintzes et al., 2000). A habilidade de analisar criticamente e avaliar as estruturas conceituais e metodológicas e os pontos fortes e fracos em uma relação de asserções de conhecimento científico está entre os resultados mais valorizados da educação científica. O “V” de Gowin fornece um mecanismo formal para ensinar e aprender essas habilidades. E os critérios de avaliação sugeridos por Mintzes et al. (2000) a partir do que é apresentado em Novak and Gowin (1984) valorizam os diagramas que atendem a esses requisitos. Esses critérios, segundo 5.1 valorizam a qualidade, a precisão e a integridade dos aspectos do “V” de Gowin.

Para esse estudo, os critérios apresentados por Mintzes et al. (2000) foram modificados para atender as adaptações do “V” de Gowin à disciplina *Física Experimental I*, descritas na Seção 2.5. Esses critérios serão descritos na Seção 4.1 do Capítulo 4 de Análise de Dados.

Com a conclusão do Referencial Teórico que sustenta este estudo, o Capítulo 3 apresenta as Concepções de Estudo para esta investigação.

Capítulo 3

Concepções de Estudo

Este estudo tem como objetivo investigar a utilização do “V” Epistemológico de Gowin como instrumento metodológico com enfoque no processo de investigação e para a análise e interpretação de dados como em uma pesquisa (Ferracioli, 2005) na disciplina *Física Experimental I* do novo currículo da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Esse capítulo apresenta o Contexto desse estudo, as *Questões Básicas de Pesquisas* para esta investigação e a Metodologia utilizada.

3.1 Contexto do Estudo

Com a implantação do novo currículo do Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo a partir do primeiro semestre de 2008, surgiu a necessidade de uma remodelagem da estrutura das disciplinas de Física Básica Experimental oferecidas nos semestres iniciais dessa graduação.

Na versão anterior do currículo, em funcionamento desde o início da década de 1980, a estruturação desse conteúdo programático se dava através de duas disciplinas de laboratório com 45 horas semestrais cada, isto é, contabilizando 3 horas semanais para cada uma. A primeira, denominada de *Física Experimental I*, era ofertada aos estudantes no 2º Período do Curso tendo a disciplina teórica básica *Física I* como pré-requisito e a disciplina teórica básica *Física II* como co-requisito. O foco era em experimentos que abordassem o conteúdo programático das disciplinas *Física I* e *Física II*: Mecânica, Termodinâmica e suas Aplicações. A segunda, denominada de *Física Experimental II*,

era ofertada aos estudantes no 4º Período do Curso tendo a disciplina teórica básica *Física III* como pré-requisito e a disciplina teórica básica *Física IV* como co-requisito. Analogamente, o foco era em experimentos que abordassem o conteúdo programático das disciplinas *Física III* e *Física IV*: Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo e suas Aplicações. Dessa forma, a Física Básica Experimental era coberta por essas duas disciplinas, embora há muito tempo havia um consenso no Departamento de Física de que o currículo deveria ser estruturado com quatro disciplinas experimentais básicas, ou seja, uma para cada disciplina básica teórica.

Com o advento da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDBEN, Lei 9.394/96 e com as normas dela decorrentes, emanadas pelo Ministério da Educação e pelo Conselho Nacional de Educação na forma de Pareceres e Resoluções (Brasil, 1996), uma nova versão do Curso de Graduação em Física foi estruturada. Essa nova versão foi consubstanciada nos Projetos Políticos Pedagógicos do Curso de Física, nas modalidades Físico-Educador/Licenciatura (do Curso de Graduação em Física, 2007a) e Físico-Pesquisador/Bacharelado (do Curso de Graduação em Física, 2007b) e implantada a partir do primeiro semestre de 2008.

Dessa forma, o novo currículo do Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo contemplou a criação das quatro disciplinas de Física Básica Experimental que foram estruturadas como co-requisito das disciplinas de Física Básica Teórica conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Distribuição das Disciplinas de Física Básicas ofertadas pela Nova Grade Curricular da Graduação em Física da UFES

Disciplina Experimental	Co-Requisito Teórica	Modalidade	Período
<i>Física Experimental I</i>	<i>Física I</i>	Bacharelado	1º Período ¹
		Licenciatura	2ª Período
<i>Física Experimental II</i>	<i>Física II</i>	Bacharelado	2º Período
		Licenciatura	3ª Período
<i>Física Experimental III</i>	<i>Física III</i>	Bacharelado	3º Período
		Licenciatura	4ª Período
<i>Física Experimental IV</i>	<i>Física IV</i>	Bacharelado	4º Período
		Licenciatura	5ª Período

No entanto, nesse novo currículo a carga horária dessas disciplinas experimentais passou a ser de 30 horas semestrais, ou seja, a carga horária semanal passou para 2 horas para cada uma delas. Outro aspecto decorrente dessa nova versão do currículo foi o aumento do número de turmas ofertadas bem como o número de estudantes por turmas: se na versão anterior esse número era de 15 estudantes por turma e o número de turmas dependia da quantidade de alunos aprovados em *Física I*, na nova versão o número de alunos por turma passou para 20 e o número de turmas passou para três turmas diurnas a fim de atender os 60 ingressantes na modalidade Bacharelado e duas turmas noturnas para os 40 ingressantes na modalidade Licenciatura em cada vestibular no novo currículo. Aliado a essas inovações, foi criada uma nova disciplina a ser cursada no primeiro período, denominada *Introdução ao Estudo dos Fenômenos Físicos* com o foco fenomenológico (do Curso de Graduação em Física, 2007a,b).

Porém, até 2008, as aulas dos alunos ingressantes na modalidade Físico-Pesquisador / Bacharelado iniciavam no primeiro semestre de cada ano, enquanto as aulas dos ingressantes da modalidade Físico-Educador / Licenciatura tinham início no segundo semestre. Com isso, em 2008/1 houve três turmas de *Física Experimental I*, todas do Bacharelado, em 2008/2 não houve turmas de *Física Experimental I* e, em 2009/1 houve outras três

¹No primeiro período de ambas as modalidades é ofertada a disciplina *Introdução ao Estudo de Fenômenos Físicos*.

do Bacharelado e duas da Licenciatura. A partir de 2009, as aulas das duas modalidades passaram a iniciar no primeiro semestre de cada ano.

As três disciplinas da Física visam introduzir o estudante ao pensamento científico utilizando três diferentes abordagens:

abordagem fenomenológica através da disciplina *Introdução ao Estudo dos Fenômenos Físicos*;

abordagem teórica com o foco em modelos e aplicações através da *Física I*

abordagem empírico-experimental articulando o domínio teórico e experimental com base no pensamento científico através da *Física Experimental I*

iniciando, dessa forma, a formação básica dos ingressantes nos Cursos de Física na Modalidade Físico-Educador/Licenciatura e Físico-Pesquisador/Bacharelado.

As aulas da disciplina *Física Experimental I* ocorrem no *Laboratório de Ensino - Física Experimental I* que não passou por qualquer modificação para a implantação do novo currículo. Entretanto, o laboratório possui estrutura física adequada para receber 20 estudantes, ainda que, para alguns experimentos, apresente ao máximo três exemplares de cada experiência.

Finalmente, com a motivação de promover a reflexão entre o domínio teórico abordado em *Física I* e o domínio experimental em foco em *Física Experimental I* e levado pela demanda da adaptação requerida pela implantação do novo currículo, foi delineado um estudo que investigasse uma abordagem alternativa a estrutura anterior para, em tese, atender a todas essas demandas. Assim sendo, este trabalho relata a investigação realizada com o foco na implementação de uma inovação curricular proposta para a disciplina *Física Experimental I* visando atender a esse novo cenário delineado pela implantação do novo currículo da Graduação em Física da UFES.

A seguir são apresentadas as disciplinas *Física Experimental I* do Antigo Currículo e do Novo Currículo, destacando suas diferenças. Após esta descrição serão apresentadas as *Questões Básicas de Pesquisa* deste Trabalho, Seção 3.2, e a Metodologia delineada para respondê-las, Seção 3.3.

3.1.1 A Física Experimental I do Currículo Antigo

A disciplina *Física Experimental I* da versão antiga do Currículo da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, conforme citado na seção 3.1, era oferecida aos estudantes do 2º período do Curso de Física. A proposta consistia em abordar em laboratório tópicos estudados nas disciplinas teóricas *Física I* e *Física II*, de acordo com sua ementa desta disciplina disponível em de Física (de Física):

- Medidas
- Grandezas físicas e erros
- Pêndulo simples
- Movimento harmônico simples
- Choque elástico
- Conservação da quantidade de movimento linear
- Momento de inércia
- Calor específico
- Condutividade térmica
- Dilatação térmica
- Equivalente mecânico do calor
- Cuba de ondas

O programa de disciplina correspondente (de Física, de Física), destaca: INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE DADOS EM FÍSICA EXPERIMENTAL

- Erros
- Desvios
- Incertezas nas medidas
- Propagação de incertezas
- Construção de gráficos e sua interpretação
- Gráficos em papel milimetrado e papel mono-log

além dos TEMAS ABORDADOS NAS EXPERIÊNCIAS

- Composição de forças
- Movimento uniforme
- Movimento com aceleração constante
- Segunda Lei de Newton
- Colisões
- Conservação do Momento Linear - Colisões
- Balanço energético
- Dinâmica da rotação
- Momento de inércia
- Lei de Hooke
- Movimento harmônico simples
- Movimento harmônico amortecido

E também EXPERIÊNCIAS SUPLEMENTARES

- Dilatação térmica
- Condutividade térmica
- Equivalente mecânico do calor
- Capacidade térmica e calor específico

Para executar este programa a disciplina *Física Experimental I* era estruturada de forma que as três primeiras aulas destinavam-se à Introdução ao Tratamento de Dados em Física Experimental e um teste era aplicado como primeira avaliação. O conteúdo abordado nestas aulas faz parte das Seções introdutórias da **Apostila de Física Experimental** (de Física, 2009), uma publicação interna do Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, que vem sendo utilizada e eventualmente complementada nos últimos 20 anos. Esta apostila também reúne os roteiros de 10 experiências a serem realizadas no restante do período, disponíveis no Anexo A. Historicamente havia duas séries com cinco experimentos cada, conforme segue (de Física, 2009)

SÉRIE A

Experiência A1 - Soma de Forças

Experiência A2 - Momento de Inércia e Pêndulo de Torção

Experiência A3 - Momento de Inércia e Dinâmica de Rotação

Experiência A4 - Conservação do Momento Linear - Colisões

Experiência A5 - Segunda Lei de Newton

SÉRIE B

Experiência B1 - Dilatação Térmica

Experiência B2 - Movimento Harmônico Amortecido e Pêndulo Simples

Experiência B3 - Movimento Harmônico Simples e Lei de Hooke

Experiência B4 - Equivalente Mecânico do Calor - Calor Específico

Experiência B5 - Condutividade Térmica

A montagem de todas as experiências de cada série eram disponibilizadas nas bancadas do laboratório e os 15 estudantes de cada turma eram divididos em grupos de três, sendo que cada grupo realizava um experimento diferente na primeira aula de experimentos. Nas aulas seguintes os grupos trocavam de bancada, em um sistema de rodízio, até realizarem todos os experimentos de uma série. Ao fim de cada série os estudantes realizavam provas individuais a respeito das experiências realizadas.

A cada aula era realizado um experimento e, para cada experimento, os estudantes produziam um relatório individual sobre a experiência, contendo uma introdução, a teoria envolvida, o procedimento, os dados, a apresentação e discussão dos resultados e uma conclusão, conforme as diretrizes da Apostila de Física Experimental I. Na aula seguinte, durante a realização da nova experiência, o professor chamava um grupo por vez para discutir e avaliar os relatórios produzidos.

O cronograma das aulas e o método de avaliação dos estudantes era disponibilizado na Apostila e, com pequenas alterações em alguns semestres, a média final dos estudantes era calculada a partir do teste inicial sobre Tratamento de Dados, das provas parciais ao final de cada série de experimentos e dos relatórios apresentados e corrigidos.

Em todas as turmas havia a presença do professor responsável pela disciplina e pelo menos um monitor, estudante de graduação, que auxiliava na realização dos experimentos.

3.1.2 A Física Experimental I do Currículo Novo

Com base nas normas reguladoras da LDBEN e nos pareceres CNE/CES 1.304/2001 e a resolução CNE/CES 9/2002 que estabeleceram as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física, o Colegiado do Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo coordenou a elaboração dos Projetos Políticos Pedagógicos do Curso de Física, nas modalidades Físico-Educador / Licenciatura (do Curso de Graduação em Física, 2007a) e Físico-Pesquisador / Bacharelado (do Curso de Graduação em Física, 2007b) em contínua colaboração com o Departamento de Física. Esses textos apresentam o Novo Currículo do Curso de Física para as duas modalidades que passou a vigorar a partir do primeiro semestre de 2008 (2008/1).

As principais mudanças, já descritas na Seção 3.1, são: a redução na carga horária de três horas para duas horas em cada aula semanal; o aumento de duas para quatro disciplinas de laboratório durante o ciclo básico do curso e; o aumento do número de alunos por turma.

A partir de 2008/1, conforme a Tabela 3.1, foram oferecidas a disciplina teórica *Física I*, que aborda o *Domínio Conceitual* da Mecânica, a disciplina *Introdução ao Estudo dos Fenômenos Físicos*, de caráter fenomenológico sem o formalismo de um estudo de laboratório, e a disciplina *Física Experimental I* que “*tem o foco na articulação teoria & experimentação com uma abordagem baseada na discussão dos aspectos teóricos do fenômeno de cada experimento*” conforme o professor da disciplina escreveu em seu relatório entregue à Coordenação do Curso ao final do período (Ferracioli, 2008a).

A ementa prevista nos Projetos Políticos Pedagógicos do Curso de Física (do Curso de Graduação em Física, 2007a,b) é:

- Medidas
- Teoria de Erros
- Experimentos abordando o conteúdo da disciplina teórica - Física I

Os Projetos Políticos Pedagógicos não apontavam orientações específicas sobre o programa da disciplina ou sobre a forma com que esta ementa deveria ser implantada após as alterações curriculares. O que havia disponível era a Apostila de Física Experimental utilizada para a disciplina similar na versão antiga do currículo e os cinco experimentos da Série A, listados na Seção 3.1.1 cujos roteiros são disponibilizados no Apêndice A. Assim, este estudo consiste em planejar, desenvolver, implantar e avaliar uma abordagem alternativa na busca de atender a estas alterações.

Na próxima seção, serão apresentadas as questões básicas de pesquisa a partir das quais estruturou-se este estudo.

3.2 Questões Básica de Pesquisa

Neste contexto, este estudo foi estruturado a partir das seguintes questões básicas de pesquisa:

1. Como podem ser descritas as habilidades e dificuldades dos estudantes em utilizar o “V” de Gowin na disciplina *Física Experimental I*?
2. Como esse estudo pode contribuir para a melhoria dos roteiros das experiências realizadas e do roteiro de utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*?
3. Como pode-se avaliar os critérios de avaliação de “V”s de Gowin utilizados nesse estudo?
4. Quais as adaptações necessárias à implantação de uma abordagem alternativa baseada no “V” de Gowin em uma disciplina de Laboratório Programado?

O estudo foi desenvolvido a partir destas questões, conforme está descrito na próxima Seção.

3.3 Metodologia

Para o desenvolvimento dessa investigação foi estruturado inicialmente um estudo piloto realizado no primeiro semestre de 2008 e, a partir dos resultados obtidos, foi

estruturado o estudo principal realizado no primeiro semestre de 2009. Esses estudos serão descritos a seguir.

3.3.1 Estudo Piloto

As alterações curriculares do Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, descritas na Seção 3.1.2 entraram em vigor no primeiro semestre de 2008 e motivaram esta investigação. Os 60 estudantes ingressantes na modalidade Bacharelado do período diurno se matricularam em três turmas da disciplina *Física Experimental I*. Conforme a Seção 3.1, esses foram os primeiros estudantes matriculados em uma disciplina experimental já em seu primeiro período na Universidade e, também pela primeira vez, as aulas semanais duravam duas e não três horas.

A seguir será descrito como este Estudo foi estruturado e como se deu a coleta de dados para esta etapa.

3.3.1.1 Estruturação do Estudo

A estruturação deste estudo se baseia na adaptação da disciplina *Física Experimental I* do antigo currículo, descrita na Seção 3.1.1 e baseada na Apostila de Física Experimental, às novas condições estabelecidas pela nova versão do currículo do curso de Física, Seção 3.1.2. Assim, à exemplo do que era feito antes, as três primeiras aulas de *Física Experimental I* introduziam o Tratamento de Dados em Física Experimental.

Antes das aulas de realização de experimentos, houve uma aula de apresentação de um instrumento metodológico para o processo de investigação e para a análise e interpretação de dados em uma pesquisa (Ferracioli, 2005), o “V” Epistemológico de Gowin, ou simplesmente, “V” de Gowin, que foi descrito na Seção 2.4. Nesta aula de apresentação do “V” de Gowin os estudantes receberam o texto intitulado *Método Analítico para Experimentos de Laboratório*, que consiste em um roteiro para utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*, e está disponível no Apêndice B. A partir desse material, foi proposto aos estudantes o estudo de uma experiência abordando a Lei de Hooke em um sistema de massa-mola. Os construíram um “V” de Gowin sobre este experimento sob orientação deste texto e do autor deste trabalho.

O “V” de Gowin permite o reconhecimento da estrutura do experimento (Moreira and Levandowski, 1983) ao destacar:

- os objetivos da experiência ⇒ *Questão Básica de Pesquisa*
- as teorias e leis envolvidas no experimento ⇒ *Domínio Conceitual*
- os ajustes e observações realizados ⇒ *Eventos*
- os procedimentos necessários e interpretações ⇒ *Domínio Metodológico*
- as conclusões e avaliações sobre a relevância dessas conclusões e sobre a realização do experimento ⇒ *Respostas*

Para utilizar o “V” de Gowin durante a disciplina, foi necessária uma aula de discussão sobre o “V” de Gowin de cada experimento, e esta aula deveria preceder a realização do experimento. Nesta aula os estudantes, de posse do texto “Método Analítico para Experimentos de Laboratório” e a orientação do autor deste trabalho, foram conduzidos em uma discussão sobre as partes do “V” de Gowin. Inicialmente os estudantes tentaram formular perguntas - *Questões Básicas de Pesquisa* - que seriam respondidas com o experimento em estudo. Depois era discutido o *Domínio Conceitual*, ou seja, era perguntado aos estudantes quais *Teorias* estavam envolvidas no estudo e quais *Princípios & Leis* dessas *Teorias* eram importantes. Em seguida os estudantes deveriam apresentar *Hipóteses* que deveriam considerar, tais como ausência de atrito, nivelamento dos trilhos, roldanas ideais, entre outros. Essas *Hipóteses* buscavam garantir que os *Eventos* observados estivessem em conformidade com o modelo proposto pelos *Princípios & Leis* citados. Com isso, os estudantes deveriam citar quais eram as palavras-chave envolvidas, ou seja, quais eram os *Conceitos* mais relevantes. Por fim, os estudantes eram solicitados a descrever os *Eventos* necessários para responder a *Questão Básica de Pesquisa*, incluindo todos os ajustes, as calibrações e os dados a serem coletados. O *Domínio Metodológico* e a *Resposta* para a *Questão Básica de Pesquisa* só seriam discutidas após a realização da experiência e elaboração do relatório. Nestas discussões sobre o “V” de Gowin não se registrava no quadro aquilo que os estudantes citavam para não definir um gabarito para o “V” discutido. Alguns estudantes faziam anotações e perguntas buscando mais informações para a produção de seu “V”, e os “V”s produzidos eram entregues na aula seguinte à realização do experimento em estudo juntamente com

o relatório da experiência.

Com a redução da carga horária semanal da disciplina para duas horas, foi necessária também uma aula extra para a discussão e avaliação dos relatórios produzidos pelos estudantes. Ou seja, cada experiência era realizada em três aulas, a primeira com a discussão do “V” de Gowin para aquela experiência, a segunda com a realização do experimento propriamente dito e, a terceira com a discussão e avaliação dos relatórios produzidos, quando, também, eram entregues os “V” produzidos. Dada a carga horária total da disciplina, o número de aulas iniciais, as avaliações e o número de aulas por experimento, foi possível a realização de três dos cinco experimentos disponíveis.

Os experimentos foram selecionados respeitando a disponibilidade do laboratório e, principalmente, os conteúdos desejáveis a se abordar em um curso experimental de Mecânica. Assim utilizaram-se as experiências listadas a seguir cujos roteiros são apresentados no Apêndice A.

Experiência A1 - Soma de Forças em que três contrapesos em um aparato de fios e roldanas exercem forças co-planares e não paralelas que mantêm o sistema em equilíbrio estático;

Experiência A4 - Conservação do Momento Linear - Colisões onde ocorre a colisão de dois objetos que se movem com atrito desprezível em um trilho de ar e marcam suas posições em intervalos de tempo conhecidos;

Experiência A2 - Momento de Inércia e Pêndulo de Torção em que um pêndulo de torção é posto para oscilar com contrapesos fixos ao seu eixo principal.

Com essa seleção foi possível abordar conceitos relevantes do domínio teórico da Mecânica, em uma sequência em que a complexidade dos temas envolvidos e das técnicas necessárias aumentou gradativamente. A Experiência A1 favorece a discussão inicial de medidas envolvendo incertezas e calibração de instrumentos. Além de abordar as Leis de Newton em um sistema em equilíbrio estático. A Experiência A4 requer a construção de gráficos posição em função do tempo para o cálculo de velocidades que serão necessárias às abordagens dos Princípios de Conservação de Energia e de Momento Linear em uma colisão unidimensional. A Experiência A2 aborda Dinâmica de Rotações a partir da observação da oscilação de um pêndulo de torção.

Uma importante modificação na abordagem adotada nas aulas foi que todos os grupos de estudantes de uma turma realizavam os mesmos experimentos em cada aula e não mais o sistema de rodízio característico da disciplina *Física Experimental I* do currículo antigo. Essa modificação foi necessária à discussão do “V” de Gowin de cada experimento com toda a turma.

Durante a disciplina *Física Experimental I* desse estudo piloto, os estudantes foram avaliados através de um teste sobre a Introdução ao Tratamento de Dados em Física Experimental, referentes às primeiras aulas da disciplina, de uma prova sobre as experiências, a exemplo do que era feito na disciplina similar da versão antiga do currículo e da média dos relatórios das experiências realizadas. Por este ser um estudo exploratório, optou-se por não utilizar a avaliação dos “V”s de Gowin produzidos para cálculo da média dos estudantes.

Em todas as turmas havia a presença do professor responsável pela disciplina e do monitor, estudante de Pós-Graduação do Curso de Física da Universidade Federal do Espírito Santo e autor deste estudo.

3.3.1.2 Amostragem

Em 2008/1, 31 estudantes ingressantes no Curso de Graduação em Física modalidade Físico-Pesquisador/Bacharel da Universidade Federal do Espírito Santo estavam matriculados em Física Experimental I ao final do período. Conforme será descrito na próxima Seção, os “V”s produzidos por cada estudantes foram coletados e avaliados. Ao total 27 estudantes responderam a um questionário aplicado ao final do curso para avaliação desta abordagem. Houve diferenças entre os números de “V”s coletados em cada experiências e de repostas ao questionário devido à faltas e/ou ao não cumprimento da atividade proposta em alguns casos, além de alguns estudantes que abandonaram a disciplina.

3.3.1.3 Coleta de Dados

Durante o Estudo Piloto foram realizadas três experiências após a aula de apresentação do “V” de Gowin, conforme a Seção 3.3.1.1. Na terceira aula de cada experiência,

quando os relatórios eram corrigidos, os estudantes entregavam o “V” produzido, caracterizando a coleta de dados para este estudo.

Ao final do semestre os estudantes foram solicitados a responder um questionário que consistia de duas perguntas:

1ª Pergunta: A solicitação de confecção dos V's o auxiliou na compreensão dos experimentos de Física Experimental I?

2ª Pergunta: Você recomendaria a utilização dos Vs na disciplina Física Experimental II?

Assim, os dados desse estudo piloto foi constituído dos “V” de Gowin produzidos pelos estudantes e pelas respostas ao questionário aplicado ao final do semestre.

Optou-se por não avaliar os “V”s produzidos para a primeira das três experiências realizadas porque estes foram propostos como exercícios aos estudantes. Os “V”s produzidos para as outras duas experiências foram avaliados, e os resultados foram apresentados no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física (XVIII SNEF) em 2009 por meio de um artigo que descreveu este Estudo Piloto e seus resultados. Uma cópia deste artigo encontra-se no Apêndice D.

Este estudo serviu de base para a Estruturação do Estudo Principal apresentado nas seções que seguem.

3.3.2 Estudo Principal

O Estudo Principal deste trabalho aconteceu durante o primeiro semestre de 2009, com a implantação da abordagem descrita na Seção 2.3 na disciplina *Física Experimental I*. A estruturação do estudo foi ligeiramente alterada para possibilitar a realização de um maior número de experiências. A Amostragem foi semelhante, mas contou com a presença de estudantes das duas modalidades do curso - Físico-Pesquisador/Bacharelado e Físico/Educador/Licenciatura. A Coleta de Dados se deu da mesma forma que no Estudo Piloto e a Análise de Dados, apresentada no Capítulo 4 foi alterada, permitindo a análise de um número maior de dados devido ao maior número de experimentos.

3.3.2.1 Estruturação do Estudo

Com a ampliação do número de experimentos foi necessário reduzir a carga horária de três para duas aulas dedicadas a cada experimento. Isto é, em 2009/1, durante o Estudo Principal, no início da primeira aula de cada Experimento era realizada uma discussão abordando o “V” de Gowin para aquele experimento na forma descrita na Seção 3.3.1.1, em que os estudantes deveriam i) formular *Questões Básicas* a cerca da situação estudada; ii) discutir e organizar o *Domínio Conceitual* desta situação e iii) descrever os *Eventos* a serem realizados para se responder as *Questões* propostas. O restante da aula era reservado para realização do experimento em si.

A discussão e correção dos Relatórios produzidos ocorria na segunda aula de cada experiência. Durante esta aula, os estudantes participavam de uma discussão em grupo em que deveriam apresentar e defender suas conclusões sobre o experimento e entregar o “V” produzido em casa para o experimento em estudo.

A redução de três para duas aulas para a realização de um número maior de experimentos favoreceu o andamento das aulas, pois, a proximidade entre realização das experiências e a discussão do “V” de Gowin correspondente destacava as relações entre o *Domínio Conceitual* e o *Evento* a ser realizado para a coleta de dados. Os estudantes tinham oportunidade de visualizar o experimento e já prepará-lo durante a discussão sobre o “V” de Gowin, o que significa uma importante alteração quando comparado com o estudo piloto.

Assim como durante o estudo piloto, no estudo principal as três primeiras aulas foram destinadas à Introdução ao Tratamento de Dados em Física Experimental e na quarta aula foi aplicado um teste sobre o assunto

Na aula seguinte ao teste o “V” de Gowin foi apresentado aos estudantes através do texto “Método Analítico para Experimentos de Laboratório”, que foi utilizado como um roteiro para a utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I* e está disponível no Apêndice B. Nesta aula foi solicitado aos estudantes a construção de um “V” de Gowin sobre um experimento que não fazia parte do conjunto da disciplina.

Os cinco experimentos selecionados para o Estudo Principal foram: A1 - Soma de Forças, já descrito na Seção 3.3.1.1; A5 - Segunda Lei de Newton, em que um contrapeso é pendurado a um objeto que se move livremente sobre um trilho horizontal

sem atrito registrando as posições do objeto em intervalos de tempo conhecidos; A4 - Conservação do Momento Linear - Colisões, também descrito na Seção 3.3.1.1; X1 - Plano Inclinado, em que um objeto pode mover-se livremente em um Plano Inclinado sem atrito registrando suas posições também em intervalos de tempo conhecidos; e A3 - Momento de Inércia e Dinâmica de Rotação em que um contrapeso ao ser solto gira um aro de bicicleta horizontal. Esta nomenclatura está de acordo com a adotada pelo na Apostila de Física Experimental disponível aos estudantes de todos os cursos que utilizam o Laboratório de Física Experimental cujos roteiros se encontram no Apêndice A

Esta seleção atende à ementa da disciplina presente nos Projetos Políticos Pedagógicos (do Curso de Graduação em Física, 2007a,b) e respeita o programa de disciplina definido na Apostila de Física Experimental para todos os cursos. Era necessário respeitar este programa para garantir a disponibilidade dos equipamentos. O calendário da disciplina *Física Experimental I* das turmas participantes deste Estudo foi igual ao utilizado pelas turmas de outros cursos. Foi devido à correspondência entre as disciplinas que a Experiência A2 - Momento de Inércia e Pêndulo de Torção utilizada durante o Estudo Piloto foi substituída pela Experiência A3 - Momento de Inércia e Dinâmica de Rotação que aborda os mesmos *Conceitos* fundamentais.

Com isso, a primeira experiência ainda era a A1 e introduzia os estudantes ao ambiente de laboratório e à prática de calibração de instrumentos. A experiência seguinte, A5, retrata a 2ª Lei de Newton numa montagem mais complexa que permite também a abordagem de conceitos da Cinemática, assim como as experiências A4 e X1, com as quais compartilham a mesma montagem. E por fim, a experiência A3 envolve a aplicação da Segunda Lei de Newton para Rotações e contém os principais conceitos de Dinâmica de Rotações.

Assim como no estudo piloto, os estudantes foram avaliados através de um teste sobre a Introdução ao Tratamento de Dados em Física Experimental, referentes às primeiras aulas da disciplina, de uma prova sobre as experiências e, da média dos relatórios das experiências realizadas. Após a avaliação dos resultados do estudo piloto, decidiu-se por não utilizar a avaliação dos "V"s de Gowin produzidos para cálculo da média dos estudantes.

Novamente, em todas as turmas havia a presença do professor responsável pela disciplina e do monitor, estudante de Pós-Graduação do Curso de Física da Universidade Federal do Espírito Santo e autor deste estudo.

3.3.2.2 Amostragem

Ao todo 29 estudantes estavam matriculados nas turmas de Física Experimental I participantes deste Estudo Principal, sendo 09 alunos do 2º Período da modalidade Físico-Educador/Licenciatura e 20 alunos do 1º período da modalidade Físico-Pesquisador/Bacharel. A seguir é apresentado o Protocolo de Dados para este estudo.

3.3.2.3 Coleta de Dados

Conforme descrito foram realizadas cinco experiências no Estudo Principal e todos os “V”s produzidos pelos estudantes foram coletados e constituem o Protocolo de Dados para este trabalho conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Protocolo de Dados para o Estudo Principal

Experimento	Número de “V”s coletados
Experiência A1	27 “V”s
Experiência A5	17 “V”s
Experiência A4	22 “V”s
Experiência X1	21 “V”s
Experiência A3	16 “V”s

As diferenças observadas ocorreram devido à faltas e/ou ao não cumprimento da atividade proposta e ao fato de alguns estudantes terem abandonado a disciplina.

Concluindo a descrição das Concepções do Estudo, o próximo capítulo apresenta a Análise de Dados e o Capítulo 5 apresenta as Discussões e Conclusões desse estudo.

Capítulo 4

Análise de Dados

Este estudo tem como objetivo investigar a utilização do “V” Epistemológico de Gowin como instrumento metodológico com enfoque no processo de investigação e para a análise e interpretação de dados como em uma pesquisa (Ferracioli, 2005) na disciplina *Física Experimental I* do novo currículo da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Esse capítulo apresenta a Metodologia de Análise de Dados utilizada, os critérios de avaliação dos “V”s de Gowin produzidos e os *Resultados* dessa avaliação.

4.1 Metodologia de Análise de Dados

Os “V”s de Gowin produzidos pelos estudantes na disciplina *Física Experimental I* foram avaliados de acordo com a metodologia proposta por Mintzes et al. (2000) e apresentada na Seção 2.6 e que será descrita na próxima seção. Esta metodologia consiste na classificação dos aspectos dos “V” de Gowin produzidos de acordo com os critérios de avaliação definidos.

Para a utilização da metodologia de avaliação proposta por Mintzes et al. (2000), porém, foi necessária adaptá-la a realidade de um curso de Física Experimental, de forma análoga às adaptações necessárias ao próprio “V” de Gowin, descritas na Seção 2.5.

A seguir são apresentados os critérios de avaliação utilizados neste estudo.

4.1.1 Critério de Avaliação para Questão Básica de Pesquisa

Conforme apresentado na Seção 2.4, os objetivos de um estudo representado em um diagrama “V” são escritos na forma de perguntas que devem ser respondidas a partir de sua realização. Assim, a Tabela 4.1 apresenta os Parâmetros de Avaliação do aspecto *Questão Básica de Pesquisa*. Esses parâmetros são similares aos definidos por Mintzes et al. (2000) e consistem em classificar a *Questão Básica de Pesquisa* dos “V”s produzidos por cada estudante em cada um desses parâmetros.

Tabela 4.1: Critério de Avaliação para *Questão Básica de Pesquisa*

Valor	Parâmetro de Avaliação
0	Sem <i>Questão Básica de Pesquisa</i> identificada
1	<i>Questão Básica de Pesquisa</i> identificada, mas não inclui os principais <i>Conceitos E</i> não aborda corretamente os <i>Eventos OU o Domínio Conceitual</i>
2	<i>Questão Básica de Pesquisa</i> identificada, mas não inclui os principais <i>Conceitos OU</i> não aborda corretamente os <i>Eventos OU o Domínio Conceitual</i>
3	<i>Questão Básica de Pesquisa</i> identificada, inclui os principais <i>Conceitos E</i> aborda corretamente os <i>Eventos E o Domínio Conceitual</i>

O valor 0, correspondente à “Sem *Questão Básica de Pesquisa* identificada” é escolhido quando o “V” avaliado não possui esse aspecto ou quando no lugar da *Questão Básica de Pesquisa* encontra-se uma afirmação do tipo “ $\sum \vec{F} = \vec{0}$ ” - como exemplo para a Experiência A1. O valor 1 é aplicado quando a *Questão Básica de Pesquisa* é identificada mas deixa de apresentar *Conceitos* importantes **E** não aborda corretamente os *Eventos* ou o *Domínio Conceitual*, o que caracteriza uma descrição incompleta dos objetivos da experiência na *Questão Básica de Pesquisa*. Os valores 2 e 3 correspondem à *Questões* mais contextualizadas com o restante do “V” deixando de apresentar, no máximo, um dos aspectos previstos.

4.1.2 Critério de Avaliação para Domínio Conceitual

A avaliação do *Domínio Conceitual* de um “V” de Gowin está diretamente relacionada com a avaliação da habilidade de identificar os aspectos do *Domínio Conceitual* e

relacioná-los entre si e com os demais aspectos do “V”. Não se deve inferir diretamente sobre as concepções do estudante com a avaliação proposta e sim com a habilidade de “desempacotar” (Ferracioli, 2005; Novak and Gowin, 1984) essa estrutura conceitual em um diagrama “V”.

Tabela 4.2: Critério de Avaliação para *Domínio Conceitual*

Valor	Parâmetro de Avaliação
0	Ausência dos principais <i>Conceitos</i> E dos <i>Princípios & Leis</i>
1	Ausência dos principais <i>Conceitos</i> OU dos <i>Princípios & Leis</i> ; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si
2	Presença dos principais <i>Conceitos</i> E dos <i>Princípios & Leis</i> , coerentes entre si, mas inconsistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> OU com os <i>Eventos</i>
3	Presença dos principais <i>Conceitos</i> E dos <i>Princípios & Leis</i> , coerentes entre si, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> E com os <i>Eventos</i> , mas ausência das <i>Hipóteses</i> pertinentes
4	Presença dos principais <i>Conceitos</i> E dos <i>Princípios & Leis</i> , coerentes entre si, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> E com os <i>Eventos</i> , E apresentação de <i>Hipóteses</i> não pertinentes
5	Presença dos principais <i>Conceitos</i> E dos <i>Princípios & Leis</i> , coerentes entre si, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> E com os <i>Eventos</i> , E apresentação de <i>Hipóteses</i> pertinentes

A Tabela 4.2 apresenta os parâmetros de avaliação de *Domínio Conceitual* utilizados neste estudo. O valor 0 indica que a descrição do *Domínio Conceitual* não inclui os principais *Conceitos* e *Princípios* esperados. O valor 1 também se refere à descrições incompletas que deixam de apresentar *Conceitos* ou *Princípios* importantes. O valor 2 inclui os principais aspectos esperados em *Domínio Conceitual* ainda que algum desses aspectos não esteja de acordo com a *Questão Básica de Pesquisa* ou com os *Eventos*: ou seja, não deve haver *Conceitos* ou *Princípios* desnecessários ao alcance dos objetivos do estudo. Os valores 3, 4 e 5 correspondem a “Presença dos principais *Conceitos* E dos *Princípios & Leis*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* E com os *Eventos*”, no entanto, eles se diferem pela presença de *Hipóteses* relativas à

validação dos *Princípios* citados no *Evento* realizado. Ao produzir um “V” classificado com um desses valores, pode se considerar que o estudante desenvolveu a habilidade de descrever o *Domínio Conceitual* como o esperado em um “V” de Gowin.

4.1.3 Critério de Avaliação para Eventos

Conforme a Seção 2.4, *Evento* é aquilo que se observa ou que se faz acontecer para responder à *Questão Básica de Pesquisa* do estudo em foco. Os parâmetros de avaliação apresentados na Tabela 4.3 não valorizam descrições detalhadas do experimento, mas sim, descrições que relacionam as atividades realizadas com os objetivos da experiência e com os procedimentos seguintes aos *Eventos*.

Tabela 4.3: Critério de Avaliação para *Eventos*

Valor	Parâmetro de Avaliação
0	Sem <i>Eventos</i> identificados
1	<i>Eventos</i> identificados, mas inconsistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i>
2	<i>Eventos</i> identificados, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> , mas sem a indicação dos possíveis <i>Registros</i>
3	<i>Eventos</i> identificados, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> , com a indicação dos possíveis <i>Registros</i>

O valor 0 da Tabela 4.3 é aplicado quando não há descrições dos *Eventos* realizados no “V” de Gowin avaliado. O valor 1 também é incompleto, pois, indica que não se observa relação entre os *Eventos* descritos e a *Questão Básica de Pesquisa*. Os valores 2 e 3 representam descrições consistentes com as *Questões* propostas, sendo que o valor 2 corresponde às descrições que não indicam os *Registros* coletados com a realização do estudo.

4.1.4 Critério de Avaliação para Domínio Metodológico

O *Domínio Metodológico* caracteriza o *lado do fazer* do “V” de Gowin e reúne os procedimentos necessários para se chegar à *Resposta* da *Questão Básica de Pesquisa*.

Após a observação ou realização dos *Eventos*, *Registros* são coletados e passam por *Transformações* que geram *Resultados*. Estes *Resultados* devem ser interpretados com base nos *Princípios & Leis* propostos e essas *Interpretações* concluem o *lado do fazer*. De posse dessas *Interpretações* pode-se concluir o experimento.

Tabela 4.4: Critério de Avaliação para *Domínio Metodológico*

Valor	Parâmetro de Avaliação
0	Ausência dos principais <i>Registros</i> E das <i>Transformações</i>
1	Ausência dos principais <i>Registros</i> OU das <i>Transformações</i> ; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si
2	Presença dos principais <i>Registros</i> E das <i>Transformações</i> , coerentes entre si, mas inconsistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> OU com os <i>Eventos</i>
3	Presença dos principais <i>Registros</i> E das <i>Transformações</i> , coerentes entre si, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> E com os <i>Eventos</i> , mas ausência das <i>Interpretações</i> pertinentes
4	Presença dos principais <i>Registros</i> E das <i>Transformações</i> , coerentes entre si, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> E com os <i>Eventos</i> , E apresentação de <i>Interpretações</i> não pertinentes
5	Presença dos principais <i>Registros</i> E das <i>Transformações</i> , coerentes entre si, consistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> E com os <i>Eventos</i> , E apresentação de <i>Interpretações</i> pertinentes

O critério de avaliação apresentado na Tabela 4.4 para *Domínio Metodológico* é semelhante ao critério para *Domínio Conceitual*, apresentado na Tabela 4.2. O valor 0 corresponde a ausência dos principais *Registros* e das principais *Transformações*, enquanto o valor 1 é aplicado quando deixa-se de citar apenas um desses aspectos, ou quando cita-se ambos mas incoerentes entre si. O parâmetro de avaliação referente ao valor 2 inclui os principais *Registros* e *Transformações* coerentes entre si, mas descritos de forma inconsistente com a *Questão Básica de Pesquisa* ou com os *Eventos*. Os valores 3, 4 e 5 correspondem a descrições do *Domínio Metodológico* em que observa-se “Presença dos principais *Registros* E das *Transformações*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* E com os *Eventos*”. A diferença entre esse valores é a

apresentação ou não de *Interpretações* pertinentes ao estudo. Assim como em *Domínio Conceitual*, os valores 3, 4 e 5 podem ser considerados satisfatórios por indicarem que os estudantes apresentaram a habilidade de descrever esse aspecto do “V” de Gowin.

4.1.5 Critério de Avaliação para Resposta

A *Resposta* representa a conclusão do estudo. No diagrama “V” proposto por Gowin e apresentado na Seção 2.4 esse aspecto era intitulado *Asserção de Conhecimento*, e a modificação, descrita na Seção 2.5 se deu para evidenciar que esse aspecto informa a *Resposta* para a *Questão Básica de Pesquisa*. A conclusão do “V” de Gowin apresenta também as *Asserções de Valor* em que o estudante faz uma avaliação sobre a relevância da *Resposta* alcançada e sobre a relevância da realização do experimento.

Tabela 4.5: Critério de Avaliação para *Resposta*

Valor	Parâmetro de Avaliação
0	Ausência da <i>Resposta</i> OU da <i>Asserção de Valor</i>
1	Presença da <i>Resposta</i> E da <i>Asserção de Valor</i> , mas incoerentes entre si
2	Presença da <i>Resposta</i> E da <i>Asserção de Valor</i> , coerentes entre si, mas inconsistentes com as <i>Interpretações</i>
3	Presença da <i>Resposta</i> E da <i>Asserção de Valor</i> , coerentes entre si, consistentes com as <i>Interpretações</i> , mas inconsistentes com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i>
4	Presença da <i>Resposta</i> E da <i>Asserção de Valor</i> , coerentes entre si, consistentes com as <i>Interpretações</i> E com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> , mas inconsistentes com o <i>Domínio Conceitual</i> OU com o <i>Domínio Metodológico</i>
5	Presença da <i>Resposta</i> E da <i>Asserção de Valor</i> , coerentes entre si, consistentes com as <i>Interpretações</i> , com a <i>Questão Básica de Pesquisa</i> , com o <i>Domínio Conceitual</i> E com o <i>Domínio Metodológico</i>

A Tabela 4.5 apresenta os parâmetros de avaliação para as *Respostas* presentes nos “V”s produzidos pelos estudantes nesse estudo. O valor 0 indica que não há *Resposta* ou *Asserção de Valor* identificadas no “V”. O valor 1 é aplicado quando esses dois aspectos estão presentes, mas são incoerentes entre si. O valor 2 aponta que a *Resposta* apre-

sentada é inconsistente com as *Interpretações* feitas no *Domínio Metodológico*. O valor 3 indica que a *Resposta* não se relaciona com a *Questão Básica de Pesquisa* apresentada no “V” de Gowin avaliado. Os valores 4 e 5 correspondem à “Presença da *Resposta* E da *Asserção de Valor*, coerentes entre si, consistentes com as *Interpretações* e com a *Questão Básica de Pesquisa*”, sendo que para o valor 4, observa-se alguma inconsistência com o *Domínio Conceitual* ou com o *Domínio Teórico*. Os valores 4 e 5 correspondem a *Respostas* em que observou-se a habilidade do estudante em descrever esse aspecto em um diagrama “V”.

Ao fim da classificação dos “V”s de Gowin produzidos de acordo com os critérios acima descritos, montou-se histogramas para verificar as frequências observadas para cada valor referente aos parâmetros de avaliação listados nestas tabelas.

Estes histogramas favorecem a interpretação do desempenho obtido com os “V”s de Gowin de cada Experiência, mas para uma comparação entre os desempenhos em diferentes experiências optou-se por representar as frequências relativas, em gráficos tipo “pizza”. No Estudo Piloto, Seção 3.3.1 e Apêndice D, os histogramas eram adequados para comparação de dois experimentos com amostras semelhantes. No entanto, com a ampliação do número de experimentos para cinco, o gráfico tipo “pizza” melhor auxilia na visualização dos dados.

A seguir, estão os resultados das avaliações dos “V” de Gowin produzidos.

4.2 Avaliações dos “V”s de Gowin produzidos

Para responder as Questões Básicas de Pesquisa deste estudo apresentadas na Seção 3.2, foram avaliados “V”s de Gowin produzidos por estudantes ingressantes no Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo a partir das experiências realizadas na disciplina *Física Experimental I*, conforme descrito na Seção 3.3.2.1. A avaliação foi realizada de acordo com os critérios apresentados na Seção 4.1.

A análise de dados será feita em duas perspectivas. Inicialmente será feita uma abordagem por experimentos baseada na análise de histogramas apresentando a distribuição de respostas aos cinco aspectos do “V” de Gowin, o que é denominado Análise Longitudinal. Na sequência é apresentada a Análise Transversal baseada na análise com-

parativa entre os gráficos dos cinco experimentos para cada aspecto do “V” de Gowin.

4.2.1 Análise Longitudinal: Experiências

A Análise Longitudinal é feita a partir dos histogramas com as frequências de cada um dos parâmetros de avaliação para cada aspecto da estrutura do “V” de Gowin apresentados na Seção 4.1. Assim, o critério de avaliação definido para cada aspecto do “V” de Gowin está indicado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Referências para a Análise de Dados

Aspecto do “V” de Gowin	Critério de Avaliação
<i>Questão Básica de Pesquisa</i>	Tabela 4.1
<i>Domínio Conceitual</i>	Tabela 4.2
<i>Eventos</i>	Tabela 4.3
<i>Domínio Metodológico</i>	Tabela 4.4
<i>Resposta</i>	Tabela 4.5

Os histogramas foram agrupados por experiência e na legenda de cada grupo está indicado o número de estudantes que produziram o “V” de Gowin correspondente, uma vez que, conforme descrito na Seção 3.3.2.3, o número de estudantes foi variável ao longo do estudo. Para a análise de dados por experiência é apresentada, inicialmente, uma breve descrição da mesma, para destacar os aspectos apresentados na análise que segue.

4.2.1.1 Experiência A1 - Soma de Forças

O primeiro experimento, a Experiência A1 - Soma de Forças, conforme descrito no roteiro disponibilizado no Apêndice A, consiste em um barbante que passa por duas roldanas fixas em um plano vertical e três contrapesos são pendurados no barbante, sendo um em cada extremidade e um na parte central, entre as roldanas. A experiência consiste na escolha de diferentes conjuntos de contrapesos de modo que a configuração atinja um equilíbrio estático, na medida de suas massas e dos ângulos observados no

ponto central do barbante. A partir da decomposição de forças é possível determinar a força resultante em cada eixo para cada conjunto de contrapesos. Dessa forma, a Experiência A1 - Soma de Forças evidencia um sistema em equilíbrio estático e possibilita a abordagem da Dinâmica de Forças. Para a realização do experimento ainda é necessária a calibração do dinamômetro utilizado e a obtenção na incerteza das medidas de força.

Essa experiência é de fácil realização mas requer atenção nos cálculos para determinação da incerteza das forças e do desvio na escala do dinamômetro. Os procedimentos de medidas de massa, força e ângulos, com a determinação de suas incertezas compõem uma importante introdução ao curso de Física Experimental e, geralmente, os estudantes apresentam resultados satisfatórios, embora não estejam acostumados com a apresentação destes resultados e dos procedimentos realizados no formato de um relatório.

Para a Experiência A1, 27 estudantes produziram “V”s de Gowin e a Figura 4.1 apresenta os histogramas para os cinco aspectos do “V” de Gowin. A Figura 4.1.a apresenta o histograma dos valores obtidos para *Questão Básica de Pesquisa* onde se observa que um terço dos “V”s avaliados obtiveram valor 0, que da Tabela 4.1 significa “Sem *Questão Básica de Pesquisa* identificada”. É importante notar que esperava-se que os objetivos da experiência fossem escritos na forma de pergunta que deveria ser respondida com a realização da experiência, visto que isso foi destacado na aula de apresentação do “V” de Gowin e o roteiro para utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*, disponível no Apêndice B, entregue aos alunos. Pouco menos de um terço dos “V”s avaliados apresentaram o valor 1 que corresponde a “*Questão Básica de Pesquisa* indicada, que não inclui os principais *Conceitos E* não aborda corretamente os *Eventos OU o Domínio Conceitual*”. Os valores 2 ou 3 observados na Figura 4.1.a em pouco mais de um terço dos “V” avaliados indicam a presença de uma *Questão Básica de Pesquisa* que deixa de apresentar, no máximo, um dos aspectos previstos no critério de avaliação apresentado na Tabela 4.1.

No histograma da Figura 4.1.b estão as frequências relativas ao *Domínio Conceitual*. Observa-se que o valor 0 não foi encontrado e que menos de um terço dos “V”s obtiveram valor 1, relativo à “Ausência dos principais *Conceitos OU dos Princípios & Leis*; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si”, de acordo com a Tabela 4.2. Estes 06 “V”s não apresentaram *força* entre os *Conceitos* o que implicou nesta classificação.

Por outro lado, a grande maioria dos “V”s obtiveram valores 4 ou 5, o que sugere habilidade para descrição do *Domínio Conceitual* nesse experimento, visto que, de acordo com a Tabela 4.2 estes valores significam “Presença dos principais *Conceitos* E dos *Princípios & Leis*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* E com os *Eventos*, E apresentação de *Hipóteses*”.

A Figura 4.1.c apresenta o resultado da avaliação da descrição dos *Eventos* e novamente o valor 0 não foi observado. O histograma mostra que pouco mais de um terço dos “V”s apresentaram valor 1, o que é insatisfatório, pois, de acordo com a Tabela 4.3 apresenta *Eventos* inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa*. Mais da metade dos “V”s avaliados, porém, apresentaram valores 2 ou 3. O valor 2 indica “*Eventos* identificados, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa*, mas sem a indicação dos possíveis *Registros*”, porém, esses mesmos *Registros* devem ser listados no *Domínio Metodológico* do “V” correspondente. Enquanto o valor 3 significa que os *Eventos* foram identificados, estão consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* e há a indicação dos possíveis *Registros*.

A Figura 4.1.d mostra que 04 estudantes obtiveram o valor 0 em *Domínio*

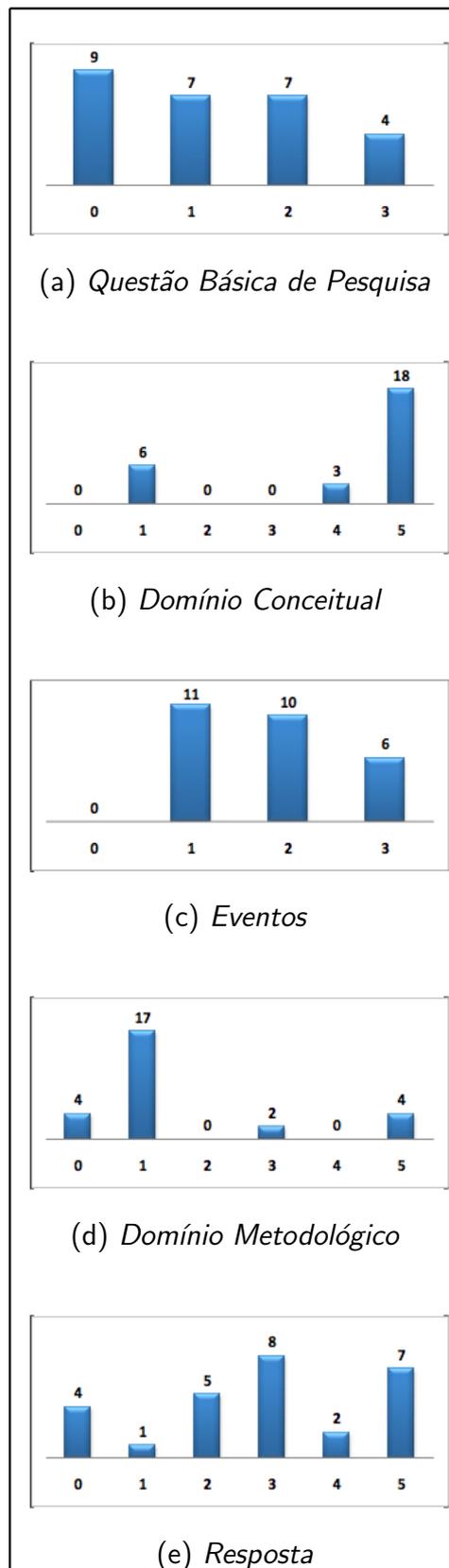


Figura 4.1: Histogramas dos Valores para a Experiência A1. Amostra com N=27.

Metodológico devido à “Ausência dos principais *Registros E* das *Transformações*” - Tabela 4.4 - mesmo que os “V”s tenham sido coletados após a realização da experiência e do relatório. O valor 1 foi obtido pela maioria dos 27 “V”s avaliados devido à “Ausência dos principais *Registros OU* das *Transformações*; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si”. Menos de um quarto dos estudantes descreveram o *Domínio Metodológico* com “Presença dos principais *Registros E* das *Transformações*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa E* com os *Eventos*”, sendo que entre estes, dois “V”s não apresentavam *Interpretações* pertinentes”.

A Figura 4.1.e revela uma acentuada distribuição de frequência entre as possibilidades para esse critério e mostra que 4 estudantes obtiveram o valor 0 por não mencionarem a *Resposta OU* a *Asserção de Valor*. Outros 14 “V”s apresentaram “Presença da *Resposta E* da *Asserção de Valor*” mas inconsistentes entre si - valor 1 - inconsistentes com as *Interpretações* - valor 2 - ou ainda inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* - valor 3 - de acordo com a Tabela 4.5. Um terço dos estudantes, porém, apresentou *Respostas* consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* e obtiveram os valores 4 ou 5 da Tabela 4.5.

A solicitação da construção do “V” de Gowin para um experimento era uma novidade para estes estudantes. Antes da Experiência A1 apenas uma atividade foi realizada propondo aos estudantes a identificação dos aspectos do “V”. Muitos estudantes deixaram de descrever a *Questão Básica de Pesquisa* ou as *Transformações* necessárias para respondê-la, provavelmente por não estarem familiarizados com a metodologia que solicita o registro de todos os aspectos presentes na estrutura de um experimento realizado. Ainda assim, os “V”s avaliados apresentavam uma descrição consistente do *Domínio Conceitual* referente a este experimento.

4.2.1.2 Experiência A5 - 2ª Lei de Newton

A segunda experiência selecionada foi a Experiência A5 - 2ª Lei de Newton que, conforme descrito no roteiro disponibilizado no Apêndice A, consiste em um carrinho sobre um trilho de ar, sem atrito, e um contrapeso pendurado ao carrinho por uma fita que também não encontra resistência ao movimento. A posição do carrinho é registrada em uma fita termossensível fixada no trilho por uma faísca gerada em um frequencímetro

e transmitida por um fio paralelo ao trilho e por um arame fixado no carrinho. A experiência é realizada duas vezes com carrinhos de massas diferentes e conhecidas. A partir dos registros de posição dos carrinhos em intervalos de tempo conhecidos entre as faíscas são montadas tabelas com os valores de velocidade instantânea dos carrinhos. Os estudantes produzem, então, um gráfico com a variação da velocidade instantânea em função do tempo para cada carrinho do qual é obtido o coeficiente angular do gráfico que é a sua aceleração. Este valor é, então, comparado com a razão entre o módulo da força peso do contrapeso e a massa total do sistema composto por um carrinho e o contrapeso.

Embora o movimento dos carrinhos tenha a duração de poucos segundos, para a realização da experiência são necessários o nivelamento do trilho, a fixação da fita termossensível e a escolha da frequência no faiscador. Após a observação do movimento dos carrinhos, os registros das posições dos carrinhos são obtidos das marcas na fita com auxílio de uma régua. Estes procedimentos serão repetidos nas experiências A4 e X1, mas fazê-los pela primeira vez consome bastante tempo dos estudantes.

Ao todo, 17 estudantes produziram “V”s de Gowin para a Experiência A5 e a Figura 4.2 reúne os histogramas com as distribuições dos parâmetros de avaliação para os aspectos do “V”.

Pouco menos da metade dos “V”s de Gowin avaliados obtiveram o valor 1, o que corresponde a uma “*Questão Básica de Pesquisa* identificada, mas que não inclui os principais *Conceitos* E não aborda corretamente os *Eventos* OU o *Domínio Conceitual*” conforme discrimina a Tabela 4.1. O mesmo número de estudantes obteve valor 2 ou 3, que significa que deixaram de apresentar, no máximo, um dos aspectos citados para o valor 2 na Tabela 4.1: “*Questão Básica de Pesquisa* identificada, mas não inclui os principais *Conceitos* OU não aborda corretamente os *Eventos* OU o *Domínio Conceitual*”.

O histograma da Figura 4.2.b mostra que a grande maioria apresentou em seu *Domínio Conceitual* “*Presença dos principais Conceitos* E dos *Princípios & Leis*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* E com os *Eventos*, E apresentação de *Hipóteses*”. O valor 0 não foi observado, e novamente, o valor 1 foi registrado em um caso que não citou *Força* entre os *Conceitos* relevantes, o que justifica a classificação de acordo com o parâmetro “*Ausência dos principais Conceitos* OU dos

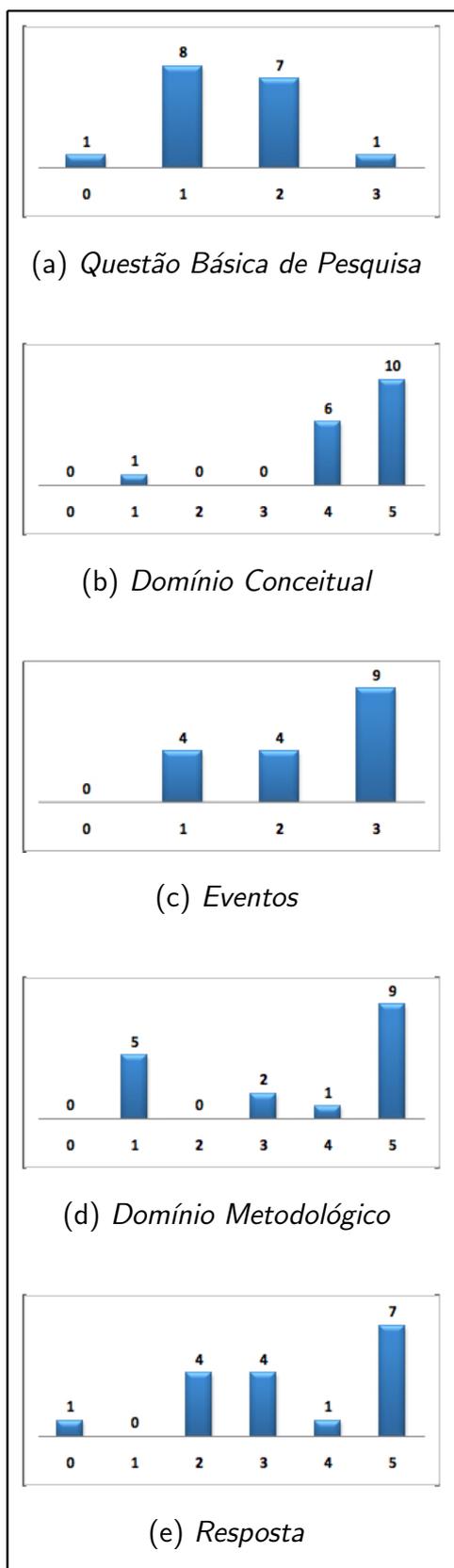


Figura 4.2: Histogramas dos Valores para a Experiência A5. Amostra com N=17.

Princípios & Leis; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si” da Tabela 4.2.

Em relação ao aspecto *Eventos*, nenhum estudante deixou de descreverlos uma vez que o valor 0 não foi observado conforme mostra a Figura 4.2.c. Ainda que 4 destes estudantes tenham obtido o valor 1, correspondentes a descrições inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa*, a grande maioria dos 17 “V”s apresentaram *Eventos* pertinentes, sendo que desses, 4 deixaram de mencionar os *Registros* necessários.

A Figura 4.2.d mostra o histograma para o *Domínio Metodológico* e revela que pouco menos de um terço dos “V”s avaliados receberam o valor 1 referente à “Ausência dos principais *Registros* OU das *Transformações*; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si”, de acordo com a Tabela 4.4. Nesse caso, o principal motivo foi a ausência das *Transformações* necessárias para responder à *Questão Básica de Pesquisa*. A grande maioria dos dois terços restantes obtiveram o valor máximo correspondente à “Presença dos principais *Registros* E das *Transformações*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* E com os *Eventos*, E apresentação de *Interpretações* pertinentes”.

A Figura 4.2.e mostra que um estudante não escreveu a *Resposta* para a *Ques-*

tão Básica de Pesquisa proposta. Além deste, pouco menos da metade dos estudantes produziram “V”s classificados com os valores 2 ou 3 por apresentarem a “Presença da *Resposta E* da *Asserção de Valor*, coerentes entre si” inconsistentes com as *Interpretações* ou com a *Questão Básica de Pesquisa*. Concluindo, aproximadamente metade dos outros “V”s apresentam valores 4 ou 5 para *Resposta*, sendo 5 o valor mais frequente e que corresponde à “Presença da *Resposta E* da *Asserção de Valor*, coerentes entre si, consistentes com as *Interpretações*, com a *Questão Básica de Pesquisa*, com o *Domínio Conceitual E* com o *Domínio Metodológico*”, segundo a Tabela 4.5.

O desempenho geral na utilização do “V” de Gowin observado na Experiência A5 sugere que os estudantes tem habilidade em registrar no “V” de Gowin os principais *Conceitos* e *Princípios* referentes ao *Domínio Conceitual* de Dinâmica de Forças e também em identificar os procedimentos necessários para responder a *Questão Básica de Pesquisa*, assim como para descrever os *Eventos* realizados. Entretanto, pode se observar dificuldades para a definição dos objetivos da experiência - *Questão Básica de Pesquisa* - e também para se concluir sobre o que foi feito - *Resposta* - no formato proposto.

4.2.1.3 Experiência A4 - Conservação do Momento Linear - Colisões

A Experiência A4, conforme descrito no roteiro disponibilizado no Apêndice A, consiste em um carrinho em movimento com velocidade constante sobre o mesmo trilho de ar da Experiência A5, sem atrito, que colide com outro carrinho em repouso da parte central do trilho. Paralelo ao trilho há fios que conduzem faíscas em intervalo de tempo pré-determinados que são transmitidas a uma fita termossensível por arames fixados aos carrinhos, registrando a posição dos carrinhos a cada intervalo de tempo entre as faíscas. A partir destes dados os estudantes produzem gráficos de variação de posição em função do tempo para cada carrinho, antes e depois da colisão obtendo suas velocidades através da determinação dos coeficientes angulares. Com esses dados e com as massas dos carrinhos fornecidas é possível verificar se há ou não Conservação de Energia e de Momento Linear do sistema composto pelos carrinhos.

A Figura 4.3.a aponta 4 “V”s com valor 0 significando que esses estudantes não escreveram uma *Questão Básica de Pesquisa* em seus “V”s. Cerca de um terço dos estudantes obteve o valor 1 por não referenciar os *Eventos* e não citar *Conservação de*

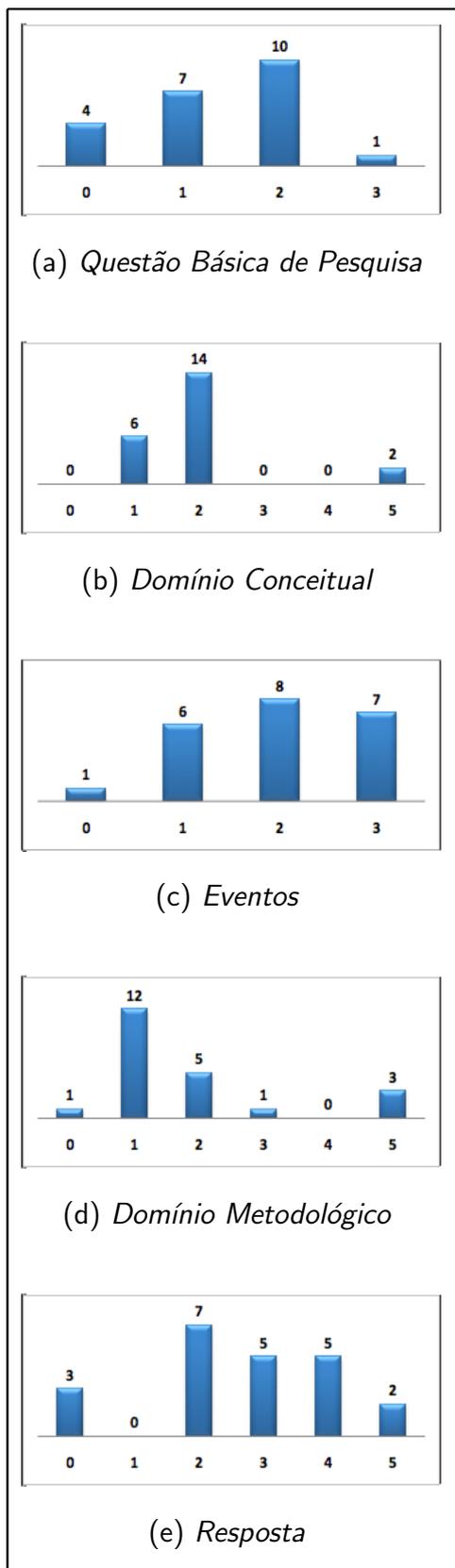


Figura 4.3: Histogramas dos Valores para a Experiência A4. Amostra com N=22.

Energia ou mesmo *Energia* na *Questão Básica de Pesquisa*, sendo que um dos objetivos da experiência é avaliar se há ou não Conservação de Energia Mecânica na colisão estudada. Este resultado pode estar relacionado com a descrição dos objetivos da experiência presente no roteiro do experimento, disponível no Apêndice A. Neste roteiro está escrito:

“Verificar que o momento linear total de um sistema se conserva durante as colisões que podem ocorrer dentro do sistema considerado; que a velocidade do centro de massa não se altera.” (de Física, 2009)

Sendo que para a elaboração do relatório, o mesmo roteiro solicita, ao final, o cálculo e a comparação dos valores de energia cinética inicial e final do sistema, caracterizando o estudo da Conservação de Energia Cinética juntamente com o estudo da Conservação do Momento Linear - Colisões como principais temas estudados nesta experiência, sem no entanto explicitar nos objetivos.

Concluindo esse aspecto, em Metade dos “V” avaliados observou-se *Questão Básica de Pesquisa* identificada, inclui os principais *Conceitos* E aborda corretamente o

Domínio Conceitual, mas sem referenciar os *Eventos* realizados.

A Figura 4.3.b revela que a grande maioria dos “V” avaliados apresentaram valor 1 ou 2 em *Domínio Conceitual*, sendo que o valor 1 que corresponde à “Ausência dos principais *Conceitos* OU dos *Princípios & Leis*; OU, ambos presentes, mas incoerentes entre si”, de acordo com a Tabela 4.2, e o valor 2 foi atribuído aos “V”s avaliados que apresentaram os principais *Conceitos* e *Princípios*, incluindo *Energia* e *Conservação de Energia*, porém, como não mencionaram estes nos objetivos da experiência, o *Domínio Conceitual* nestes casos foi inconsistente com a *Questão Básica de Pesquisa*. A avaliação sempre foi coerente com os critérios definidos, entretanto, alguma sensibilidade se faz necessária na leitura dos gráficos ilustrados. O valores 1 e 2 em *Domínio Conceitual* destacam, neste caso, uma inconsistência entre a presença do *Conceito* *Energia* e a *Questão Básica de Pesquisa*, visto que esta não se refere à *Conservação de Energia*. Conforme a Seção 2.6 os critérios de avaliação valorizam a relação entre os aspectos do “V” de Gowin, ou seja, o compromisso entre o *Domínio Conceitual* e a *Questão Básica de Pesquisa* implicou na classificação do *Domínio Conceitual* nos valores 1 e 2 por apresentarem *Conceitos* e *Princípios & Leis* desnecessários para responder a *Questão Básica de Pesquisa*.

Em relação ao aspecto *Eventos* apresentado na Figura 4.3.c, um estudante não identificou os *Eventos* necessários para responder a *Questão Básica de Pesquisa*, e 6 estudantes produziram “V”s classificados com o valor 1, correspondente à presença de “*Eventos* identificados, mas inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa*”, segundo a Tabela 4.3. Pouco mais de dois terços dos “V”s avaliados apresentaram valores 2 ou 3 em *Eventos*, o que pode ser considerado satisfatório, por descrever *Eventos* consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa*, ainda que 8 destes “V”s não tenham a indicação dos possíveis *Registros*.

Em *Domínio Metodológico*, apresentado na Figura 4.3.d, a grande maioria dos “V”s avaliados obtiveram o valor 1, sendo que 10 dos 12 “V”s nesta situação não mencionavam as *Transformações* necessárias para se responder à *Questão Básica de Pesquisa*. De certa forma, este resultado não confirma a expectativa de que os estudantes transcrevessem os procedimentos presentes no roteiro do experimento para o “V” de Gowin, contemplando assim a “Presença dos principais *Registros* E das *Transformações*, coerentes entre si,

consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa E* com os *Eventos*, E apresentação de *Interpretações pertinentes*”, que corresponde ao valor 5 da Tabela 4.4.

Em relação às *Respostas*, a Figura 4.3.e mostra que 3 estudantes não apresentaram as *Respostas* e por isso os seus “V”s receberam valor 0. Pouco mais da metade dos “V”s avaliados foram classificados com valores 2 ou 3, que correspondem a “Presença da *Resposta E* da *Asserção de Valor*, coerentes entre si” mas inconsistentes com as *Interpretações* ou com a *Questão Básica de Pesquisa*”. O restante foi classificado com os valores 4 ou 5 e as *Respostas* avaliadas indicam a habilidade dos estudantes em descrever esse aspecto do “V” de Gowin.

Os valores encontrados para *Domínio Conceitual* na Experiência A4 podem sugerir dificuldades dos estudantes em escrever as *Teorias*, os *Princípios & Leis*, as *Hipoteses* ou os *Conceitos*. De fato, grande parte das descrições do *Domínio Conceitual* era inconsistente com a *Questão Básica de Pesquisa* porque os estudantes citaram *Energia* entre os *Conceitos* sem mencionar a verificação da *Conservação de Energia* entre os objetivos. Ou seja, a baixa pontuação no *Domínio Conceitual* reflete à *Questão Básica de Pesquisa* em desacordo com a proposta do “V” de Gowin e não para um dificuldade com a descrição do *Domínio Conceitual* no diagrama.

4.2.1.4 Experiência X1 - Plano Inclinado

A Experiência X1, conforme descrito no roteiro disponibilizado no Apêndice A, é bastante semelhante à Experiência A5, Seção 4.2.1.2, mas foi realizada na metade final do período por se tratar de uma nova experiência proposta para a disciplina, sendo que seu roteiro foi anexado à Apostila de Física Experimental I durante o decorrer do período. Assim como a Experiência A5, trata-se de um movimento de um objeto acelerado por uma força externa, nesse caso uma componente do peso de um carrinho, uma vez que agora o trilho de ar é inclinado e observa-se o movimento de descida dos carrinhos. O registro de posições em intervalos de tempos conhecidos se dá da mesma forma e, a partir destes registros, os estudantes montam tabelas com velocidades instantâneas para os carrinhos e as acelerações dos carrinhos são obtidas com a construção de gráficos de variação de velocidade instantânea em função do tempo.

Em todos os “V”s de Gowin avaliados foi possível identificar a *Questão Básica de*

Pesquisa e, apenas 4 entre os 21 estudantes deixaram de incluir os principais *Conceitos* E abordar corretamente os *Eventos* OU o *Domínio Conceitual*, caracterizando assim o valor 1 observado na Figura 4.4.a. A grande maioria dos “V” avaliados apresentou os valores 2 ou 3, sendo que mais da metade das *Questões Básicas de Pesquisa* avaliadas deixavam de contextualizar a pergunta com os *Eventos* realizados e por isso receberam o valor 2, em conformidade com a Tabela 4.1 que relaciona este valor com “*Questão Básica de Pesquisa* identificada, mas não inclui os principais *Conceitos* OU não aborda corretamente os *Eventos* OU o *Domínio Conceitual*”. O restante dos “V”s receberam o valor 3 por relacionarem corretamente a *Questão Básica de Pesquisa* com os outros aspectos citados na Tabela 4.1.

Em relação ao *Domínio Conceitual*, Figura 4.4.b, o valor 1 foi o mais frequente. Novamente, a ausência de um *Conceito* fundamental como *Força* explica o alto número de “V”s com esse valor. Ainda assim, em mais de um terço dos “V”s observou-se “*Presença dos principais Conceitos* E dos *Princípios & Leis*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* E com os *Eventos*, E apresentação de *Hipóteses pertinentes*”, correspondente ao valor máximo na Tabela 4.2.

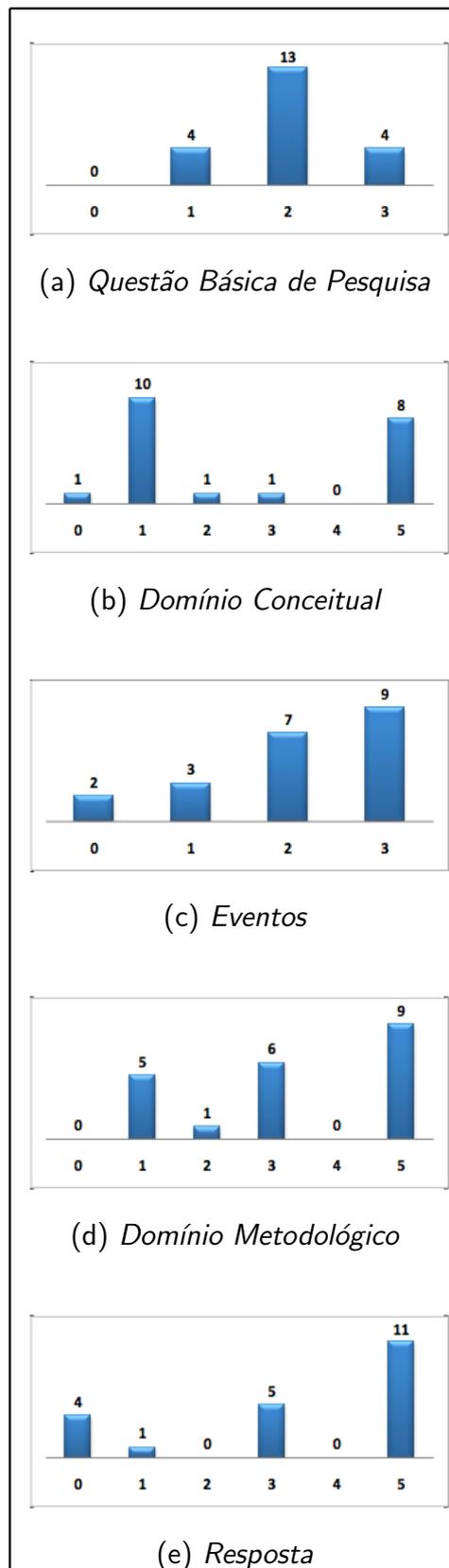


Figura 4.4: Histogramas dos Valores para a Experiência X1. Amostra com N=21.

Na Figura 4.4.c observa-se que 2 estudantes não registraram os *Eventos* desta experiência, e que outros 3 apresentaram *Eventos* classificados com o valor 1 - “*Eventos* identificados, mas inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa*”. Por outro lado, mais de três quartos dos estudantes descreveram bem os *Eventos* e receberam os valores 2 e 3.

Cerca de um quarto dos *Domínios Metodológicos* avaliados recebeu o valor 1 porque não apresentou os principais *Registros* OU as *Transformações*, OU, apresentou ambos, mas estavam incoerentes entre si. Entretanto, de acordo com o critério de avaliação apresentado na Tabela 4.4 os valores 3, 4 ou 5 correspondem a um *Domínio Metodológico* consistente com a *Questão Básica de Pesquisa* e com as *Transformações* realizadas com os dados. A Figura 4.4.d mostra que cerca de três quartos dos “V”s avaliados se classificam neste valor.

Na Figura 4.4.e observa-se que em 4 “V”s obtiveram o valor 0 por não identificar a *Resposta* ou as *Asserções de Valor*. Contudo, metade dos estudantes respondeu a pergunta proposta como *Questão Básica de Pesquisa* na *Resposta* apresentada de forma coerente com as *Interpretações*. Um quarto dos “V”s avaliados recebeu o valor 3, que corresponde à presença de *Resposta* e *Asserções de Valor*, coerentes entre si e consistentes com as *Interpretações* que pertencem ao *Domínio Metodológico*. Mas ainda nesses casos as *Respostas* estavam inconsistentes com as *Questões Básicas de Pesquisa* citadas. Concluindo esse aspecto, aproximadamente metade dos estudantes escreveram *Respostas* completas, de acordo com o critério apresentado na Seção 4.1.

Novamente muitos estudantes deixaram de citar um *Conceito* fundamental como *força* no *Domínio Conceitual*. Não se pode afirmar, porém, que esta ausência represente uma falha nas concepções dos estudantes sobre Dinâmica de Forças. A descrição do *Domínio Conceitual* requer a reflexão sobre quais seriam os *Conceitos* importantes para a realização da experiência e, para essa descrição os estudantes se dedicam à procura de diversas palavras tais como, *massa*, *aceleração*, *força*, *velocidade*, *sistema*, *atrito*, *peso*, entre outras. *Força* pode ser considerado um *Conceito* comum e tão relacionado com Dinâmica de Forças e com as Leis de Newton que pode não chamar atenção dos estudantes no processo de descrição do *Domínio Conceitual* no “V” de Gowin.

4.2.1.5 Experiência A3 - Momento de Inércia e Dinâmica de Rotação

A Experiência A3, conforme descrito no roteiro disponibilizado no Apêndice A, se refere a um novo *Domínio Conceitual*, a Dinâmica de Rotações, visto no final do período em *Física I*. O planejamento deste estudo foi feito para abordar este experimento também no final do período em *Física Experimental I*. Entretanto, mesmo realizando o experimento quando os alunos estão estudando Dinâmica de Rotações, sabe-se que esse *Domínio Conceitual* é de difícil compreensão visto em geral, os estudantes nunca tiveram contato com estes *Conceitos*, além da grande sobrecarga de atividades em todas as disciplinas, característica de final de período. No experimento, um aro de bicicleta gira em um plano horizontal quando um contrapeso pendurado desenrola um barbante conectado ao eixo central do aro. Desta forma, o *Torque* aplicado pela tração no barbante no eixo do aro confere certa *Aceleração Angular* ao aro. O valor do *Momento de Inércia* do aro não pode ser calculado exatamente com um cálculo imediato. Mas pode-se afirmar que o seu *Momento de Inércia* assume um valor intermediário para os diâmetros interno e externo. O fenômeno pode ser descrito com o auxílio da 2ª Lei de Newton adaptada para as rotações.

Como observou-se em quase todos os experimentos, exceto na Experiência X1, o valor 0 está presente na Figura 4.5.a que se refere à *Questão Básica de Pesquisa*. Um quarto dos “V”s avaliados receberam o valor 1 - “*Questão Básica de Pesquisa* identificada, mas não inclui os principais *Conceitos* E não aborda corretamente os *Eventos* OU o *Domínio Conceitual*”, na Tabela 4.1. A grande maioria dos “V” produzidos recebeu os valores 2 ou 3 para *Questão Básica de Pesquisa*. O valor 2 foi o mais frequente, com mais da metade do total de “V”s, e corresponde à “*Questão Básica de Pesquisa* identificada, mas que não inclui os principais *Conceitos* OU não aborda corretamente os *Eventos* OU o *Domínio Conceitual*”. E ainda, um estudante escreveu uma *Questão Básica de Pesquisa* completa, de acordo com o critério utilizado.

O *Domínio Conceitual*, representado na Figura 4.5.b, deveria conter os principais *Conceitos* como *Torque*, *Momento de Inércia* e *Aceleração Angular* e citar a 2ª Lei de Newton para rotações, mas metade dos “V”s deixou de incluir uma ou duas destas palavras-chaves e isso se reflete nos valores 1 e 2 do histograma apresentado. Por outro lado, na outra metade é observada a “Presença dos principais *Conceitos* E dos *Princípios*

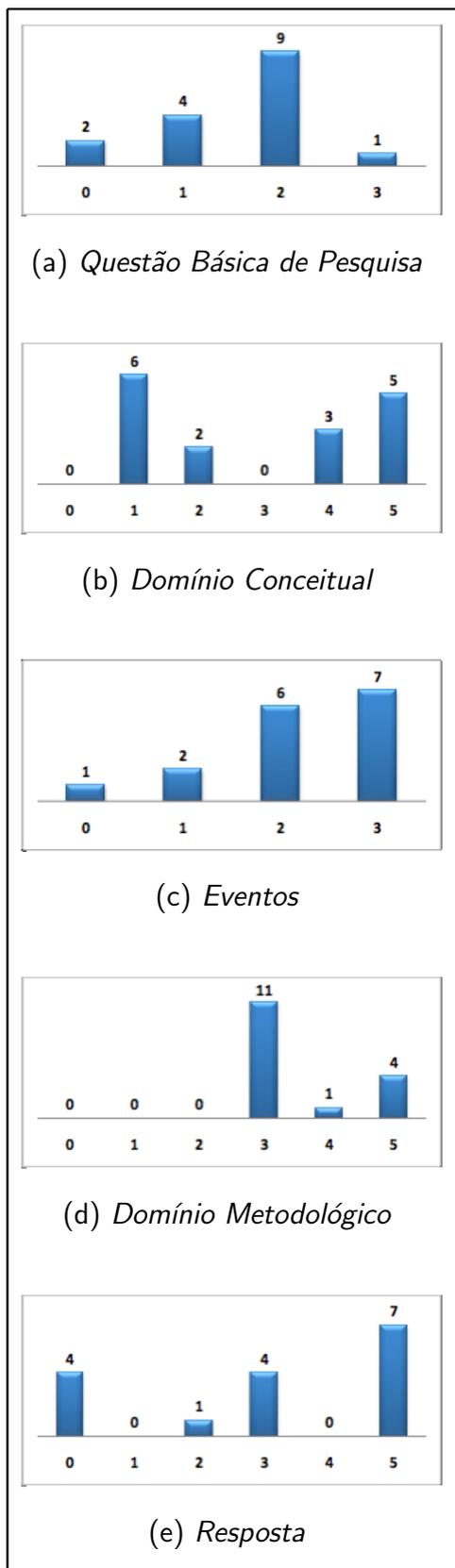


Figura 4.5: Histogramas dos Valores para a Experiência A3. Amostra com N=16.

& Leis, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa E* com os *Eventos*, E apresentação de *Hipóteses*".

Em *Eventos*, um estudante deixou de descrever o experimento e dois descreveram atividades inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* - valor 2 da Tabela 4.3. Porém, a descrição geral dos *Eventos*, se mostra adequada, visto que os outros 13 "V"s avaliados receberam valores 2 ou 3.

Em relação ao *Domínio Metodológico*, a última experiência realizada apresenta todos os "V"s produzidos com relatos consistentes com os objetivos, o que sugere um melhor entendimento ao final do curso de que os procedimentos encontrados no roteiro de experiência são suficientes para a descrição do *Domínio Metodológico* esperado. Em todos os "V"s avaliados havia "Presença dos principais *Registros E* das *Transformações*, coerentes entre si, consistentes com a *Questão Básica de Pesquisa E* com os *Eventos*", sendo que um quarto dos "V"s recebeu o valor máximo, conforme a Tabela 4.4, por apresentar também *Interpretações* pertinentes a partir dos *Resultados* obtidos..

Um quarto dos estudantes não escreveram as *Respostas* para as *Questões Básicas de Pesquisa* do experimento. Em outros 5 "V"s observou-se "Presença da *Resposta*

E da *Asserção de Valor*, coerentes entre si” mas inconsistentes com as *Interpretações* ou com a *Questão Básica de Pesquisa*.

pletas, ou seja, havia “Presença da *Resposta E* da *Asserção de Valor*, coerentes entre si, consistentes com as *Interpretações*, com a *Questão Básica de Pesquisa*, com o *Domínio Conceitual E* com o *Domínio Metodológico*”.

Na Experiência A3 observou-se, em geral, boas descrições para os *Eventos* e para o *Domínio Metodológico*, porém, em *Domínio Conceitual* e na *Questão Básica de Pesquisa* alguns estudantes deixaram de citar *Conceitos* importantes. Concluindo, também observou-se que escrever as conclusões do experimento como *Respostas* em um “V” de Gowin pode ser um desafio para alguns estudantes, que é revelado pela Figura 4.5.e.

Após este relato com a avaliação das cinco experiências realizadas, segue uma leitura dos gráficos agrupados para o conjunto dos cinco experimentos por aspectos do “V” de Gowin, a saber, *Questão Básica de Pesquisa*, *Domínio Conceitual*, *Eventos*, *Domínio Metodológico* e *Resposta*.

4.2.2 Análise Transversal dos Aspectos do “V” de Gowin

Na Seção 4.1 foram apresentados os critérios de avaliação dos “V”s de Gowin produzidos pelos estudantes para este estudo principal realizado durante o primeiro semestre de 2009 na disciplina *Física Experimental I* da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Cada critério aborda um aspecto do “V” de Gowin e consiste na definição de Parâmetros de Avaliação, apresentados na Seção 4.1, a partir dos quais cada “V” produzido foi analisado. A Análise Longitudinal, apresentada na Seção 4.2.1, seguiu a ordem de realização das experiências e, nesta seção os dados serão analisados transversalmente, ou seja, será apresentada uma comparação para cada aspecto do “V” de Gowin para todos os experimentos realizados. Os histogramas com frequências absolutas poderiam confundir a análise, pois, em cada experiência houve um diferente número de estudantes participantes. Por isso, optou-se por gráficos tipo “pizza”, em que as frequências relativas são destacadas como alternativa aos histogramas com frequências absolutas apresentados nas seções anteriores.

4.2.2.1 Análise Transversal do Aspecto Questão Básica de Pesquisa

Os gráficos da Figura 4.6 apontam uma tendência de aumento na incidência dos valores 2 e 3 com o andamento da disciplina. Este aumento sugere um melhor desempenho dos estudantes na habilidade de descrever a *Questão Básica de Pesquisa* em um “V” de Gowin a partir dos roteiros de experimentos disponíveis no Anexo A. Na Experiência X1 observou-se um desempenho superior que poderia ser explicado pela similaridade entre esta experiência e a Experiência A5 realizada anteriormente.

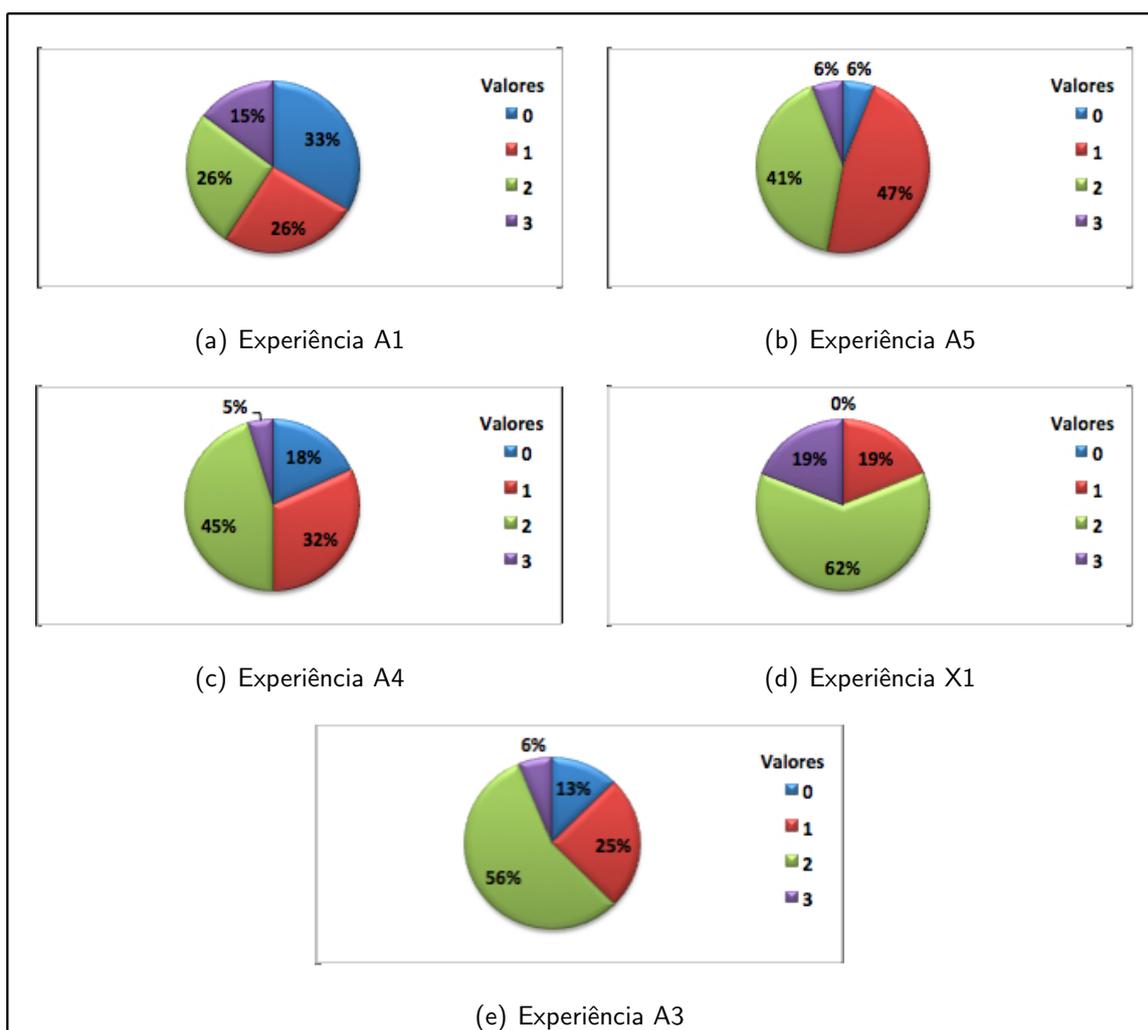


Figura 4.6: Gráficos dos Valores para *Questão Básica de Pesquisa*

Ainda assim, a avaliação revela que uma pequena parcela dos “V” produzidos recebeu o valor 3 que, de acordo com a Seção 4.1.1, corresponde a *Questões Básicas de Pesquisa* inconsistentes com o *Domínio Conceitual* ou com os *Eventos*. Entretanto, a análise dos “V”s produzidos revelou que poucos estudantes apresentaram habilidade em contextualizar a *Questão Básica de Pesquisa* com os *Eventos* realizados. Essa contextualização com os *Eventos* é necessária e visa aproximar os objetivos da experiência com a atividade realizada.

Um exemplar dessa situação é a Experiência A3, em que *Questões* como

“A aceleração angular de um objeto é proporcional ao torque nele aplicado, como mostra a 2ª Lei de Newton?”

não se relacionam especificamente com os *Eventos* realizados. Uma *Questão Básica de Pesquisa* como essa pode ser respondida por inúmeros outros experimentos e não reflete exatamente o objetivo da Experiência A3. Ainda, para esse experimento, uma *Questão Básica de Pesquisa* como:

“É possível medir o I (momento de inércia) do aro de bicicleta através de α ?” (sic)

que não cita o *Torque* produzido pelo contrapeso que gira o aro desenrolando um barbante nem a 2ª Lei de Newton para Rotações, ou seja, não aborda corretamente o *Domínio Conceitual*.

Para a Experiência A3, o roteiro de experimentos, disponível no Apêndice A, define o objetivo como sendo:

“Medir o momento de inércia I de um aro de bicicleta. Verificar a extensão da Segunda Lei de Newton para o movimento de rotação de um objeto em torno de um eixo fixo: $\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$ ”

De um modo geral, os roteiros da Apostila de Física Experimental não citam todos os *Conceitos* relevantes nos objetivos da experiência ou deixam de relacionar os objetivos com os *Eventos* a serem realizados. De acordo com o que esse roteiro solicita para elaboração do relatório, o objetivo central da Experiência A3 é comparar o Momento de Inércia do aro de bicicleta utilizado obtido a partir da 2ª Lei de Newton para rotações com o obtido a partir da distribuição de massa do aro. Assim uma *Questão Básica de Pesquisa* esperada seria:

O Momento de Inércia obtido a partir da distribuição de massa de um **aro de bicicleta** sujeito a tração de um barbante enrolado em torno de seu eixo principal respeita a relação entre **torque** e **aceleração angular** na 2ª Lei de Newton para rotações?

As expressões em **negrito** são necessárias para o completo entendimento dos objetivos da Experiência A3.

A Figura 4.6 mostra que o valor 2 foi encontrado em mais da metade dos “V”s avaliados, indicando que os estudantes têm, em geral, habilidade em articular os *Conceitos* fundamentais do estudo na *Questão Básica de Pesquisa*, ainda que apresentem descrições sucintas para esse aspecto, não permitindo conclusões mais abrangentes.

4.2.2.2 Análise Transversal do Aspecto Domínio Conceitual

A Figura 4.7 revela que para os primeiros experimentos os valores 4 e 5 apresentaram uma frequência preponderante frente aos demais e, em relação à Experiência A3, corresponderam à metade dos “V”s avaliados. Isso indica que o estudante apresentou habilidade na articulação da maioria dos quesitos desse aspecto, para essas experiências, durante a produção dos “V”s de Gowin.

Para a experiência A4, a Figura 4.7 destaca que a grande maioria dos “V”s avaliados apresenta o valor 2, o que revela que os estudantes encontraram dificuldades em articular o *Domínio Conceitual* seja com a *Questão Básica de Pesquisa*, seja com os *Eventos*. Entretanto, este valor se destaca apenas nesse experimento em que a inconsistência entre o *Domínio Conceitual* e a *Questão Básica de Pesquisa* se deveu, principalmente, à ausência de *Conceitos* na *Questão Básica de Pesquisa*, conforme apresentado na Seção 4.2.1.3.

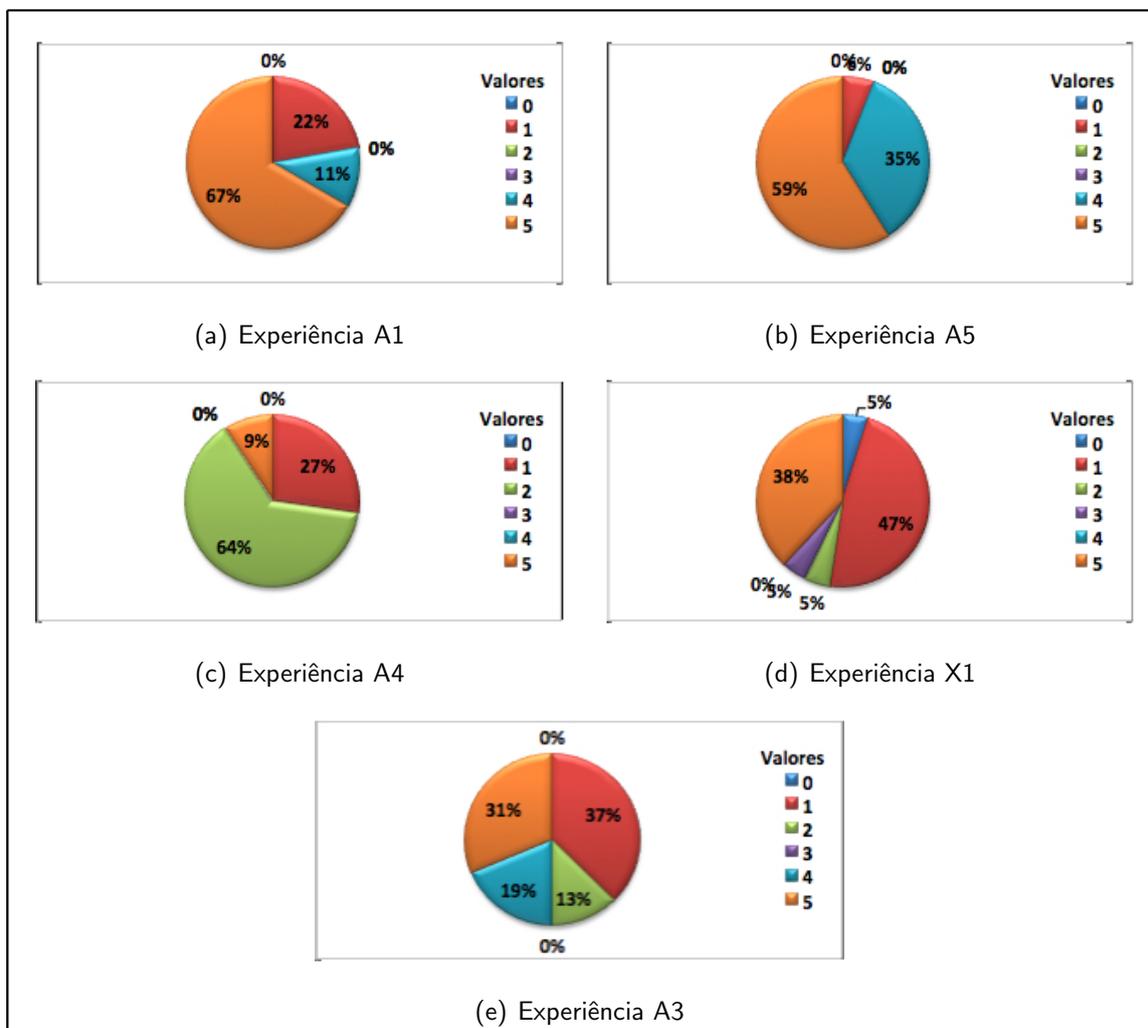


Figura 4.7: Gráficos dos Valores para *Domínio Conceitual*

De um modo geral observou-se que os baixos valores, quando encontrados, parecem ser explicados pelo esquecimento de uma palavra-chave na descrição do *Domínio Conceitual*. Uma causa provável para este esquecimento é que a entrega do “V” de Gowin se dava uma semana após a sua discussão em sala, e no processo de construção do “V” o estudante pode consultar apenas suas anotações e os roteiros dos experimentos, apresentados no Apêndice A e presentes na Apostila de Física Experimental I (de Física, 2009). Na Experiência X1, por exemplo, aproximadamente metade dos “V”s avaliados obteve o valor 1, principalmente porque o *Conceito força* não foi relacionado, conforme apresentado na Seção 4.2.1.4.

Ainda assim a discussão sobre o *Domínio Conceitual* antes da realização da experiência parece eficiente, pois, em geral, os estudantes apresentaram a habilidade de descrever *Conceitos, Princípios & Leis* e *Hipóteses* pertinentes ao estudo.

4.2.2.3 Análise Transversal do Aspecto Eventos

A Figura 4.8 mostra que os valores 2 e 3 foram observados em aproximadamente três quartos dos “V” estudados para todos os experimentos, com o decorrer da disciplina.

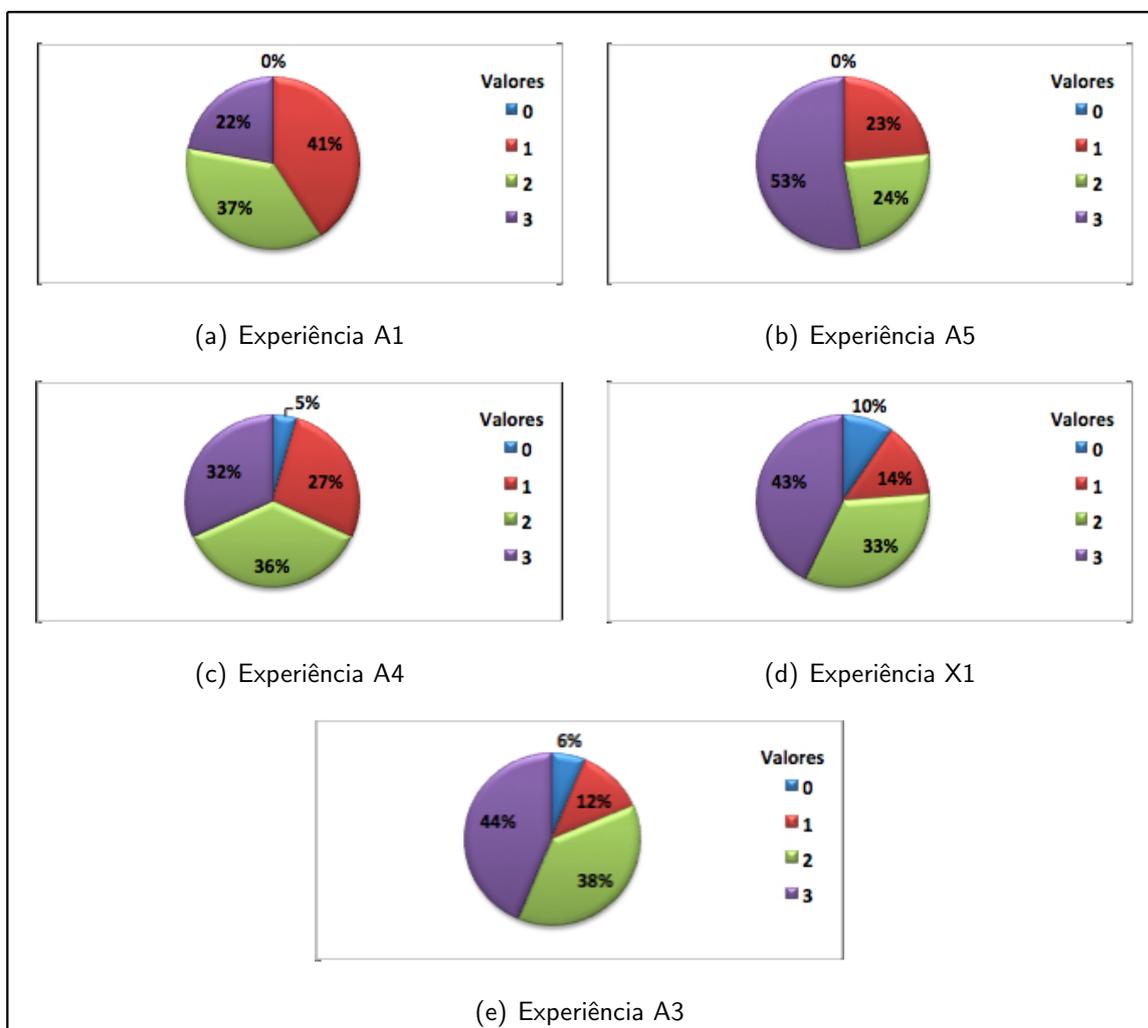


Figura 4.8: Gráficos dos Valores para *Eventos*

Os “V”s descritos com o valor 2 deixam de indicar os principais *Registros* realizados na experiência, que passarão pelas *Transformações no lado do fazer* do “V” de Gowin. Ainda assim, o valor 2 pode ser considerado adequado sob a hipótese de que os estudantes evitam repetir nos *Eventos* os *Registros* que escreveriam em *Domínio Metodológico*. A descrição do *lado do fazer*, porém, se inicia com esses *Registros* e, em *Eventos*, as descrições deveriam indicar **como** os principais *Registros* são adquiridos. Entretanto, ainda que esse detalhamento tenha sido solicitado nas discussões do “V” de Gowin, com destaque para a aquisição de dados durante o experimento, isso não é destacado no

roteiro de utilização do “V” de Gowin entregue aos estudantes, disponível no Apêndice B.

Como apontado na Seção 2.5, foi adaptado uma subcategoria em *Eventos*, identificada por *Eventos Secundários* que reúnem todos os ajustes, calibrações e verificações necessários à realização das experiências. A seguir são apresentados os principais *Eventos Secundários* em cada experimento:

Experiência A1: alinhamento das roldanas em um plano vertical, para garantir que apenas três forças co-planares mantém o sistema em equilíbrio estático; calibração do dinamômetro utilizado que propositalmente possui um desvio em sua escala.

Experiências A5, A4 e X1: nivelamento do trilho de ar utilizado¹; fixação da fita termossensível ao trilho para registrar as posições dos carrinhos; ajustes dos arames que transmitem as faíscas do frequencímetro à fita termossensível para que fiquem suficientemente próximos à fita sem não encostar nos fios ou na fita, evitando a resistência do movimento.

Experiência A3: verificação se o aro de bicicleta utilizado gira no plano horizontal, isto é, não realiza precessão.

A Tabela 4.7 apresenta o número de “V”s avaliados por experimento e o número de “V”s avaliados que traziam a descrição dos *Eventos Secundários* em cada um deles.

Tabela 4.7: Número de Citações dos *Eventos Secundários* por Experimento

Experimento	Nº de Citações	Total de “V”s Produzidos
Experiência A1	8	27
Experiência A5	3	17
Experiência A4	5	22
Experiência X1	6	21
Experiência A3	1	16

¹para a Experiência X1 o trilho de ar não é nivelado com a horizontal, e sim, inclinado com um ângulo a ser determinado no experimento.

Observa-se também que menos de um quarto dos estudantes acrescentaram informações fundamentais à realização dos *Eventos* necessários para atingir os objetivos das experiências realizadas. É importante destacar que a presença ou não dos *Eventos Secundários* não influencia na classificação dos *Eventos* e, por isso, não faz parte dos Parâmetros de Avaliação descritos na Tabela 4.3.

Concluindo, de modo geral os estudantes mostraram habilidade em descrever os *Eventos* a partir dos roteiros de experimentos, ainda que, poucos tenham apresentado os *Eventos Secundários* envolvidos nas atividades.

4.2.2.4 Análise Transversal do Aspecto Domínio Metodológico

A Figura 4.9 mostra que para as experiências A5, X1 e A3 a grande maioria das descrições do *Domínio Metodológico* receberam valores 3, 4 ou 5, o que sugere que nestes casos os estudantes apresentaram a razoável habilidade de relacionar o *Domínio Metodológico* com os procedimentos dos roteiros de experimentos, disponíveis no Apêndice A.

No entanto, a observação da Figura 4.9 revela uma predominância do valor 1 para as Experiências A1 e A4, indicando que, nesses casos, não se observa a habilidade de descrever adequadamente o *Domínio Metodológico*. A maioria dos “V”s avaliados sobre esses experimentos deixaram de citar *Transformações* fundamentais para a conclusão dos experimentos, o que não era esperado visto que o “V” de Gowin produzido era entregue juntamente com o relatório da experiência.

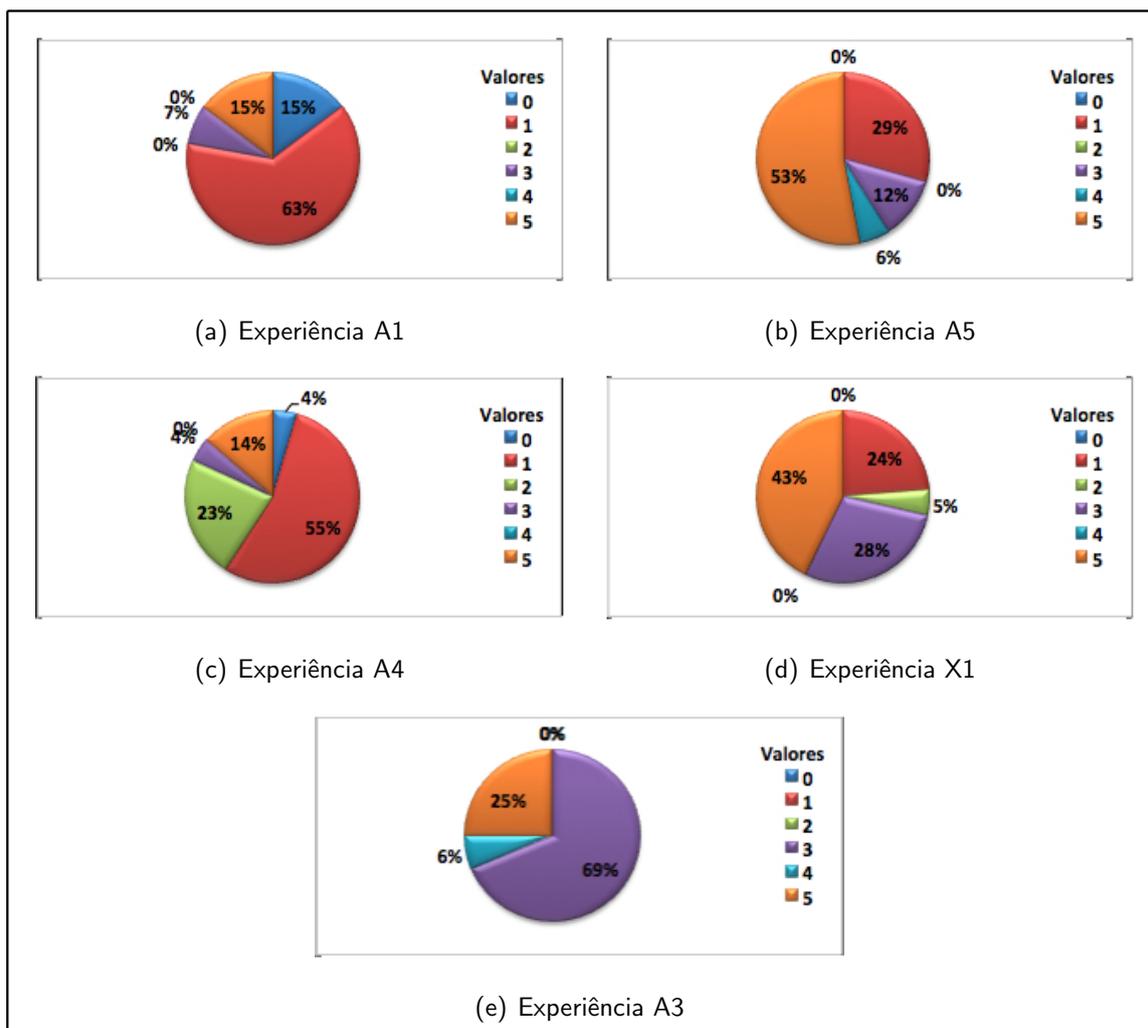


Figura 4.9: Gráficos dos Valores para *Domínio Metodológico*

Enquanto o *Domínio Conceitual* é o *lado do pensar* em um “V” de Gowin, o *Domínio Metodológico* é o *lado do fazer*. Esperava-se que os estudantes identificassem a relação entre os procedimentos dos roteiros de experimentos e o *Domínio Metodológico*. A observação da Figura 4.9 sugere que há uma tendência para os valores 3, 4 e 5, correspondentes à descrições do *Domínio Metodológico* que contém os principais *Registros* e *Transformações* de forma consistente com a *Questão Básica de Pesquisa* e com os *Eventos*. Para a Experiência A1, que contradiz essa tendência, pode-se argumentar que os estudantes ainda não haviam identificado essa relação no primeiro experimento. Entretanto, não há razões aparentes que justifiquem o desempenho dos estudantes em descrever o *Domínio Metodológico* para a Experiências A4, visto que esses estudantes produziram “V”s bem avaliados em outros experimentos.

4.2.2.5 Análise Transversal do Aspecto Resposta

A observação dos gráficos da Figura 4.10 mostra acentuada distribuição de frequência entre as parâmetros de avaliação para esse critério.

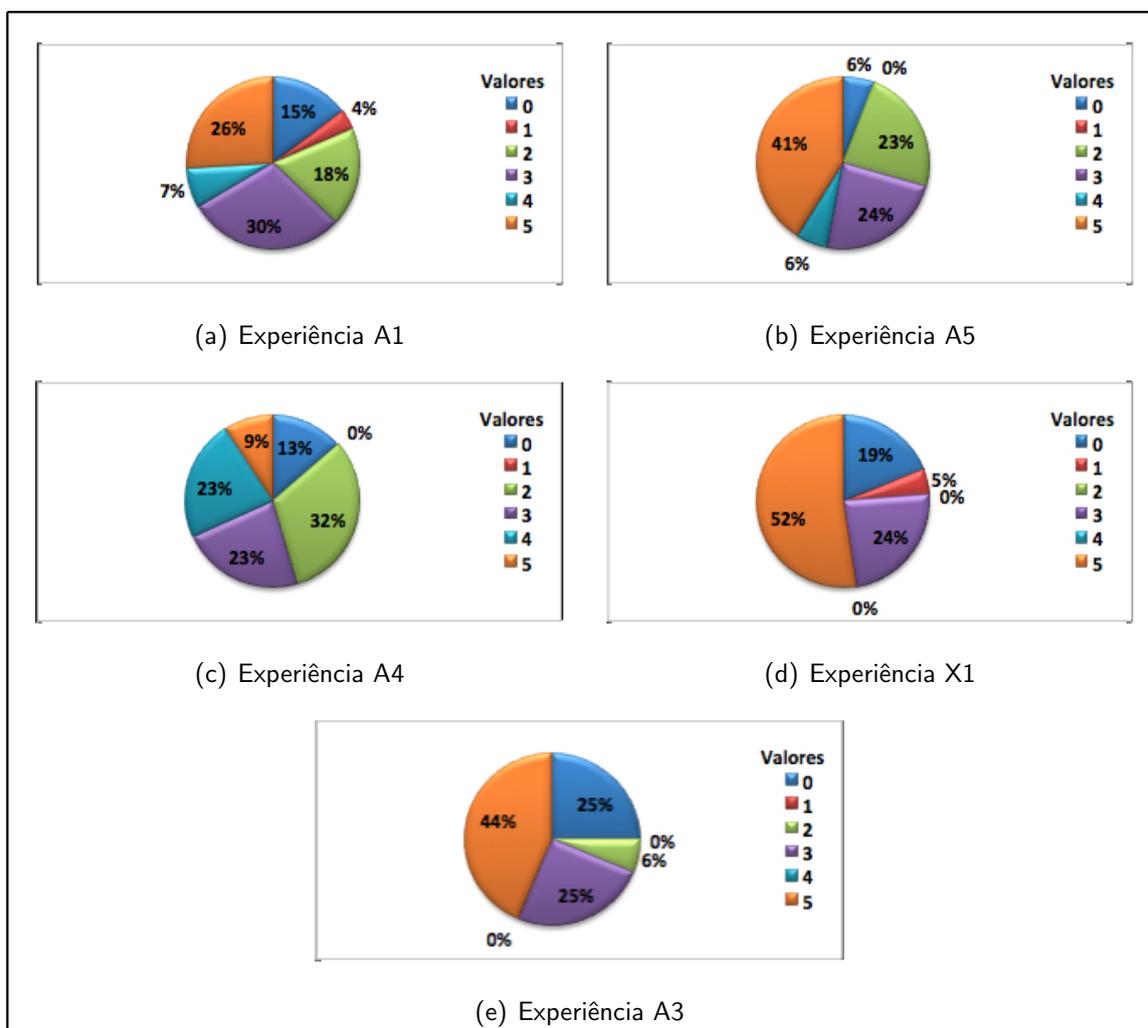


Figura 4.10: Gráficos dos Valores para *Resposta*

De um modo geral, observa-se nos gráficos das Experiências A5, X1 e A3 uma predominância para o valor máximo, o que indica que os estudantes apresentaram a habilidade de descrever esse aspecto conforme o esperado nos “V”s produzidos.

Assim como em *Domínio Metodológico*, conforme apresentado na Seção 4.2.2.4, observa-se um desempenho diferente para as experiências A1 e A4. Nesses experimentos, aproximadamente um terço dos estudantes apresentou uma descrição completa para *Respostas*, enquanto os demais estudantes produziram “V”s avaliados com os valores 0, 1, 2 ou 3.

Após a avaliação de todos os 103 “V”s de Gowin produzidos neste estudo principal, a classificação das *Respostas* foi a tarefa mais complexa na Análise de Dados, principalmente, porque os estudantes escreveram sucintamente as *Respostas* e as *Asserções de Valor*. Assim como ocorreu em *Eventos*, como apresentado na Seção 4.2.2.2, observa-se que o roteiro para utilização do “V” de Gowin entregue aos estudantes não destaca **como** devem ser apresentadas essas descrições. Entretanto, o maior detalhamento do critério de avaliação para *Resposta*, apresentado na Tabela 4.5, dificulta a classificação das descrições sucintas apresentadas por grande parte dos estudantes.

Nesta Análise Transversal dos aspectos do “V” de Gowin para os cinco experimentos realizados observou-se que os estudantes apresentaram habilidades em articular os aspectos do “V” de Gowin nas Experiências A5, X1 e A3. O desempenho observado nas Experiências A1 e A4 é relativamente inferior ao registrado nas demais experiências. Isso indica uma tendência de desenvolvimento das habilidades em utilizar o “V” de Gowin após a realização da primeira experiência. Os resultados observados para a Experiência A4, que não confirmam essa tendência, parecem estar relacionados com a descrição dos objetivos do experimento apresentados no roteiro que não se relacionam com todos os procedimentos solicitados para a elaboração do relatório. Ainda assim, esse argumento não explica as dificuldades observadas na articulação do *Domínio Metodológico* para este experimento, conforme apontado na Seção 4.2.2.4.

Capítulo 5

Discussões & Conclusões

Este estudo tem como objetivo investigar a utilização do “V” Epistemológico de Gowin como instrumento metodológico com enfoque no processo de investigação e para a análise e interpretação de dados como em uma pesquisa (Ferracioli, 2005) na disciplina *Física Experimental I* do novo currículo da Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Esse capítulo apresenta as Discussões e Conclusões desse estudo descrevendo os em relação às *Questões Básicas de Pesquisa* apresentadas na Seção 3.2 e transcritas a seguir.

1. Como podem ser descritas as habilidades e dificuldades dos estudantes em utilizar o “V” de Gowin na disciplina *Física Experimental I*?
2. Como esse estudo pode contribuir para a melhoria dos roteiros das experiências realizadas e do roteiro de utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*?
3. Como pode-se avaliar os critérios de avaliação de “V”s de Gowin utilizados nesse estudo?
4. Quais as adaptações necessárias à implantação de uma abordagem alternativa baseada no “V” de Gowin em uma disciplina de Laboratório Programado?

Ao final do Capítulo encontra-se uma seção sobre as perspectivas futuras sobre a utilização do “V” de Gowin em disciplinas de Física Experimental em um curso de graduação em Física.

5.1 Primeira Questão Básica de Pesquisa

Como podem ser descritas as habilidades e dificuldades dos estudantes em utilizar o “V” de Gowin na disciplina Física Experimental I?

A Análise Transversal, apresentada na Seção 4.2.2, revelou habilidades e dificuldades apresentadas pelos estudantes em utilizar o “V” de Gowin nos cinco experimentos realizados na disciplina *Física Experimental I*. A resposta a esta *Questão Básica de Pesquisa* será apresentada conforme a Análise Transversal, ou seja, dividida por aspectos do “V” de Gowin.

5.1.1 Habilidades e Dificuldades para o Aspecto Questão Básica de Pesquisa

A Seção 4.2.2.1 mostra que, mais da metade dos estudantes produziram “V”s avaliados com os valores 2 e 3 do critério de avaliação desse aspecto descrito na Seção 4.1.1. Ou seja, as descrições da *Questão Básica de Pesquisa* desses estudantes apresentavam, em geral, todos os *Conceitos* relevantes deixando de mencionar apenas algum *Princípio* envolvido ou os *Eventos* realizados.

Os gráficos da Figura 4.6 revelam que apenas uma pequena parcela dos estudantes descreveu de forma completa a *Questão Básica de Pesquisa*, sabendo que a maior dificuldade observada foi relacionar a *Questão Básica de Pesquisa* com o *Evento* realizado para respondê-la.

A Análise Transversal revelou ainda que o número de estudantes que apresentaram a habilidade de descrever a *Questão Básica de Pesquisa* no contexto do “V” de Gowin aumentou no decorrer da realização dos experimentos na disciplina.

5.1.2 Habilidades e Dificuldades para o Aspecto Domínio Conceitual

Baseado na Análise Transversal pode-se afirmar que os estudantes mostraram habilidade em preencher o *lado do pensar* nos “V”s de Gowin produzidos. A Seção 4.2.2.2 revela que a grande maioria dos estudantes produziu diagramas “V” classificados com os valores 3, 4 e 5 para esse aspecto, descritos na Seção 4.1.2. Esses valores podem ser considerados satisfatórios, uma vez que são aplicados aos “V”s em que constam os principais *Conceitos* e *Princípios & Leis* referentes ao experimento estudado. Pouco menos da metade dos “V”s avaliados recebeu o valor máximo 5, correspondente à inclusão de *Hipóteses* pertinentes ao estudo.

Foi observado que alguns estudantes deixaram de citar algum *Conceito* no *Domínio Conceitual*. Acredita-se que a causa provável seja o esquecimento de uma palavra-chave em uma lista extensa com cerca de 10 palavras. Na Experiência X1, cuja análise está na Seção 4.2.1.4, observou-se que muitos estudantes não relacionaram a palavra *força* entre os *Conceitos*, embora tenham citado as Leis de Newton entre os *Princípios & Leis*, o que reforça a hipótese do esquecimento de uma palavra durante a construção do “V”.

5.1.3 Habilidades e Dificuldades para o Aspecto Eventos

A grande maioria das descrições apresentadas na Análise Transversal para os *Eventos* realizados nas experiências revela que os estudantes apresentaram a habilidade de descrever o *Evento* de acordo com o “V” de Gowin, uma vez que três quartos dos “V”s avaliados receberam os valores 2 e 3, significando que apresentaram os *Eventos* de forma consistente com a *Questão Básica de Pesquisa*, sendo que mais da metade destes indicaram também os *Registros* possíveis recebendo o valor máximo para esse aspecto, de acordo com o critério de avaliação apresentado na Seção 4.1.3.

Ainda assim, menos de um quarto dos estudantes descreveu os *Eventos Secundários* que reúnem os ajustes, calibrações e verificações que antecedem a realização do experimento. A dificuldade em descrever detalhadamente os *Eventos*, incluindo os *Eventos Secundários* e os *Registros* parece estar vinculada ao roteiro de utilização do “V” de Gowin na disciplina *Física Experimental I* o qual não indica **como** os *Eventos* deve-

riam ser descritos, embora esse texto defina o que são *Eventos* e *Eventos Secundários* e apresente um exemplar de um “V” de Gowin para um experimento destacando esses aspectos.

5.1.4 Habilidades e Dificuldades para o Aspecto Domínio Metodológico

A Seção 4.2.2.4 da Análise Transversal revelou que os estudantes apresentaram a habilidade de descrever o *Domínio Metodológico* em três dos cinco experimentos realizados. Esta habilidade parece estar associada ao entendimento da relação entre o que se espera nesse aspecto e os procedimentos descritos nos roteiros das experiências, disponíveis no Apêndice A.

Para as Experiências A1 e A4, nas quais o valor 1 foi o mais frequente, observou-se que a maioria dos estudantes deixou de apresentar as *Transformações* necessárias à conclusão da atividade. Não há, porém, relações aparentes entre a omissão das *Transformações* e o desempenho em outros aspectos como o *Domínio Conceitual* que dá suporte para as *Transformações* e *Interpretações* ou com a *Resposta* que deve ser sustentada pelo *Domínio Metodológico*. Isso sugere que a dificuldade observada se manifeste na produção do “V” de Gowin, seja por esquecimento ou por não valorização das *Transformações* envolvidas.

5.1.5 Habilidades e Dificuldades para o Aspecto Resposta

Os gráficos dos valores observados em *Resposta* na Figura 4.10 da Seção 4.2.2.5 mostram que pouco mais de um terço dos estudantes descrevam esse aspecto de forma satisfatória, correspondendo aos valores 4 e 5 do critério de avaliação descrito na Seção 4.1.5.

No entanto, mesmo alterando o título das *Asserções de Conhecimento* do “V” de Gowin original para *Resposta* para destacar que espera-se a relação desse aspecto com a *Questão Básica de Pesquisa*, muitos estudantes não respondem à *Questão* proposta em suas *Resposta*. Geralmente encontra-se o resultado das *Transformações* realizadas, como por exemplo, a diferença entre os valores dos momento linear inicial e final na

Experiência A4, e não a *Resposta* se houve ou não Conservação do Momento Linear no sistema estudado.

O desafio em descrever as *Respostas* às *Questões* propostas parecem ser uma das maiores dificuldades apresentadas pelos estudantes nesse estudo.

De um modo geral, a Análise Transversal revela uma tendência de bons resultados para a avaliação da articulação dos aspectos do “V” de Gowin nas Experiências A5, X1 e A3. Isso sugere que os estudantes se familiarizaram com a utilização do “V” de Gowin na disciplina *Física Experimental I* ao longo do período, ainda que a Experiência A4, terceira a ser realizada, tenham sido observadas algumas dificuldades nessa utilização, conforme descrito acima.

Ao final desse capítulo ao apresentar diretrizes para promover a melhoria dessas habilidades.

5.2 Segunda Questão Básica de Pesquisa

Como esse estudo pode contribuir para a melhoria dos roteiros das experiências realizadas e do roteiro de utilização do “V” de Gowin em Física Experimental I

Após as Análises de Dados apresentadas nas Seções 4.2.1 e 4.2.2 concluiu-se que os estudantes organizavam suas atividades a partir dos roteiros das experiências, disponíveis no Apêndice A e do roteiro de utilização do “V” de Gowin na disciplina *Física Experimental I*, disponível no Apêndice B. Desta forma, a *Resposta* a essa *Questão* será dada em duas partes.

5.2.1 Contribuições para os roteiros das experiências

Como apresentado na Seção 2.3, a abordagem utilizada nesse estudo é baseada em um Laboratório Programado, onde o estudante é orientado por um guia em todas as suas atividades na disciplina. A Apostila de Física Experimental I (de Física, 2009) foi o guia dos estudantes neste estudo.

As Análises Longitudinal e Transversal revelaram algumas inconsistências entre os objetivos propostos nos roteiros de experimentos da apostila e aquilo que se solicitava nos mesmos roteiros para elaboração do relatório, especialmente para a Experiência A4, de acordo com a Seção 4.2.1.3. Em alguns casos os objetivos, não se relacionam com os principais *Conceitos* estudados ou com os *Eventos* realizados ou com o que era solicitado se pede para conclusão das experiências, como indica a análise apresentada na Seção 4.2.2.1. Um ajuste nos roteiros enfatizando os reais objetivos da experiência orientaria melhor o estudante.

Os roteiros adotados trazem apenas uma breve introdução teórica abordando o tema a ser estudado, e aparentemente, o estudante não consulta as referências bibliográficas indicada ao final dos roteiros, talvez por que estas referências vão pouco além dos livros didáticos adotados na disciplina teórica Física I. Dessa forma, parece que o estudante não consulta qualquer referencial teórico para construção do “V” de Gowin. O estudante teria acesso mais fácil ao conteúdo estudado se o roteiro de experimentos apresentasse de forma mais profunda, o *Domínio Conceitual* que envolve a experiência realizada, e/ou, se o roteiro apresentasse referências que sejam de fato utilizadas nas aulas de Física Experimental I.

O detalhamento das descrições dos procedimentos nos roteiros das experiências são adequados à realização das atividades, uma vez que os estudantes mostraram habilidade em descrever os *Eventos* realizados a partir do que foi feito nas experiências.

Também são úteis e claras as informações presentes nos roteiros sobre o que se deve fazer após a coleta de dados para se concluir o experimento. Na análise dos “V”s produzidos, observou-se que valores mais altos para o *Domínio Metodológico* apresentavam transcrições dos procedimentos dos roteiro de experiências, conforme observou-se na Seção 4.2.2.4.

Os roteiros dos experimentos poderiam relacionar enfaticamente os que se pede para a elaboração dos relatórios com o que se apresenta como objetivos das experiências. Dessa forma, os estudantes teriam maior clareza sobre o que seriam as *Respostas* para as *Questões Básicas de Pesquisa* propostas.

Concluindo, os roteiros dos experimentos são adequados como guia dos estudantes na disciplina *Física Experimental I* e os estudantes de fato os utilizam dessa forma.

Pequenas alterações na descrição dos objetivos de cada experiência e na valorização de referências bibliográficas relevantes podem proporcionar um aumento na produtividade dos estudantes na disciplina.

5.2.2 Contribuições para o roteiro de utilização do “V” de Gowin em Física Experimental I

Assim como a Apostila de Física Experimental I foi o roteiro dos estudantes para realização das experiências na disciplina, o texto “*Método Analítico para Experimentos de Laboratório*”, disponível do Apêndice B serviu de sustentação teórica e roteiro para os estudantes sobre a utilização do “V” de Gowin na disciplina e, por isso, foi intitulado de roteiro de utilização do “V” de Gowin em Física Experimental I.

As sugestões para este texto também poderiam ser apresentadas em uma divisão por aspecto do “V” de Gowin, como foi feito para as contribuições para os roteiros das experiências, apresentadas na seção anterior. Entretanto, de um modo geral, pode-se afirmar que o texto é bastante consistente na **definição** dos aspectos do “V” de Gowin e foi adequado para a apresentação deste instrumento metodológico. Todas as críticas, apresentadas na Seção 4.2.2 apontam que esse texto poderia orientar os estudantes em **como** descrever cada aspecto do “V” de Gowin, articulando esses aspectos entre si. A mesma estrutura apresentada no exemplo desse roteiro foi utilizada nas discussões sobre o “V” de Gowin em sala de aula e foi observada nos “V”s produzidos. No entanto, os estudantes apresentaram *Questões Básicas de Pesquisa, Eventos e Respostas*, em geral, de forma sucinta, o que dificultou uma avaliação mais abrangente. A orientação sobre como descrever esses aspectos pode favorecer apresentação de “V”s mais completos, o que representaria melhores habilidades dos estudantes para o uso do “V” e para o alcance dos objetivos propostos na disciplina.

5.3 Terceira Questão Básica de Pesquisa

Como pode-se avaliar os critérios de avaliação de “V”s de Gowin utilizados nesse estudo?

Os critérios de avaliação dos diagramas “V”s produzidos, apresentados na Seção 4.1, valorizam os “V”s autoconsistentes, sem contradições internas ou proposições desnecessárias, conforme afirmam Mintzes et al. (2000). Os parâmetros de avaliação apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 podem ser redefinidos em outros estudos, na tentativa de adaptá-los à realidade de cada intervenção, como foi feito neste estudo visando estar de acordo com a disciplina *Física Experimental I*.

Em primeiro lugar, a divisão dos critérios de avaliação de acordo com os aspectos do “V” de Gowin se mostrou bastante adequada e favorece a análise dos resultados das avaliações. Analisar um aspecto por vez em um diagrama como o “V” de Gowin foi factível e permitiu uma leitura aprofundada sobre um número relativamente grande de amostras: 103 “V”s ao total para os cinco experimentos.

Os parâmetros de avaliação apresentados na Seção 4.1 foram adaptados a partir dos critérios originalmente propostos por Mintzes et al. (2000) em que Joseph Novak, um dos autores foi colaborador de D. Gowin no desenvolvimento do diagrama “V”. Os parâmetros mais valorizados representam um paradigma a ser alcançado em um diagrama usado para “desempacotar” (Ferracioli, 2005; Novak and Gowin, 1984) a estrutura conceitual de um estudante sobre a situação em foco. Via de regra, este paradigma não é alcançado em sala de aula e esses critérios se mostram muito rígidos para a realidade educacional da escola, especialmente atividades de laboratório que são pouco frequentes no Ensino Médio. De fato, Para muitos dos estudantes que participaram deste estudo, a disciplina *Física Experimental I* foi o primeiro contato com um laboratório de ensino de Física. E os critérios de avaliação adotados se mostraram rígidos em alguns momentos.

Na Experiência X1 apresentada na Seção 4.2.1.4, por exemplo, muitos estudantes deixaram de citar *força* entre os *Conceitos* embora tenham citado as leis de Newton entre os *Princípios & Leis*, sugerindo que os estudantes não consideram *força* como um *Conceito* irrelevante naquele experimento. No entanto, alguém que só tenha acesso aos histogramas e gráficos apresentados no Capítulo 4 poderia inferir que os estudantes tem dificuldades com a descrição do *Domínio Conceitual*.

Em outro exemplo, a Seção 4.2.1.3 que apresentou a Experiência A4, revelou que a maioria dos estudantes não citou nem *Energia* e nem *Princípio de Conservação de Energia* na *Questão Básica de Pesquisa*. Entretanto, muitos estudantes relacionaram essas

palavras-chave no *Domínio Conceitual*. Como resultado, alguns *Domínios Conceituais* foram classificados com o valor 2, correspondente ao parâmetro “Presença dos principais *Conceitos* E dos *Princípios & Leis*, coerentes entre si, mas inconsistentes com a *Questão Básica de Pesquisa* OU com os *Eventos*” da Tabela 4.2. Novamente, a informação sobre o número de “V”s produzidos avaliados com o valor 2 pode sugerir que o *Domínio Conceitual* foi descrito de forma inadequada, quando na verdade, é a *Questão Básica de Pesquisa* que estava inadequada.

Esse exemplo confirma o fato de que os critérios de avaliação propostos por Mintzes et al. (2000) e adaptados a esse estudo valorizam a relação entre os aspectos do “V” de Gowin, sendo que essa relação é uma das principais características do diagrama proposto por Gowin (Novak and Gowin, 1984; Ferracioli, 2005). Contudo, a utilização desses critérios para se concluir sobre as habilidades e dificuldades apresentadas pelos estudantes deve ser feita com cuidado, sob o risco de mal interpretar o significado das frequências observadas em cada aspecto.

Para este estudo, porém, os critérios foram adequados, pois, a necessidade de interpretar os resultados observados nas análises dos dados favoreceu um aprofundado entendimento sobre a utilização do “V” de Gowin na disciplina *Física Experimental I*.

5.4 Quarta Questão Básica de Pesquisa

Quais as adaptações necessárias à implantação de uma abordagem alternativa baseada no “V” de Gowin em uma disciplina de Laboratório Programado?

Para realização deste estudo foram necessárias adaptações na forma das aulas da disciplina Física Experimental I e também adaptações na estrutura do “V” de Gowin antes de apresentá-lo aos estudantes. Essas adaptações foram imprescindíveis ao estudo, e estão descritas nas duas seções que seguem.

5.4.1 Adaptações na Disciplina Física Experimental I

No Antigo Currículo do Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, descrito na Seção 3.1.1, as aulas da disciplina *Física Experimental I* eram realizadas em sistema de rodízio, com cinco experimentos diferentes montados e cinco grupos dispostos, um em cada experimento. A cada nova aula os grupos realizavam um experimento diferente e o professor não apresentava qualquer experimento, apenas acompanhava o andamento das aulas orientando os alunos a seguir os procedimentos dos roteiros dos experimentos da Apostila de Física Experimental.

A partir do primeiro semestre de 2008, com a implantação do Novo Currículo do Curso de Física, houve uma redução da carga horária semanal das disciplinas de laboratório e um aumento no número de estudantes previsto por turma, conforme a Seção 3.1.2. No planejamento deste Estudo, descrito na Seção 3.3.2.1, a disciplina *Física Experimental I* foi estruturada de modo a promover uma discussão coletiva orientada pelo “V” de Gowin no começo da aula e, em seguida, acompanhar a realização das experiências, sendo que todos os estudantes realizam as mesmas experiências evitando, assim, o sistema de rodízio. A aula seguinte era toda destinada a apresentação e discussão do “V” de Gowin e do relatório solicitado no roteiro da experiência em estudo.

Esta estrutura foi elogiada pelos estudantes em algumas manifestações individuais, pois, a discussão feita antes da realização das experiências auxiliava na compreensão das atividades e aproximavam a teoria estudada em *Física I* do experimento.

5.4.2 Adaptações na estrutura do “V” de Gowin

Conforme descrito na Seção 2.5, o “V” de Gowin teve alguns de seus aspectos modificados para aproximação desse instrumento com a realidade da disciplina *Física Experimental I*. Por exemplo, o “V” de Gowin proposto originalmente por seus autores (Novak and Gowin, 1984) como uma ferramenta educacional que possui espaços para o registro das *Filosofias* que sustentam o *Domínio Conceitual* abordado. *Filosofias* ou *Justificativas* são pertinentes, à princípio, em qualquer área do conhecimento, porém, não fazia parte do foco desta pesquisa avaliar a maturidade ou habilidade dos estudantes ao apresentar a *Justificativa* para realização de uma experiência em Física Experimental.

Para realização de um experimento em Física são tomados diversos cuidados que garantem que o resultado seja sustentado por um *Domínio Conceitual* específico. O ato de *modelar* implica em selecionar um sistema e um fenômeno de interesse, e garantir que nenhum agente externo irá influenciar naquilo que é observado. Assim, para se determinar a aceleração de um objeto em um plano inclinado é fundamental que todas as formas de dissipação de energia sejam desprezíveis. Para utilizar o Princípio de Conservação de Momento Linear em um sistema deve-se assegurar que não haja forças externas atuando neste sistema. Essas considerações são previstas no *Domínio Conceitual* de um experimento, e estão diretamente relacionadas com os *Eventos* necessários para se responder a *Questão Básica de Pesquisa* proposta. Por isso, acrescentou-se um espaço para os estudantes registrarem as *Hipóteses* pertinentes a cada experimento.

Da mesma forma, o “V” de Gowin original prevê que ao final dos *Eventos*, na parte inferior direita do “V” existiriam os *Registros dos Eventos* que, após serem selecionados ou filtrados, resultariam nos *Dados*. Originalmente, eram os *Dados* que passavam pelas *Transformações no Domínio Metodológico*. Em um curso de Física Experimental baseado em um Laboratório Programado (Moreira and Levandowski, 1983) o estudante segue um procedimento que o leva a coletar apenas dados necessários à conclusão, e portanto, não é necessária uma seleção ou filtragem. Por isso, optou-se por chamar de *Registros* os dados que seriam depois transformados.

Ao concluir o estudo de um experimento e o estudante atingiu os objetivos propostos para aquele experimento. No “V” de Gowin isso significa responder a *Questão Básica de Pesquisa*, e para enfatizar esse aspecto, deu-se o nome de *Resposta* ao que antes era chamado de *Asserções de Conhecimento*.

Todas essas adaptações tiveram o objetivo de aproximar o “V” de Gowin de uma disciplina de Física Experimental e, também, do dia a dia dos estudantes no laboratório. De um modo geral, essas adaptações foram bem sucedidas, na medida em que os estudantes as utilizaram naturalmente durante a disciplina *Física Experimental I*.

5.5 Trabalhos Futuros

Este estudo consistiu em uma proposta de implantação de uma abordagem alternativa ao Laboratório Programado em uma disciplina de física experimental básica da graduação em Física na Universidade Federal do Espírito Santo. Para isso houve uma intervenção na disciplina *Física Experimental I* com a introdução do “V” de Gowin como um instrumento metodológico para o processo de investigação e para a análise e interpretação de dados em uma pesquisa (Ferracioli, 2005), descrito na Seção 2.4. Para a introdução do “V” de Gowin foi preparado um material de apoio aos estudantes intitulado *Método Analítico para Experimentos de Laboratório* (Ferracioli, 2008b) que consiste em um roteiro para utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*, disponível no Apêndice B. E ainda, utilizou-se a metodologia de avaliação de sugerida por Mintzes et al. (2000), que foi adaptada à realidade da disciplina, assim como alguns aspectos do “V” de Gowin, conforme descrito na Seção 2.5.

As *Questões Básicas de Pesquisa* apresentadas nas seções anteriores abordaram os três aspectos centrais deste estudo:

- A **implantação** do “V” de Gowin em um curso de Física Experimental I;
- Os **roteiros** entregues aos estudantes;
- Os **critérios de avaliação** dos “V”s de Gowin utilizados nesse estudo.

Após apresentação das *Respostas* à essas *Questões* nas seções anteriores, é possível fazer algumas *Asserções de Valor* sobre esses aspectos centrais.

5.5.1 Considerações sobre a implantação do “V” de Gowin em um curso de Física Experimental I

O “V” de Gowin se mostrou um instrumento poderoso tanto no processo de investigação em uma pesquisa quanto no acompanhamento da disciplina *Física Experimental I*. As discussões realizadas com os estudantes se caracterizavam por uma intensa busca a aspectos aparentemente importantes para o experimento, sempre seguida pelo questionamento sobre a relevância dos mesmos. Os estudantes argumentavam em favor ou contra aspectos como *Conceitos*, *Princípios* ou *Hipóteses* e, a partir dessa argumenta-

ção faziam suas anotações que resultariam em um diagrama “V” entregue na semana posterior.

A implantação do “V” de Gowin nas atividades da disciplina *Física Experimental I* parece uma proposta de inovação adequada, pois, os estudantes participam efetivamente das discussões e identificaram o “V” de Gowin como um método para organizar as atividades realizadas na disciplina, bem como para articular os aspectos conceituais e metodológicos da mesma.

O sucesso nessa abordagem pode depender da forma como o “V” de Gowin é apresentado e do desenvolvimento da habilidade de uso do “V” pelos estudantes. A apresentação e o desenvolvimento desse trabalho consomem parte da carga horária da disciplina e devem ser bem planejados. Wesoly and da Costa (2008) sugere que a implantação do “V” em uma aula de laboratório possa ser um processo progressivo, e que os estudantes já familiarizados com o “V” através desse processo possam construir “V”s como fechamento das atividades desenvolvidas em sala de aula ao invés de relatórios.

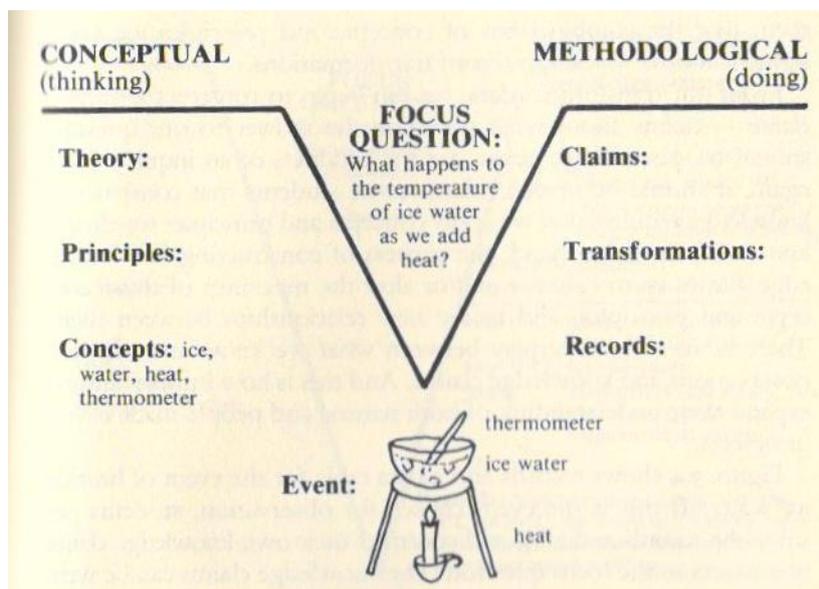


Figura 5.1: Exemplo de um “V” para a construção de conhecimento sobre o efeito da adição de calor na água (Novak and Gowin, 1984).

Novak and Gowin (1984) apresentam a Figura 5.1 que sugere outra proposta para a implantação do “V” de Gowin em uma aula de laboratório. Pode-se alcançar outros objetivos se não couber ao estudante identificar toda a estrutura do experimento, por

exemplo, deixando claro para ele qual é a *Questão Básica de Pesquisa* e não cobrando a descrição dos *Eventos*. Por outro lado, o estudante pode alcançar outros objetivos se dedicando apenas à busca pela *Questão Básica de Pesquisa* ou por outro aspecto do “V” de Gowin. Ou seja, a implantação do “V” de Gowin em um curso de Física Experimental é recomendada e, pode ser feita de diferentes formas, cada uma favorecendo um determinado objetivo específico. Neste estudo exploratório buscou-se modificar o mínimo possível a estrutura original do “V” de Gowin e da metodologia de avaliação proposta por Mintzes et al. (2000) para oferecer subsídios a trabalhos futuros com esses instrumentos.

Ainda sobre a apresentação do “V” de Gowin aos estudantes, o aspecto *Interpretações do Domínio Metodológico* poderia ser renomeado para *Discussões*, aproximando o diagrama “V” da nomenclatura comum em trabalhos acadêmicos que destacam as relações entre *Discussões & Conclusões*, como nessa dissertação. O aspecto *Asserções de Valor* também poderia ser renomeado para *Considerações Finais*, com o mesmo objetivo. É importante destacar que essas modificações não descaracterizam nem desvalorizam o “V” de Gowin original, ao contrário, têm como meta traduzi-lo para dinamizar sua utilização de acordo com a realidade de cada área do conhecimento ou mesmo, de cada região geográfica.

5.5.2 Considerações sobre os roteiros entregues aos estudantes

Os roteiros das experiências da Apostila de Física Experimental I são adequados à realização das experiências propostas e orientam os estudantes nas atividades realizadas na disciplina. Pequenos ajustes na descrição dos objetivos das experiências e/ou, nos destaques a referências bibliográficas podem oferecer melhores condições para o estudante realizar estas atividades e promover um melhor desenvolvimento das habilidades em Física Experimental.

O roteiro para utilização do “V” de Gowin em *Física Experimental I*, disponibilizado no Apêndice B, influenciou as atividades dos estudantes na disciplina, conforme observou-se na Análise de Dados, Capítulo 4 e pode auxiliar mais os estudantes ao explicitar **como** devem ser descritos os aspectos do “V” de Gowin. Isso pode ser possível com a apresentação dos critérios de avaliação adotados nesse estudo ou, que venham a ser estruturados em outra oportunidade. Mas, observou-se que as definições dos aspectos

do “V” de Gowin presentes nesse roteiro oferece uma eficiente sustentação teórica sobre a utilização dos diagramas “V”.

5.5.3 Considerações sobre os critérios de avaliação dos “V”s de Gowin utilizados nesse estudo

Os critérios propostos por Mintzes et al. (2000) privilegiam o melhor do “V” de Gowin, ou seja, sua capacidade de representar uma estrutura conceitual e a forte relação entre os aspectos dessa estrutura. Entretanto, a utilização desses critérios para avaliar estudantes em uma disciplina, conferindo-lhes notas a serem computadas para suas médias finais não é aconselhável, pois, esses critérios podem se mostrar muito rígidos para essa aplicação.

No entanto, a utilização desses critérios favoreceu uma leitura aprofundada sobre a utilização do “V” de Gowin pelos alunos de *Física Experimental I* e provavelmente, essa leitura não seria possível se critérios menos rígidos fossem utilizados.

Dependendo dos objetivos do estudo a ser realizado sobre a utilização do “V” de Gowin, outros critérios, porém, podem ser propostos. Por exemplo, Damasio et al. (2009) apresentaram o desenvolvimento de uma plataforma virtual para construção e avaliação de diagramas “V” que utiliza apenas os parâmetros *I*, para insuficiente, *S* para suficiente, e *E* para excelente para os aspectos do “V” de Gowin.

De modo geral, novas propostas de critérios são possíveis, mas deverão ser baseadas nas propostas de Mintzes et al. (2000) para valorizar as principais características do “V” de Gowin.

Referências Bibliográficas

Borges, A. T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 19(3), 291–313.

Brasil (1996, Dezembro). Lei de diretrizes e bases da educação nacional. Lei n. 9394.

Carrasco, H. D. J. (1985). Laboratório de física: Uma análise do currículo e da aprendizagem. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Damasio, F., S. M. V. Pacheco, and J. Martins (2009). Desenvolvimento de uma plataforma virtual para construção e avaliação de diagramas v. In *I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia*, pp. 1340–1348.

de Física, D. Disciplina física experimental i.

de Física, D. (2009). *Apostila de Física Experimental I*. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo.

do Curso de Graduação em Física, C. (2007a). Projeto político pedagógico - curso de física - modalidade licenciatura. Universidade Federal do Espírito Santo.

do Curso de Graduação em Física, C. (2007b). Projeto político pedagógico - curso de física - modalidade licenciatura. Universidade Federal do Espírito Santo.

Ferracioli, L. (2005). O 'v' epistemológico como instrumento metodológico o 'v' epistemológico como instrumento metodológico para o processo de investigação. *Revista Didática Sistemática* 1.

Ferracioli, L. (2008a, Agosto). Disciplina física experimental i - relatório de atividades- semestre 2008/1. Universidade Federal do Espírito Santo.

- Ferracioli, L. (2008b, Abril). *Método Analítico para Experimentos de Laboratório*. Vitória: ModeLab.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias* 12(3), 299–313.
- Leite, L. (2000). As actividades laboratoriais e a avaliação das aprendizagens dos alunos. *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*.
- Mintzes, J. J., J. H. Wandersee, and J. D. Novak (2000). *Assessing Science Understanding - A Human Constructivist View*. San Diego, California: Academic Press.
- Moreira, M. A. and C. E. Levandowski (1983). *Diferentes Abordagens ao Ensino de Laboratório*. Editora da Universidade.
- Novak, J. D. and D. B. Gowin (1984). *Learning How To Learn*. New York: Cambridge University Press.
- Wesoly, C. E. and S. S. C. da Costa (2008). O vê de gowin como mediador de significados para aulas de laboratório de física no ensino médio. In *Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa*.

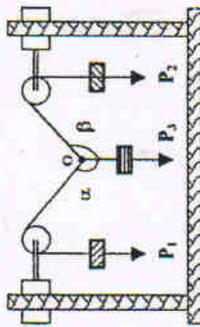
Apêndice A

Roteiros das experiências realizadas em Física Experimental I

EXPERIÊNCIA A1 – SOMA DE FORÇAS*

Objetivo: Verificar que a soma das forças que atuam sobre um corpo em equilíbrio estático é igual a zero. Aferir um dinamômetro. Explorar os conceitos de desvio e de incerteza.

Método: Aplicaremos um conjunto de três forças coplanares não paralelas em um ponto, o ponto O da figura ao lado, que se deslocará para uma posição de equilíbrio estático. Com esta montagem verificaremos que a soma das forças, coplanares e não paralelas, é igual a zero e que forças se adicionam vetorialmente.



Equipamento: Três suportes de ferro, duas roldanas, barbantes, pequenos objetos de pesos diferentes, um dinamômetro e um transferidor.

Procedimento:

1. Tome três objetos, de preferência com pesos desiguais, equilibre o sistema, meça os ângulos com o transferidor e meça os respectivos pesos P_1 , P_2 , e P_3 com o dinamômetro. Anote na 1.ª tabela da folha de dados, as forças F_1 , F_2 , e F_3 que atuam no ponto O da figura, partindo dos módulos de P_1 , P_2 e P_3 ; anote, também, os ângulos α e β ;
2. Repita o procedimento do parágrafo acima com outros dois conjuntos de três objetos, escolhendo pesos diferentes de um conjunto para outro;
3. O dinamômetro deverá ser aferido para se obter as forças corretamente: os dados para a aferição são obtidos medindo-se com a balança as massas de vários objetos diferentes e com o dinamômetro os pesos desses objetos. Anote estes dados na 2.ª tabela da folha de dados;
4. Para achar a correção do dinamômetro:
 - a) Calcule os pesos dos objetos cujas massas foram medidas na balança ($P_C = m \cdot g$). Construa uma tabela contendo estes pesos calculados (P_C), os pesos (P_M) medidos com o dinamômetro e as diferenças entre eles ($D = P_M - P_C$);
 - b) Calcule agora $D_{médio}$, o desvio médio da origem do dinamômetro; obter a média aritmética das diferenças (D) entre peso medido e peso calculado. Este valor médio é a correção que você deverá fazer nas leituras do dinamômetro (no relatório) para eliminar o efeito de um erro sistemático na escala do mesmo; o deslocamento da origem. Erros sistemáticos se reproduzem devido à falta de calibração do equipamento ou desvio de paralelaxe por parte do operador, ou outras causas previsíveis, não acidentais.

* Este experimento é um exercício envolvendo os conceitos de erro, desvio e incerteza.

5. Em seguida, para achar a incerteza das forças:

- a) Calcule o módulo das diferenças (d) entre o valor $D_{médio}$ calculado acima e cada uma das diferenças (D) entre os pesos medidos e os pesos calculados; $d = |D - D_{médio}|$;
- b) Finalmente, a média aritmética ($d_{médio}$) dos desvios (d) calculados no item anterior será a incerteza a ser atribuída às forças. Anote o valor encontrado na folha de dados.

Bibliografia:

Capítulo 3 (Cálculo Vetorial), Fundamentos da Física, vol. 1, Resnick-Halliday, Capítulo 5, seções 5-7, 5-8 e exemplos 4 e 6 do mesmo livro.

Para elaboração do Relatório:**Resumo dos Cálculos:**

- Aferição do Dinamômetro:
 - cálculo dos pesos (P_C);
 - diferenças $D (P_M - P_C)$;
 - média das diferenças ($D_{médio}$);
 - construa uma tabela com estes valores.
- Construção de uma tabela com as forças F_1 , F_2 , e F_3 corrigidas pelo termo $D_{médio}$, e os ângulos α e β subtraídos de 90°;
- Decomposição das forças que agem no ponto O da figura, em relação a um sistema de eixos cartesianos, para cada conjunto de forças:
 - soma das forças em x (com incertezas das forças e ângulos);
 - soma das forças em y (com incertezas das forças e ângulos).

Comentários finais e Conclusão:

Discuta os resultados obtidos para a soma das forças: compare o valor obtido para a soma das forças, para cada conjunto de pesos e em cada eixo, com o valor esperado e, levando em conta as incertezas, discuta se o objetivo da experiência foi verificado, justificando.

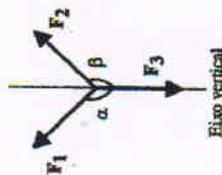
MODELO DA FOLHA DE DADOS - A1

**FORÇAS E ÂNGULOS
LEITURA DO DINAMÔMETRO (NÃO CORRIGIDA)**

	F ₁ (N)	F ₂ (N)	F ₃ (N)	α (°)	β (°)
1					
2					
3					

Incertezas nas Forças = ± _____ N

Incertezas nos Ângulos = ± _____ °



DADOS PARA AFERIÇÃO DO DINAMÔMETRO

	Massa (g)	Leitura no dinamômetro (N)
1		
2		
3		
4		
5		

Não é necessário atribuir incertezas a estes dados e aos cálculos para a aferição do dinamômetro.

Aceração da Gravidade = (_____ ± _____) m/s²

EXPERIÊNCIA A2

MOMENTO DE INÉRCIA E PÊNDULO DE TORÇÃO

Objetivo: Utilizar um pêndulo de torção para medir o momento de inércia (I), através da sua relação com o período das oscilações (T):

$$T = 2\pi\sqrt{I/K}$$

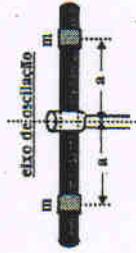
Verificar a dependência do momento de inércia com a distância das massas ao eixo de rotação.

Método: Faremos uma vareta delgada oscilar em torno de um eixo vertical e mediremos o período T_v desta oscilação. O momento de inércia da vareta pode ser calculado a partir da sua massa e de seu comprimento: I_v = M_vh²/12 (ver tabela, p.22).

A relação entre o período T_v, o momento de inércia da vareta I_v, e o módulo de torção K, é bem conhecida:

$$T_v = 2\pi\sqrt{I_v/K} \quad (1)$$

Tomaremos, a seguir, um novo objeto oscilante que será constituído da mesma vareta com dois contrapesos fixados à mesma, conforme figura.



O momento de inércia do conjunto será I e faremos variar o valor de I mudando o valor de a.

De acordo com o teorema dos eixos paralelos, para um dado valor de a, o momento de inércia I, previsto teoricamente, valerá:

$$I = I_v + 2I_0 + 2ma^2 \quad (2)$$

- I é o momento de inércia (total) do objeto da figura com relação ao eixo vertical de oscilação;
- I_v é o momento de inércia da vareta com relação ao eixo de oscilação;
- I₀ é o momento de inércia de cada contrapeso com relação a um eixo vertical passando por seu centro de massa;
- m é a massa de cada contrapeso;
- a é a distância do centro de massa de cada contrapeso ao eixo de oscilação.

Considerando-se que o período das oscilações do objeto constituído pela vareta mais os contrapesos obedece à mesma equação $T = 2\pi\sqrt{I/K}$, e que K é uma constante, poderemos obter o valor de I, experimentalmente, a partir dos valores de I_v, T_v e T:

$$\frac{T}{T_v} = \frac{2\pi\sqrt{I/K}}{2\pi\sqrt{I_v/K}} = \sqrt{\frac{I}{I_v}} \quad \text{que implica,} \quad I_{exp} = \left(\frac{T}{T_v}\right)^2 I_v \quad (3)$$

A equação (3) permite-nos determinar o valor experimental do momento de inércia total da vareta com contrapesos, isto é, I_{exp}.

Equipamento: Mola espiral montada de tal forma que sua extremidade livre se prende a um eixo vertical, que gira com pouco atrito. Um cronômetro, uma régua e uma vareta com dois contrapesos conforme figura anterior.

Procedimento:

1. Verifique se a vareta está fixada pelo seu centro;
2. A seguir faça-a oscilar com amplitude de, no máximo, 180° , sem os contrapesos, e anote o tempo t_N para N oscilações; escolha N entre dez e vinte;
3. Fixe os dois contrapesos na vareta, à mesma distância a do eixo de oscilação do sistema. Faça-o oscilar e anote o valor de a e o tempo das N oscilações;
4. Mude o valor de a e repita o procedimento. Anote na tabela da folha de dados, cada valor a e o tempo de cada uma das N oscilações;
5. Os dados relativos à vareta (massa e comprimento) e aos contrapesos (massa, comprimento e diâmetros externo e interno) serão fornecidos.

Observações úteis para o relatório:

- Para obtenção de $I_{\text{experimental}}$
 - É necessário calcular o período de oscilação T , da vareta sem os contrapesos (com os dados N e t_N) e o seu momento de inércia I_0 (use a tabela de momentos de inércia do texto).
 - Construa uma tabela com T^2 , a^2 e os valores experimentais de I , que deverão ser determinados a partir da equação (3).
 - Construa um gráfico em papel milimetrado para I em função de a^2 . Você deverá obter uma reta descrita pela seguinte equação:

$$I_{\text{experimental}} = c + \lambda \cdot a^2 \quad (4)$$

- Determine, a partir do gráfico, os valores de λ (coeficiente angular) e c (coeficiente linear), com as respectivas incertezas.
- Para comparar com $I_{\text{teórico}}$ [expressão (2)]
 - Calcule I_0 usando a equação (c) da Tabela de Momentos de Inércia do texto.
 - Substitua os valores de I_0 , I_0 , I_0 , e m na expressão (2). Você obterá uma expressão para o valor de $I_{\text{teórico}}$ em função de a^2 (não substitua nesta equação, os valores de a medidos experimentalmente).
 - Compare, então, os valores experimentais e λ , de $I_{\text{experimental}}$ (equação 4) com os correspondentes valores previstos teoricamente pela equação (2) e determinados no item anterior, ou seja, $(I_0 + 2I_0)$ e $(2m)$, respectivamente.

Bibliografia:

Capítulo 11, seções 11-6, 11-7 (Energia Cinética na rotação e Determinação do Momento de Inércia) - Fundamentos da Física, vol. 1, Resnick-Halliday; Capítulo 14, seção 14-5 (Movimento Harmônico Simples Angular).

Nota: É importante compreender bem o teorema dos eixos paralelos: veja, na tabela a seguir, três exemplos de momentos de inércia.

Para a elaboração do relatório:

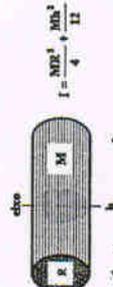
Resumo dos Cálculos:

- Cálculos de T , c e λ ;
 - Cálculo de I_0 ;
 - Cálculo dos parâmetros da reta, previstos na equação (2): $(I_0 + 2I_0)$ e $2m$;
 - Cálculos de T^2 , a^2 , e I . Construir uma tabela com estes valores;
 - Gráfico de I em função de a^2 ;
 - Coeficiente angular da reta média e incerteza no coeficiente angular;
 - Obtenção do coeficiente linear com incerteza (no gráfico).
- Comentários finais e conclusão:**
- Comparação entre os valores previstos teoricamente para os coeficientes angular e linear da reta e os valores correspondentes obtidos do gráfico, tendo em conta as incertezas; conclua, justificando o resultado dessa comparação. Caso não obtenha o resultado previsto, comente as possíveis causas;
 - Descreva o que observou sobre a dependência do momento de inércia com a distância das massas ao eixo de rotação.

TABELA DE MOMENTOS DE INÉRCIA



a) Vareta Delgada, Homogênea, Com Relação A Um Eixo Que Passa Pelo Centro De Massa:



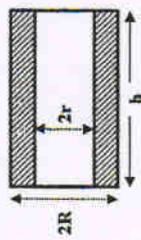
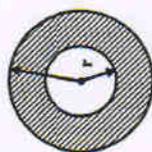
b) Momento De Inércia De Um Cilindro Maciço, Homogêneo, Com Relação A Um Diâmetro Central:



c) Momento De Inércia De Um Cilindro Oco Com Relação A Um Diâmetro Central:

MODELO DA FOLHA DE DADOS – A₂

Massa da vareta = (±) g
 Comprimento da vareta = mm
 Massa de cada contrapeso = (±) g
 h = (±) mm
 2R = (±) mm
 2r = (±) mm



Número de oscilações:
 N = (±)

Tempo para N oscilações da vareta sem os contrapesos:
 t_N = (±) s

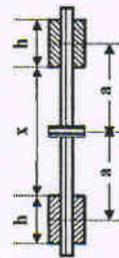
Tabela do tempo para N oscilações em função da distância \underline{a}

N oscilações	Tempo (s) para Distância \underline{a} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Incertezas no Tempo: $\pm \Delta t = \pm$ s
 Incertezas na Distância: $\pm \Delta a = \pm$ mm

$$a = \frac{1}{2}(x + h)$$

$$\Delta a = \frac{1}{2}(\Delta x + \Delta h)$$



EXPERIÊNCIA A₃

MOMENTO DE INÉRCIA E DINÂMICA DE ROTACÃO

Objetivo: Medir o momento de inércia I de um aro de bicicleta. Verificar a extensão da Segunda Lei de Newton para o movimento de rotação de um objeto em torno de um eixo fixo.

$$\vec{\tau} = I \vec{\alpha}$$

Método: Usaremos um aro de bicicleta montado em um eixo vertical conforme a figura 1. O aro está dependurado em um pequeno cilindro vertical de raio r (não mostrado na figura), por meio de barbantes. Um objeto pequeno, de peso P, será sustentado por um barbante que passa por uma polia e se enrola no pequeno cilindro vertical.

À medida que o objeto desce, o aro gira com velocidade angular crescente, em módulo. O torque resultante (τ) sobre o aro tem uma contribuição dada pela tensão (T) no barbante e outra dada pelo torque de arrasto (τ_{arr}). Este é produzido pelo atrito que atua no eixo do pequeno cilindro e pela resistência do ar.

É importante notar que o torque de arrasto tem sentido oposto à velocidade angular (ω) em qualquer instante. Determinaremos o torque resultante (τ). Ele será obtido a partir dos seguintes dados:

- h_1 = distância percorrida pelo objeto ao descer;
- h_2 = distância percorrida pelo objeto ao subir;
- r = raio do pequeno cilindro vertical;
- m = massa do objeto de peso P;
- α = aceleração angular do aro durante a descida do objeto de peso P;
- g = aceleração da gravidade.

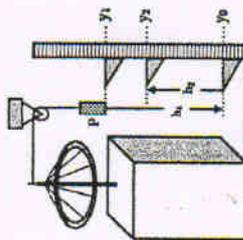


Figura 1

Mostre no seu relatório que o torque resultante (τ), aplicado sobre o aro será dado pela equação:

$$\tau = r m g \left(\frac{2 h_2}{h_1 + h_2} - \frac{r \alpha}{g} \right) \quad (1)$$

O torque resultante aplicado (τ), obtido de (1), e a aceleração angular (α) medida experimentalmente, estão relacionados pela expressão:

$$\tau = I \alpha \quad (2)$$

O valor experimental de I, calculado pela equação 2, deverá ser "idêntico" ao valor obtido, partindo-se da definição de Momento de Inércia, quando se conhece a massa do objeto e sua distribuição espacial.

No caso de um aro de massa M distribuída entre os raios interno e externo deveremos ter:

$$I = \frac{R_{\text{ext.}}^2}{2} M + \frac{r^2}{2} M$$

Não conhecemos a distribuição exata da massa do aro, mas podemos afirmar que o resultado da integral ficará entre os extremos:

$$MR_{\text{int}}^2 < I < MR_{\text{ext}}^2 \quad (3)$$

Equipamento: Pequenos objetos que serão usados para fornecer o peso P . O princípio deles servirá de suporte para os demais. Uma régua vertical com cursores será usada para medir as distâncias h_1 e h_2 . Um aro de bicicleta e um pequeno cilindro, montados conforme a figura 1. Um cronômetro e a balança do laboratório.

Procedimento:

1. Dependure o objeto de peso P no barbanete;
2. Deixe o barbanete completamente desenrolado e utilize o cursor para medir o valor de y_0 , que será o limite mais baixo da trajetória de P . Anote o valor de y_0 na folha de dados;
3. Enrole então o barbanete, levando P até uma posição mais alta y_1 , desloque o cursor para medir y_1 e anote o seu valor na folha de dados;
4. Solte o aro e acione o cronômetro no mesmo instante. Desligue o cronômetro quando o aro completar N voltas (4 a 6 voltas), registrando o tempo das N voltas (t_N), mas deixe o objeto continuar seu movimento de descida e retornar subindo até a posição y_2 , onde a velocidade se anula; neste instante, segure o aro e desloque o cursor para medir a posição final y_2 ;
5. Anote os valores de: N , t_N e y_2 na folha de dados;
6. Meça a massa do objeto que dependurou no barbanete: meça, também, a massa M do aro de bicicleta e seus raios interno ($R_{\text{int.}}$) e externo ($R_{\text{ext.}}$), se esses valores não forem fornecidos;
7. Para efetuar a medida do raio r do pequeno cilindro vertical você deverá fazer o aro girar um determinado número N_1 de voltas (dez, por exemplo) e medir o comprimento L do barbanete desenrolado. Anote os valores de N_1 e L na folha de dados.

OBSERVAÇÕES ÚTEIS PARA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO:

A equação (1) relaciona o torque τ resultante sobre o aro, com r , P , h_1 , h_2 e g . Lembre-se que a tração T no barbanete e o atrito que atua no pequeno cilindro vertical e no aro de bicicleta contribuem para esse torque.

Para deduzir a equação (1) é necessário:

considerar que o trabalho do torque de atrito ($W_{\text{at.}}$) é o responsável pela diferença na energia potencial do sistema entre as duas posições y_1 e y_2 , isto é:

$$W_{\text{at.}} = mg(h_1 - h_2); \text{ lembrar-se que o trabalho do torque de atrito é, por definição:}$$

$$W_{\text{at.}} = \tau_{\text{at.}} \cdot \theta_{\text{rotacional}} \text{ e que o aro percorreu no seu movimento, durante a descida e posterior a subida de } P, \text{ um ângulo total dado por:}$$

$$\theta_{\text{descida}} = (h_1 + h_2)/r$$

utilizar as relações entre cinemática angular e cinemática linear,

$$v = \omega r \text{ e } \theta = \alpha t \text{ aplicadas ao movimento durante a descida de "P";}$$

aplicar a 2.ª Lei de Newton ao objeto de peso $P = mg$ e que desce com aceleração a :

$$\text{Peso} - \text{Tensão no barbanete} = ma; \text{ e tensão no barbanete} = T;$$

aplicar a 2.ª Lei de Newton à rotação do aro de bicicleta:

$$T_{\text{tensão}} \cdot r_{\text{at.}} = I \cdot \alpha, \text{ onde o torque } \tau_{\text{tensão}} = rT$$

Na expressão obtida para o torque resultante (τ) aparece um termo que você, certamente, poderá desprezar nos seus cálculos: trata-se de $r\omega/g$. Será desprezível? Por quê?

Para se obter o valor experimental da aceleração angular (α):

Medir o tempo (t) que o aro gasta para girar de um ângulo (θ) e usar a relação

$$\theta = \frac{1}{2} \alpha t^2 \text{ obtida da cinemática do movimento de rotação.}$$

Considerar que ao fim de N voltas o aro percorreu um ângulo

$$\theta_N = 2 \pi N \text{ durante um intervalo de tempo } t_N$$

Para determinar o raio r do pequeno cilindro vertical, relacionar r com L e N_1 .

Bibliografia:

Capítulo 11, seções 11-5 (As grandezas lineares e as grandezas angulares), 11-6 e 11-7 (Energia Cinética de Rotação e Momentos de Inércia, respectivamente) - Fundamentos de Física, vol. 1, de Resnick-Halliday.

Ainda, no capítulo 11 do mesmo livro: seções 11-8, 11-9 e 11-10 (Torque, Segunda Lei de Newton na Rotação, Trabalho, Potência e o Teorema da transformação do Trabalho em Energia Cinética).

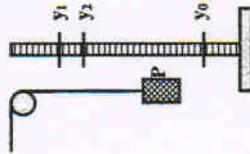
Resumo dos Cálculos:

- Cálculo de r ;
- Cálculo de α ;
- Cálculo de $r \alpha / g$;
- Cálculo de $2h_2 / (h_1 + h_2)$;
- $r \alpha / g$ pode ser desprezado? Por quê?
- Cálculo do τ ;
- Obtenção de I (momento de inércia);
- Cálculo de MR_{int}^2 e MR_{ext}^2 .

Comentários finais e conclusão:

- Discussão dos resultados: comparação de I com MR^2_{cm} e MR^2_{ext} .
- Tendo a conta as incertezas, conclua se o resultado da comparação era o esperado e justifique. Caso não obtenha o resultado previsto, comente as possíveis causas.

MODELO DA FOLHA DE DADOS – A3



Massa do objeto P:

$m = (\quad \pm \quad) \text{ g}$

Ordenadas do objeto P:

$y_0 = (\quad \pm \quad) \text{ mm}$

$y_1 = (\quad \pm \quad) \text{ mm}$

$y_2 = (\quad \pm \quad) \text{ mm}$

Tempo para N voltas = $(\quad \pm \quad) \text{ s}$

N.º de Voltas N = $(\quad \pm \quad)$

Dados para a medida do raio do pequeno cilindro vertical:

Comprimento descurado pelo barbante L = $(\quad \pm \quad) \text{ mm}$

N.º de voltas (incerteza desprezível) N_L = \quad

Dados do Arco:

Massa do arco = $(\quad \pm \quad) \text{ g}$

Diâmetro externo = $(\quad \pm \quad) \text{ mm}$

Diâmetro interno = $(\quad \pm \quad) \text{ mm}$

Aceleração da Gravidade = $(\quad \pm \quad) \text{ m/s}^2$

EXPERIÊNCIA A4

CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR DURANTE UMA COLISÃO

Objetivo: Verificar que o momento linear total de um sistema se conserva durante as colisões que podem ocorrer dentro do sistema considerado; que a velocidade do centro de massa não se altera.

Método: Usaremos um sistema constituído por corpos de massas m_1 e m_2 , que se aproximam com velocidades v_1 e v_2 , respectivamente. Desta forma o momento linear total do sistema será:

$$\vec{P} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

Se após a colisão os corpos se movimentarem com as velocidades v_1' e v_2' , respectivamente, o novo momento linear total será:

$$\vec{P}' = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

Tentaremos verificar, estudando um movimento horizontal sem atrito, que:

$$\vec{P}' = \vec{P}$$

Trabalharemos com dois corpos de massas diferentes e mediremos as massas dos corpos e suas velocidades antes e depois da colisão.



A colisão das duas esferas, na figura, ilustra o fenómeno que vamos estudar. Durante a colisão, atuam em cada uma das esferas as forças F_1 e F_2 , dependentes do tempo, de mesmo módulo, mas em sentidos opostos. Desta forma a variação do momento linear da esfera 1 (Δp_1) somada à variação do momento linear da outra esfera (Δp_2) resulta nula.

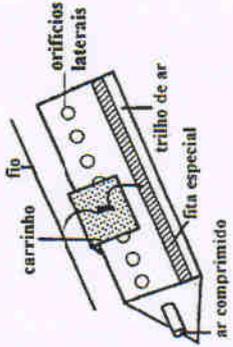
$$\Delta p_1 = \int_{t_0}^{t_1} F_1 dt$$

$$\Delta p_2 = \int_{t_0}^{t_1} F_2 dt$$

$$F_{1,2} = F_{2,1}$$

$$\Delta p_1 = -\Delta p_2$$

Equipamento: Utilizaremos o sistema composto de dois carrinhos colocados sobre um trilho capaz de formar um colchão de ar. O ar vem de um compressor, entra por uma das extremidades do trilho e escapa por pequenos orifícios laterais, impedindo o contato entre as superfícies. Cada carrinho dispõe de um fio, esticado acima do trilho, ligado a um faiscador.



Um arame preso no carrinho, quase tocando o fio, dará passagem a descargas elétricas que vão "queimar" pontos em uma fita de papel especial esticada ao longo do próprio trilho.

Cuidado: Os fiscoadores produzem pulsos de tensão muito alta, 35.000 volts, de modo que será prudente não tocar no trilho e nos carrinhos depois que forem ligados; duas varretas de madeira poderão então ajudar no manuseio do equipamento.

Procedimento:

1. Instale a fita de papel especial.
2. Dois carrinhos de massas diferentes serão ligados em série a um só fiscoador, desta forma o intervalo de tempo entre as faiscas será o mesmo para os dois carrinhos. Procure "acertar" o arame preso aos carrinhos, de tal forma que uma das suas extremidades quase toque o fio esticado acima do trilho e, a outra, a fita de papel especial; tome cuidado para que a posição do arame sobre a fita seja diferente nos dois carrinhos, para evitar sobreposição de marcas na fita.
3. Escolha um intervalo de tempo T conveniente para as descargas sucessivas do fiscoador. Sugurimos 0,05 s.
4. Ligue o compressor e observe o movimento dos dois carrinhos. Procure fazer com que um deles, o de menor massa, fique parado na parte central do trilho (se for necessário, corrija o nivelamento com o parafuso lateral do trilho). Depois destes procedimentos, desligue o compressor.
5. Pressione o carrinho de massa maior contra o elástico da extremidade do trilho (se o elástico for adequado, não precisará do auxílio da vareta de madeira para manter o carrinho pressionado). O carrinho de massa menor deverá ficar parado na parte central do trilho.
6. Dispare o fiscoador, aguarde alguns segundos e, a seguir, ligue novamente o compressor; o carrinho que estava comprimido o elástico iniciará, então, o seu movimento, dirigindo-se para o carrinho parado.

Para impedir que haja superposição de marcas na fita, desligue o fiscoador pouco antes que o carrinho de menor massa chegue ao final da trajetória. Os carrinhos deverão ser imobilizados no final da trajetória (utilize a vareta de madeira se for conveniente); desligue, também, o compressor nesse momento.

Não se esqueça de "descarregar" o fiscoador, logo após desligá-lo.

7. Meça e anote nas tabelas da folha de dados as posições das marcas feitas na fita pelas faiscas (x_{1a} , x_{1a}' , x_{2a}). Anote, também, o intervalo de tempo entre elas.
8. Meça, ainda, a massa de cada carrinho na balança do laboratório, se estes valores não forem fornecidos.

• Observações úteis para o relatório:
 Tome uma origem dos tempos ($t = 0$) antes da colisão e outra após a colisão. As velocidades v_1 , v_1' , e v_2' serão obtidas a partir dos gráficos das posições em função do tempo calculando-se os coeficientes angulares (com as incertezas) das respectivas retas. A velocidade v_2 deverá ser nula.
 Calcule, então, o momento linear e a energia cinética para cada carrinho, antes e depois da colisão, a fim de verificar se houve conservação do momento linear total, bem como da energia cinética total.

Bibliografia: Capítulo 10, seções 10-2, 10-3 e 10-4 (Impulso e momento linear, Colisões elásticas em uma dimensão e Colisões inelásticas em uma dimensão, respectivamente).

Para elaboração do Relatório:

Resumo dos Cálculos:

- Gráficos de posição em função do tempo (três);
- Cálculo das velocidades a partir dos gráficos (com incertezas);
- Momentos lineares individuais antes da colisão;
- Momentos lineares individuais após a colisão;
- Momentos lineares totais (antes e depois da colisão);
- Energias cinéticas individuais antes da colisão;
- Energias cinéticas individuais após a colisão;
- Energias cinéticas totais (antes e depois da colisão);

Comentários finais e conclusão:

- Comparação de P com P'. O que ocorre com a velocidade do centro de massa? Discuta.
- Comparação entre as energias cinéticas totais;
- Tendo a conta a incerteza, comente se o resultado das comparações era o esperado. Caso não obtenha os resultados previstos, comente as possíveis causas.

Nota: A incerteza relativa percentual nos intervalos de tempo fornecidos pelo fiscoador é de 0,1%, conforme catálogo do equipamento.

MODELO DA FOLHA DE DADOS - A

Intervalo de tempo entre as faiscas: $T = (\dots \pm \dots) s$

Massas dos carrinhos: Maior: $M_1 = (\dots \pm \dots) g$

Menor: $M_2 = (\dots \pm \dots) g$

n	x_{1a} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	

x_{2a} (mm)
 Este carrinho deverá ficar parado antes da colisão

Posições x_{1a} e x_{2a} dos carrinhos 1 e 2 antes da colisão, nos instantes $t_1 = nT$

n	x_{1a}' (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	

x_{2a}' (mm)
 Este carrinho deverá ficar parado após a colisão

Posições x_{1a}' e x_{2a}' dos carrinhos 1 e 2 depois da colisão, nos instantes $t_1 = nT$

Incerteza na posição: $\pm \Delta x = \pm \dots$ mm

EXPERIÊNCIA A3

SEGUNDA LEI DE NEWTON

Objetivo: Verificar que a aceleração adquirida por um corpo sob a ação de uma força constante é inversamente proporcional à massa do corpo.

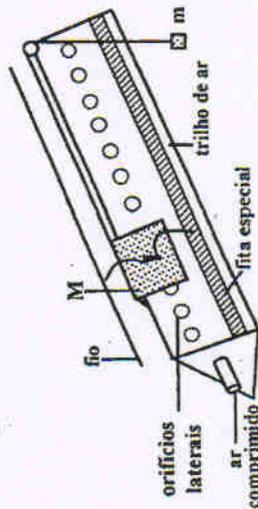
Método: Considere os dois corpos de massa M e m na figura ao lado. Eles estão ligados entre si por meio de uma fita muito leve e inextensível. Com esta montagem as acelerações de M e m terão o mesmo módulo. Na ausência de atrito entre as superfícies, o módulo da aceleração de cada um dos corpos deverá ser:

$$(1) \quad a = \left(\frac{m}{m + M} \right) g$$

onde g é o módulo da aceleração da gravidade.

É necessário demonstrar esse resultado no relatório. É obtido a partir da Segunda Lei de Newton, quando aplicada a cada um dos corpos isoladamente.

Equipamento: Usaremos um trilho de ar. Este consiste de um trilho com orifícios laterais por onde o ar, proveniente de um compressor, escapa. O colchão de ar que se forma impede o contato entre as superfícies, eliminando o atrito.



Usaremos dois carrinhos de massas M_1 e M_2 , diferentes, puxados um de cada vez por um objeto de massa muito pequena (m) se comparada com M_1 ou M_2 . Acima do trilho estará esticado um fio, ligado a um fischador. Um arame preso ao carrinho e quase tocando o fio descarregará periodicamente sobre uma fita de papel especial, esticada ao longo do trilho.

As marcas deixadas na fita pelas faiscas, indicam a posição do carrinho em instantes sucessivos.

Cuidado: Os fischadores produzem pulsos de tensão muito alta, 35.000 volts, de modo que será prudente não tocar no trilho e nos carrinhos depois que forem ligados; duas varietas de madeira poderão então ajudar no manuseio do equipamento.

Procedimento:

1. Ligue o compressor e observe o deslocamento de um dos carrinhos puxado pelo objeto de massa m (pequeno peso);
2. Verifique o nivelamento do trilho observando o movimento de um dos carrinhos deslizando solto sobre o mesmo (livre da fita). Corrija, se for necessário, com o parafuso da extremidade do trilho. Desligue, agora, o compressor;
3. Procure "acertar" o arame preso aos carrinhos, de tal forma que uma das suas extremidades quase toque o fio esticado acima do trilho e, a outra, a fita de papel especial que será instalada no trilho. Teste o fischador, escolhendo um intervalo de tempo T apropriado para as descargas sucessivas. Sugerimos 0,10 s (anote);
4. Instale a fita de papel especial e coloque um dos carrinhos, ao qual deverá estar presa a fita que o liga à massa m , na posição em que terá início o movimento;
5. Dispare o fischador, aguarde alguns segundos e, em seguida, ligue o compressor: o carrinho iniciará, então, o seu movimento. Desligue o fischador e o compressor quando o carrinho atingir o fim do trilho.
Não se esqueça de "descarregar" o fischador, logo após desligá-lo.
6. Substitua o carrinho, mude a posição do arame preso ao carrinho para evitar sobreposição de marcas na fita, e repita a experiência;
7. Meça as massas dos dois carrinhos e do pequeno peso, caso não tenham sido fornecidas;
8. Meça e anote nas tabelas da folha de dados as posições dos pontos sucessivos marcados na fita para cada carrinho (x_{1n} e x_{2n}).

Com estes dados é possível obter as velocidades médias de cada carrinho entre faiscas sucessivas. Considere, então, que em cada instante t_n o carrinho se encontra na posição x_n e que os valores de t_n sejam dados por:

$$t_n = nT, \text{ onde } T \text{ é o intervalo de tempo entre faiscas sucessivas.}$$

O valor da velocidade instantânea no instante t_n será obtido calculando-se a velocidade média entre o instante anterior t_{n-1} e o instante posterior t_{n+1} , ou seja:

$$v_n = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{2T}$$

que conduz ao resultado:

$$(2) \quad v_n = \frac{s_n}{2T} \quad \text{e} \quad s_n = x_{n+1} - x_{n-1}$$

Para obter esse resultado é necessário demonstrar que, no movimento unidimensional uniformemente acelerado, a velocidade média entre dois instantes sucessivos t e $t + T$ é idêntica à velocidade instantânea no instante $t + T/2$.

É necessário demonstrar esse resultado no relatório.

- Observações úteis para o relatório:

Faça uma tabela da velocidade instantânea (v_a) em função do tempo (t_a), para cada carrinho. A seguir trace o gráfico de v em função de t para cada carrinho, obtendo as respectivas acelerações e suas incertezas através dos respectivos coeficientes angulares das retas e suas incertezas.

Compare $(M_1 + m)a_1$ com $(M_2 + m)a_2$, e $(M_1 + m)/(M_1 + m)$ com a_2/a_1 . Calcule, ainda, mg para comparar com os resultados acima.

Bibliografia:

Capítulo 2, seção 2-6 (Movimento Retilíneo - Aceleração Constante) Fundamentos de Física, vol. 1, Resnick-Halliday.
 Capítulo 5, seções 5-4, 5-5 (Massa e Segunda Lei de Newton) e seção 5-9 (Aplicações da Lei de Newton) do mesmo livro.

Para elaboração do Relatório:

Resumo dos Cálculos:

- Cálculo das velocidades do carrinho 1 (fazer tabela);
- Cálculo das velocidades do carrinho 2 (fazer tabela);
- Gráficos de v em função de t para cada carrinho (dois);
- Coeficiente angular (com incerteza) das retas médias;
- Cálculos de $(M_1 + m)a_1$, $(M_2 + m)a_2$, a_2/a_1 e mg .

Deduções:

- Deduzir a expressão (1), representando todas as forças numa figura e aplicando as leis de Newton a cada um dos corpos isoladamente;
- Deduzir o resultado dado pela expressão (2).

Comentários finais e conclusão:

- Comparação de $(M_1 + m)a_1$ com $(M_2 + m)a_2$ e mg ;
- Comparação de $(M_1 + m)/(M_2 + m)$ com a_2/a_1 ;
- Tendo a conta as incertezas, conclua se o resultado das duas comparações era o esperado e justifique. Caso não obtenha os resultados previstos, comente as possíveis causas.

MODELO DA FOLHA DE DADOS - A3

Intervalo de tempo entre as faíscas:

$T = (\quad \pm \quad) \text{ s}$

Massas dos carrinhos e do pequeno peso:

$M_1 = (\quad \pm \quad) \text{ g}$

$M_2 = (\quad \pm \quad) \text{ g}$

$m = \quad \text{ g}$

Posições x_{1n} e x_{2n} dos carrinhos 1 e 2 nos instantes $t_n = n T$

n	x_{1n} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

n	x_{2n} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Incerteza nas posições: $\pm \Delta x = \pm \quad \text{ mm}$

NOTA: A incerteza relativa percentual nos intervalos de tempo fornecidos pelo fuscador é de 0,1 %, conforme catálogo do equipamento.

EXPERIÊNCIA XI

"PLANO INCLINADO"

Objetivo: Verificar a dependência da aceleração adquirida por um corpo em um plano inclinado em função do ângulo que este plano forma com a horizontal.

Equipamento: Usaremos um trilho de ar, o mesmo do experimento A5 sem a fita para fracionar o carrinho. Utilize um único carrinho de massa M para as duas inclinações do trilho.

Procedimento:

1. Ligue o compressor e observe o deslocamento do carrinho e nivele o trilho. Procure "acertar" o arame preso aos carrinhos, de tal forma que uma das suas extremidades quase toque o fio esticado acima do trilho e, a outra, a fita de papel especial que será instalada no trilho. Ajuste o fâscoador, escolhendo um intervalo de tempo T apropriado para as descargas sucessivas. Sugirimos 0,10 s.
2. Introduza um colço em um dos extremos do trilho de ar, de forma a produzir uma pequena inclinação.
3. Dispare o fâscoador, aguarde alguns segundos e, em seguida, ligue o compressor: o carrinho iniciará, então, o seu movimento. Destique o fâscoador e o compressor quando o carrinho atingir o fim do trilho.

Não se esqueça de "descarregar" o fâscoador, logo após desligá-lo.

3. Introduza mais um colço na mesma extremidade do trilho, mude a posição do arame preso ao carrinho para evitar sobreposição de marcas na fita, e repita a experiência;
 4. Meça e anote nas tabelas da folha de dados as posições dos pontos sucessivos marcados na fita para cada inclinação do trilho (x_{1n} e x_{2n}).
- Com estes dados é possível obter as velocidades médias de cada carrinho entre fâscoas sucessivas da mesma forma como procedeu no experimento A5.
 - Considere, então, que em cada instante t_n , o carrinho se encontra na posição x_n e os valores de t_n sejam dados por:

$$t_n = nT, \text{ onde } T \text{ é o intervalo de tempo entre fâscoas sucessivas.}$$

O valor da velocidade instantânea no instante t_n será obtido calculando-se a velocidade média entre o instante anterior t_{n-1} e o instante posterior t_{n+1} , ou seja:

$$v_n = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}} = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{2T}$$

que conduz ao resultado:

$$(2) \quad v_n = \frac{v_n}{2T} \quad \text{e} \quad s_n = x_{n+1} - x_{n-1}$$

- Observações úteis para o relatório:

Faça uma tabela da velocidade instantânea (v_n) em função do tempo (t_n), para cada inclinação do trilho. A seguir trace o gráfico de v em função de t para cada uma das situações, obtendo as respectivas acelerações e suas incertezas através dos respectivos coeficientes angulares das retas e suas incertezas.

Compare a_1 e a_2 , com os respectivos valores esperados: $g \sin(\theta_1)$ e $g \sin(\theta_2)$.

Para elaboração do Relatório:

Resumo dos Cálculos:

- Cálculo das velocidades do carrinho 1 (fazer tabela);
- Cálculo das velocidades do carrinho 2 (fazer tabela);
- Gráficos de v em função de t para cada ângulo θ ;
- Coeficiente angular (com incerteza) das retas médias;
- Comparação de a_1 e a_2 com $g \sin(\theta_1)$ e $g \sin(\theta_2)$.

MODELO DA FOLHA DE DADOS – XI

Intervalo de tempo entre as fâscoas: $T = (\quad \pm \quad)$ s

Massa do carrinho: $M = (\quad \pm \quad)$ g

Inclinação do trilho:

$L = (\quad \pm \quad)$ mm

Posições x_{1n} e x_{2n} do carrinho ($t_n = nT$)



n	x_{1n} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

n	x_{2n} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Para obter Φ_1 ,

$h1 = (\quad \pm \quad)$ mm

$h1' = (\quad \pm \quad)$ mm

Incerteza nas posições: $\pm \Delta x = \pm$ mm

NOTA: A incerteza relativa percentual nos intervalos de tempo fornecidos pelo fâscoador é de 0,1 %, conforme catálogo do equipamento.

Para obter Φ_2 ,

$h2 = (\quad \pm \quad)$ mm

$h2' = (\quad \pm \quad)$ mm

Apêndice B

Roteiro para utilização do “V” de Gowin em Física Experimental I



CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS INTERATIVAS APLICADAS À MODELAGEM COGNITIVA
ModeLab

www.modelab.ufes.br

Método Analítico para Experimentos de Laboratório

(VERSÃO REVISADA)

ABRIL/2009

Apresentação

A partir de 2008 a Universidade Federal do Espírito Santo iniciou a implantação do novo currículo para o Curso de Física nas Modalidades **Físico-Pesquisador (Bacharelado)** e **Físico-Educador (Licenciatura)**. Esse currículo foi norteado pelas normas reguladoras da LDBEN e baseadas no Parecer CNE/CES 1.304/2001 e a Resolução CNE/CES 9/2002, que estabeleceram as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física.

Assim, faz-se necessário a busca de novas perspectivas aos processos de ensino e aprendizagem para a geração de alternativas de materiais instrucionais baseados na experiência desses 32 anos de existência do Curso de Física da UFES.

Neste sentido, este texto é a versão revisada de material instrucional que está sendo desenvolvido para a disciplina FIS06326 – Física Experimental I, ou, Física Experimental I do Currículo Novo.

Este material foi utilizado no **Semestre 2008-1** para os calouros de Física na nova versão do currículo do Curso de Física e os resultados foram utilizados para a sua implementação e aperfeiçoamento para ser novamente aplicados neste **Semestre 2009-1**.

Assim sendo, solicita-se aos usuários deste material, que encaminhem suas críticas e sugestões para o e-mail: laercio.ufes@gmail.com.

Laércio Ferracioli

Método Analítico para Experimentos de Laboratório

1. Introdução

A palavra *estrutura* refere-se às partes de um todo, à função de cada parte e às relações entre estas partes. Quando se refere à estrutura de uma equipe de futebol, por exemplo, podem-se identificar cada jogador e sua posição, descreve-se sua função na equipe e mostra-se como os jogadores - nas suas funções - se relacionam, isso é, interação. Podem-se exemplificar estruturas em diferentes áreas de conhecimento: por exemplo, na Física, a estrutura do átomo, na Biologia, a estrutura da célula, na Química, a estrutura dos hidrocarbonetos, na Arquitetura & Urbanismo, a estrutura urbana de uma cidade ou nas Ciências Sociais, a estrutura de uma sociedade.

No contexto de um experimento de laboratório, *estrutura* pode ser entendida como a identificação das diversas partes componentes do experimento, a descrição da função de cada uma delas, bem como as relações funcionais entre estas diversas partes.

O Método Analítico que será apresentado tem por objetivo auxiliá-lo na compreensão da estrutura de um experimento de laboratório desde a sua montagem até a elaboração do relatório do experimento realizado. Esse Método Analítico é baseado no 'V' Epistemológico de D. B. Gowin (1981) e nas abordagens de Levandowsky & Bonilla (1983), Moreira & Levandowsky (1983), Ferracioli (2002) e Moreira (2006).

Uma vez entendida a descrição e utilização desse Método Analítico, será possível a sua aplicação fora do contexto laboratorial, seja na análise crítica de trabalhos baseados em procedimentos experimentais ou de trabalhos com enfoque teórico.

2. Descrição do Método Analítico

O Método Analítico a ser usado no contexto laboratorial é baseado na resposta as seis questões apresentadas a seguir:

- 1) Qual o *evento* observado, isto é, o fenômeno que está sendo estudado?
- 2) Qual(is) a(s) *Questão(ões) Básica(s)* do experimento?
- 3) Quais os *conceitos-chaves*?
- 4) Qual é o *método (procedimento)* de pesquisa?
- 5) Quais as *respostas (conclusões)* obtidas através do experimento?
- 6) Quais as *afirmações de valor*?

Para seu completo entendimento será apresentada uma descrição de cada conceito envolvido nas seis questões para a aplicação na análise de um experimento de laboratório.

2.1. Questão 1: Eventos

Eventos são fenômenos que acontecem naturalmente ou que são feitos acontecer na natureza. O processo de investigação experimental é, essencialmente, um processo através do qual se vai de eventos até respostas a questões formuladas a respeito desses eventos.

Detalhando essa primeira distinção entre eventos pode-se acrescentar:

- eventos que acontecem ou que se pode fazer acontecer ou reproduzir e manipular em situações de laboratório: exemplo, queda dos corpos, dilatação de corpos, medida da carga elétrica de um elétron entre outros;
- eventos que acontecem na natureza, mas que *não* se pode fazer acontecer, reproduzir ou manipular em situações experimentais: exemplos destes eventos só podem ser observados e estudados, tais como, os eclipses, surgimento de supernovas, entre outros.

Outra distinção importante que pode ser feita é entre eventos registráveis em não registráveis. É difícil de se imaginar eventos não registráveis, mas a título de ilustração pode-se citar processos mentais como a aprendizagem de um conceito físico, a "sacada" na resolução de um problema. Dentre os eventos registráveis podemos ainda distinguir entre:

- registráveis diretamente, isto é, que podem ser vistos, fotografados ou medidos diretamente, tais como corpos caindo, espectros atômicos, estrelas;
- não diretamente registráveis, isto é, que não podem ser vistos, fotografados ou medidos diretamente, tais como o comportamento de átomos e partículas elementares.

Concluindo, **evento** é aquilo que acontece. Os eventos são as fontes de evidência experimental no processo de investigação científica. No caso de um experimento de laboratório com o foco didático, pode-se ainda distinguir os eventos em:

- **evento primário**, aquele que é o foco principal do experimento a partir do qual se coleta dados para se chegar as asserções de conhecimento e valor, ou seja, a resposta a questão básica do experimento;
- **evento secundário**, aquele que dá suporte ao evento primário, ou seja, dados coletados nesses eventos podem fornecer resultados que são usados no evento primário.

2.2. Questão 2: Questão Básica

A **questão básica** é a questão que identifica o objetivo específico do experimento sobre o fenômeno de interesse a ser estudado de modo que seja realizada a coleta de dados para responder essa questão. A **questão básica** é a pergunta que informa sobre o objetivo específico do experimento informando a razão e, em essência, o que será investigado.

2.3. Questão 3: Conceitos-Chaves

Os **conceitos-chaves** são os conceitos fundamentais do campo de estudo no qual se infere o experimento e que estão envolvidos na questão básica e no experimento em si. Pode-se definir conceito como:

uma entidade lógica, abstrata e universal que representa um conjunto de objetos, eventos ou relações que possuem algumas características comuns, as quais podem ser referidas ou identificadas por um nome ou símbolo particular.

Considerando o conceito de *líquido*, este aponta qualidades comuns ao leite, ao óleo e à água embora ignore muitas diferenças entre eles.

Assim, um conceito, por ser uma entidade lógica, abstrata e universal, permite a generalização. A generalização é a extensão de um conceito a todos os casos a que se pode aplicar. É o processo pelo qual se reconhecem caracteres comuns a vários objetos ou eventos singulares. Portanto, em menor escala, um conceito tem o poder de generalização de um princípio ou lei, uma vez que, princípios e leis são formulados através de conceitos.

Entretanto, a terceira questão do Método Analítico - *Quais os conceitos-chave?* – requer não só a identificação e descrição dos conceitos-chave, mas também a explicação de como eles estão logicamente ligados entre si de modo a formar uma **estrutura conceitual**. A **estrutura conceitual** revela o mapeamento de padrões de raciocínio ao relacionar os conceitos envolvidos em um experimento. A **estrutura conceitual** desempenha o papel de orientação no desenvolvimento de métodos ou procedimentos de pesquisa.

2.4. Questão 4: Método

O método de pesquisa é o procedimento experimental. Em uma experiência, ao se investigar um evento, está se procurando respostas para questões acerca desse evento, isto é, de um fenômeno que acontece ou que é feito acontecer em laboratório através de manipulação a fim de estudá-lo sob vários aspectos.

Para isso e para registrar esse evento é necessário utilizar equipamentos que vão desde o mais simples medidor até aparelhos sofisticados dependendo do fenômeno abordado. O registro dos eventos fornece dados que geralmente são organizados em gráficos, tabelas, equações, entre outras formas. Esses dados são trabalhados para que possam ser interpretados e permitirem chegar às conclusões, ou seja, obter as respostas – resultados - às questões de pesquisas. Tais resultados são então comparados com tabelas, gráficos, equações já existentes ou com a estrutura conceitual do experimento.

Assim, o procedimento experimental é a seqüência dos seguintes passos:

- **Registro dos Eventos ou Medidas**
São os dados brutos coletados sobre o evento ocorrido permitindo, dessa forma, estudá-lo. Sem a realização de medidas não há como estudar o fenômeno de interesse.
- **Transformações das Medidas**
É a ação de processar os registros dos eventos ou medidas. As *transformações* são os cálculos, a construção de tabelas e gráficos. Em algumas situações, devido ao fato dos registros serem intensivamente *transformados* ou *processados*, pode ocorrer que os resultados venham a ficar longe dos eventos primários em estudo o que pode levar o usuário a perder a real conexão entre os dados experimentais e os eventos: é necessário cuidado especial para o caso de experimentos de laboratório com o foco didático.
- **Interpretações**
São os processos de análise e síntese dos dados experimentais, também denominados registros transformados: é a análise de um gráfico, a síntese contida em um valor médio calculado a partir de vários dados ou mesmo a comparação de resultados obtidos no experimento com a estrutura conceitual. Enfim, interpretações são os últimos passos que possibilitam a formulação de respostas às questões básicas do experimento.

2.5. Questão 5: Respostas (Conclusões) do Experimento

Uma **resposta** ou **conclusão** de um experimento é um **produto** de um processo de investigação. Uma investigação é um processo que inclui uma questão, conceitos, métodos e a produção de respostas ou conclusões. Muitas vezes uma investigação gera novas questões ao lado de respostas às questões iniciais; esta é uma característica da investigação científica; a de sempre permitir evolução a partir da formulação de novos problemas.

2.6. Questão 6: Afirmações de Valor

Qualquer investigação deverá estar sujeita a perguntas quanto a sua significância, utilidade, importância. Essas perguntas referem-se às **afirmações de valor**:

- das respostas ou conclusões obtidas ao final da investigação, como por exemplo, o valor técnico e científico dos resultados obtidos ou a valor didático do experimento;
- da investigação conduzida, como por exemplo, afirmações sobre a utilidade de certo método, a precisão de uma técnica, a clarificação de um conceito, o valor didático da investigação do experimento.

A investigação científica e as respostas às questões básicas possibilitam vários tipos de afirmações de valor. Ao se analisar e escolher esses valores pode-se considerar vários aspectos, tais como, aspectos econômicos, políticos, educacionais, didáticos, sociais, morais, estéticos, técnicos, instrumentais éticos, humanísticos, entre outros.

Enfim, no contexto do laboratório, a realização de um experimento está sujeita a perguntas, tais como: *Qual o valor do experimento? Qual o valor dos resultados? Qual o valor do instrumental? Qual a significância? Qual a utilidade? Significância e utilidade para quem? Significância e utilidade para que?*

Em resumo, o Método Analítico descrito consiste em responder as seguintes perguntas:

- **Questão 01**
Qual o evento realizado para abordar o fenômeno em estudo?
- **Questão 02**
Quais as questões básicas para o estudo do fenômeno?
- **Questão 03**
Quais os conceitos-chave envolvidos no estudo desse fenômeno?
Como esses conceitos-chaves estão articulados em uma estrutura conceitual: definições, hipóteses, princípios e leis?
- **Questão 04**
Qual é o procedimento experimental para responder às questões básicas?
Isso é, quais são os registros do evento, as transformações dos registros e as interpretações dos dados?
- **Questão 05**
Quais as respostas às questões básicas formuladas para o estudo do fenômeno?
- **Questão 06**
Qual o valor das respostas e do experimento realizado?

3. A Estruturação do Método Analítico para o Laboratório de Física Experimental

As perguntas do Método Analítico descritas na seção anterior podem ser organizadas para o contexto de um experimento de laboratório em uma estrutura própria utilizando a forma de uma letra 'V', conforme mostra a Figura 01. Este tipo de representação foi proposta por Gowin (1981) e tem sido referenciado como 'V' de Gowin (pronuncia-se "Gáuin") ou 'V' Epistemológico (e.g. Ferracioli, 2002; Moreira, 2006)

Na ponta do 'V' estão o(s) **Evento(s)** e o(s) **Objeto(s)** que estão sendo observados. Simbolicamente, o 'V' aponta para esses eventos e objetos para indicar as fontes de evidência de uma investigação ou um experimento.

O **Lado Esquerdo do 'V'** é o lado conceitual ou teórico consistindo de conceitos, definições, hipóteses, princípios e leis os quais compõem a **estrutura conceitual** ou a teoria envolvida no experimento. Ainda nesse lado pode-se considerar o que é denominado de **filosofia** representando, de forma sucinta,

*'uma visão do mundo que constitui um sistema de valores
que gera afirmações de valor'.*

O lado esquerdo determina, ainda, quais eventos, dentre os envolvidos no fenômeno, serão investigados orientando, também, a formulação da(s) questão(ões) básica(s) de pesquisa. Dessa forma, **Lado Esquerdo do 'V'** representa o *Domínio Conceitual* da investigação sendo considerado o lado do *Pensar o Experimento*.

Assim que os eventos e as questões básicas são definidos com o auxílio do *lado esquerdo do 'V'* ou do *Domínio Conceitual*, este passa a guiar o **Lado Direito do 'V'** que representa o lado prático do experimento ou o lado do *Fazer o Experimento* também denominado de *Domínio Metodológico*. Dessa forma, o lado direito está relacionado à decisão das medidas (registro dos eventos) a serem tomadas, como realizar estas medidas, como transformá-las, como interpretar os dados e, finalmente, quais as conclusões ou respostas que podem ser escritas sobre o fenômeno observado. As afirmações de valor são formuladas com base no sistema de valores ou filosofia situado no início do lado conceitual.

Nesse contexto, o 'V' mostra de forma explícita e articulada que qualquer experimento é guiado pela *contínua interação* entre o *Domínio Conceitual* e o *Domínio Metodológico*.

É importante salientar que, enquanto as respostas às "seis questões" provêm informações sobre o que foi investigado, sobre a estrutura conceitual do estudo, sobre os métodos de pesquisa e sobre as afirmações de conhecimento e valor, o 'V' fornece um **mapa** revelando como estes aspectos de um trabalho de investigação estão relacionados com eventos básicos que ocorreram naturalmente ou que foram feitos ocorrer ao longo de um experimento. A Figura 01 mostra uma versão do 'V' para o caso da realização de experimentos em laboratório com o foco didático.

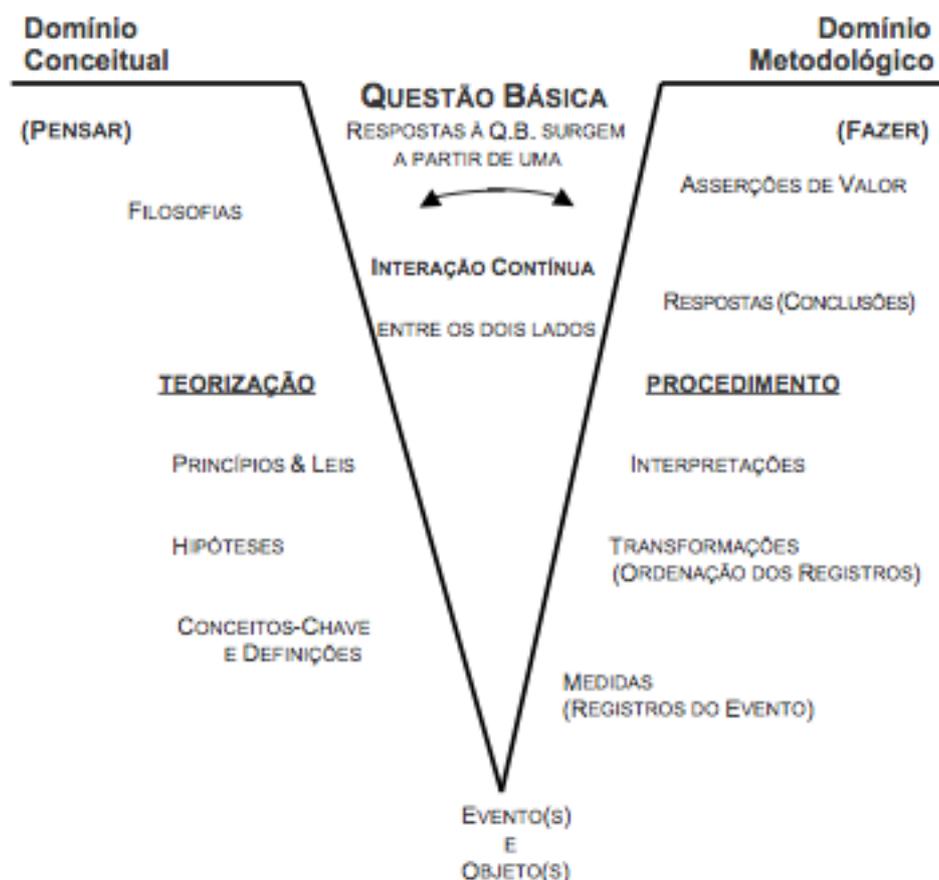


Figura 01: A estrutura do 'V' representando as Seis Questões do Método Analítico para a organização de um experimento em Física

A utilização do 'V' em laboratórios de Física tem objetivo de auxiliar o estudante na visualização da interação entre:

- o **Domínio Conceitual**, ou o **Pensar o Experimento**,
- os **Eventos** que ocorreram ou foram feitos ocorrer,
- as **Questões Básicas** e
- o **Domínio Metodológico** ou o **Fazer o Experimento**.

Esta representação revela, de forma sucinta, a contínua interação desses domínios para a estruturação da investigação e do conhecimento científico.

A Figura 02 apresenta uma versão passível de melhoria do 'V' da Experiência A01 – **Soma de Força** como exemplar de aplicação desse procedimento descrito. A aplicação desse procedimento abre de duas possibilidades de utilização:

- **Construção**
aquele que constrói essa representação é levado a reflexão, organização e conseqüente entendimento de todos os aspectos conceituais e metodológicos envolvidos no experimento;
- **Análise**
aquele que analisa e/ou utiliza essa representação é levado ao sucinto entendimento de todos os aspectos conceituais e metodológicos envolvidos no experimento.

Finalizando, pode-se dizer que as '**Seis Questões**' e o '**V**', constituir-se-ão em instrumentos para a análise crítica do trabalho que serão desenvolvidos através de experimentos de laboratório de Física Experimental I e dos Laboratórios de Física ao longo de seu Curso de Física.

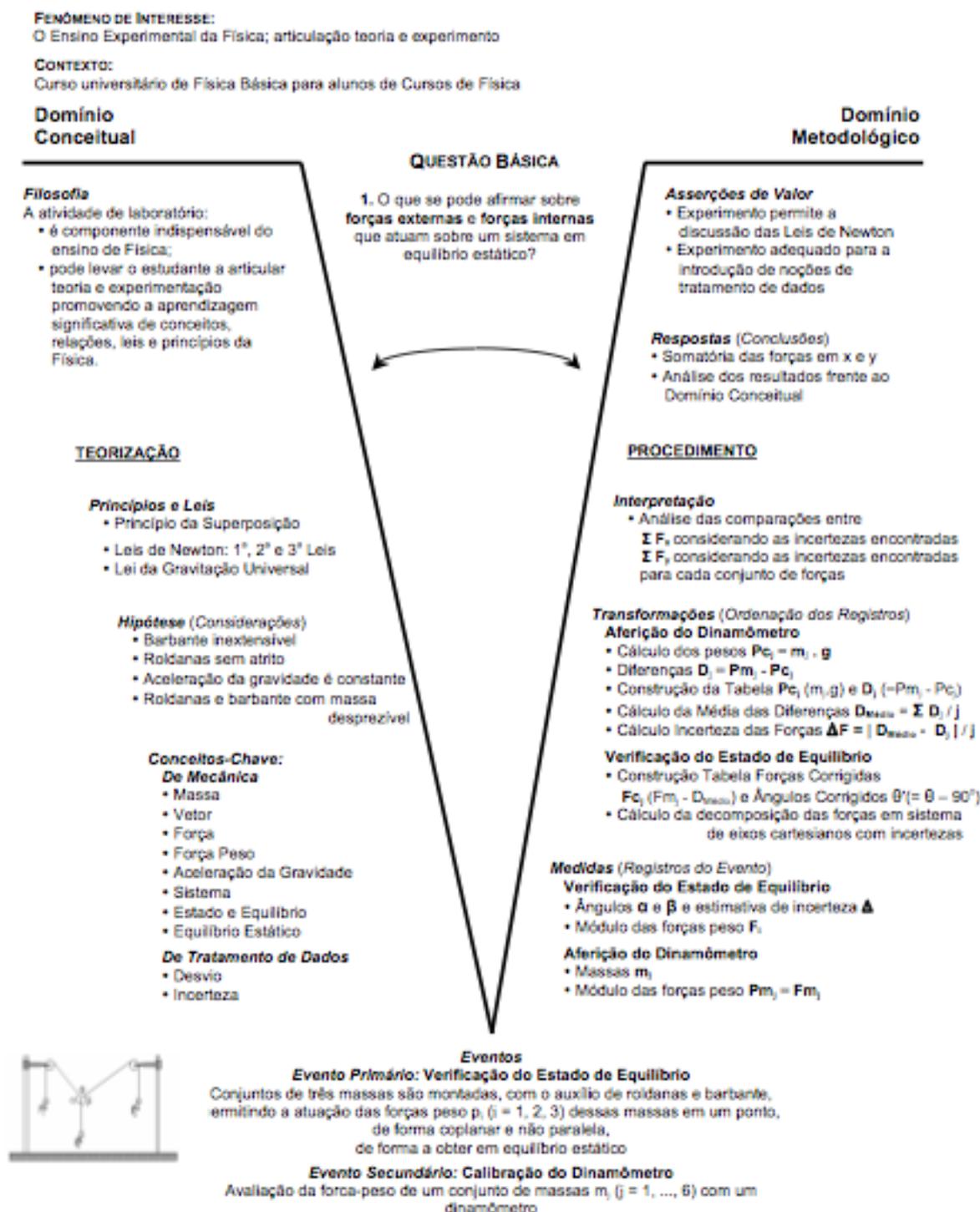


Figura 02: O 'V' da Experiência A01 - Soma de Força

4. O Relato do Experimento

A finalização da realização de um experimento é o relato do que foi feito, ou seja, é a confecção do Relatório do Experimento.

No contexto de um experimento de laboratório visando à aprendizagem do estudante, a escrita de um Relatório do Experimento é um trabalho individual e constitui-se em um instrumento de aprendizagem que visa realçar a **Construção Pessoal do Conhecimento**. Dessa forma, o Relatório do Experimento constitui-se em um Instrumento de Aprendizagem e em um Instrumento de Avaliação.

Relatório Tradicional	Relatório Tradicional a partir do "V" de Gowin
Página de Rosto	Título da Experiência Objetivo
Introdução	Dados Coletados: Folha de Dados Descrição do fenômeno (evento) estudado = Método Apresentação detalhada dos objetivos da experiência: Questões Básicas de Pesquisa
Fundamentação Teórica	Apresentação da Estrutura Conceitual: <ul style="list-style-type: none"> • Conceitos-chaves & Definições • Suposições e relações conceituais matemáticas • Princípios, Leis & Hipóteses a serem testadas (quando houver)
Descrição do Experimento	Descrição do equipamento utilizado Descrição do Procedimento descrevendo as variáveis analisadas, observações e medidas executadas Descrição da interação entre teoria e prática Descrição das transformações das medidas: <ul style="list-style-type: none"> • Cálculos completos incluindo incertezas • Confecção de Tabelas • Procedimento detalhado da confecção de Gráficos • (4) Interpretações dos dados experimentais
Discussão & Conclusões	Comparações entre resultados obtidos e valores tabelados ou esperados Análise sobre as possíveis fontes de erros e causas quando da não verificação dos objetivos do experimento Respostas às Questões Básicas de Pesquisa (objetivos) iniciais da experiência Respostas a eventuais questões de segunda ordem que tenham surgido ao longo da execução da experiência Análise sobre limites de validade dos resultados
Comentários Finais	Relevância dos resultados e da experiência em si: utilidade e significância Sugestões para o aprimoramento e para novos experimentos

5. Bibliografia

- DFis (2008) *Física Experimental 1 & Laboratório de Física*. Vitória, ES: Publicação Interna do Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo.
- FERRACIOLI, L. (2002) O 'V' Epistemológico como Instrumento Metodológico para o Processo de Investigação. *Didática Sistemática*: 1(1): 106-25. Disponível no endereço: <http://www.redisis.furg.br/>.
- GOWIN, D.B. (1981) *Educating*. Ithaca: Cornell University Press.
- LEVANDOWSKI, C. E. & BONILLA, I.B. (1983) *Física Experimental III*. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MOREIRA, M. A. (2006) *Diagramas V*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MOREIRA, M. A. ; LEVANDOWSKI, C. E. (1983) *Diferentes Abordagens ao Ensino de Laboratório*. Porto Alegre: Editora da Universidade.
- SEARS, F.; ZEMANSKY, M.W. & YOUNG, H.D. (1986) *Física 1: Mecânica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Apêndice C

**Exemplares de “V”s de Gowin
produzidos por um estudante para as
cinco experiências realizadas nesse
estudo**

DATA

V de Gowin

Questão básica:

Qual o comportamento da força resultante em um ponto em repouso num sistema de forças coplanares?

• Valores:

O experimento tem valor na iniciativa experimental e podemos chegar a resultados concretos sobre sistemas de forças.

• Conclusão:

Podemos comprovar que a força resultante em um corpo em repouso é 0 para qualquer eixo.

• Interpretação:

Analisa-se um padrão no comportamento da força resultante no ponto em repouso do sistema.

• Transformação

Decompor e calcular a resultante das forças nos eixos X e Y.

• Medidas:

Montar um gráfico das forças exercidas pelos corpos e dos ângulos formados pelo fio.

• Teorias:

- Mecânica Dinâmica

• Princípios:

- Lei da gravidade

- Leis de Newton

- Princípio da superposição

• Hipóteses:

- O fio é ideal

- A roldana é ideal

- Resistência do ar desprezível.

- Roldanas perfeitamente alinhadas e verticais.

• Conceitos:

- Decomposição de forças;

Roldanas; Peso; Força resultante; massa, vetor, gravidade; Tração, fio, equilíbrio, sistema.

• Eventos

Em um barbante que passa por duas roldanas alinhadas fixas a hastes de metal são presos três corpos, dois em cada ponta e um no centro, de modo a provocar o dobramento do fio. A força peso de cada corpo é medida, assim como os ângulos gerados lateralmente no fio no ponto que o corpo central é pendurado. O dinamômetro é aferido, as forças (equivalentes às trações) são decompostas e é calculada a força resultante para os eixos referenciais do sistema.

DATA

V de Gowin

<ul style="list-style-type: none"> • Teoria: <ul style="list-style-type: none"> - Mecânica (Gerd) • Princípios: <ul style="list-style-type: none"> - Leis de Newton • Hipóteses: <ul style="list-style-type: none"> - Fio ideal - Res. do ar despr. - Sist. SI/forças ext. - Trilho perf. horiz. - Roldana ideal • Conceitos: <ul style="list-style-type: none"> - velocidade, massa, aceleração, posição, deslocamento, força sistema, gravidade peso, roldana, resultante. 	<p>Q. B.:</p> <p>É válida a segunda lei de Newton pr um sistema onde a resultante é apenas a força peso?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aserções: <ul style="list-style-type: none"> Com isto comprovamos a validade e confiabilidade da lei de Newton pr este sistema. • Respostas: <ul style="list-style-type: none"> - Se a aceleração obtida pelo método teórico for igual a experimental. A 2ª lei de Newton é válida. • Interpretações <ul style="list-style-type: none"> - Comparar acelerações obtidas. • Transformações: <ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de velocidades médias e plotagem de gráfico, cálculo da aceleração pelo gráfico e pela 2ª lei de Newton. • Medidas: <ul style="list-style-type: none"> - Massa dos carros e do corpo, intervalo do piscador, gravidade e posições marcadas pelo piscador.
--	--	--

• Eventos:

Um Trilho capaz de gerar um colchão de ar é ajustado de modo a ficar perfeitamente horizontal. Um carro ligado a um piscador é colocado sobre o Trilho, preso ao carro também há um fio que passa por uma roldana e segura um corpo que está pendurado, liga-se o piscador e, então, o compressor de ar. Não havendo atrito, o carro desliza. As posições marcadas pelo piscador são medidas, sabendo-se o intervalo de tempo entre uma faísca e outra. O procedimento é repetido.

Os carros e o corpo são pesados. Com as transformações e cálculos, são plotados gráficos de velocidade, para o cálculo da aceleração. Então, a aceleração é calculada pelo método de Newton e ambas são calculadas.

V de Gowin.

• Teoria:

- Mecânica (geral)

• Princípios:

- Leis de Newton

- Princípio da conservação de energia / momento linear.

• Hipóteses:

- Resistência do ar desprezível.

- Sist. S/ forças ext.

- Trilho perfeitamente horiz.

- Colisão perfeitamente elást.

• Conceitos:

Velocidade, massa, momento linear, sistema, quantidade de movimento, posição, gráfico, tempo, incerteza, colisão, conservação.

• Aserções:

Com isto comprovamos a validade dos princípios de conservação de K e $Q.M.$

• Respostas:

Sendo o momento consideravelmente o mesmo, existe conservação.

• Interpretações:

comparar o momento antes e após a colisão, ver se este se conserva.

• Transformações:

plotagem dos gráficos, cálculo das velocidades e do momento linear do sistema.

• Medidas:

Massas dos carros, intervalo do piscador, posições dos carros antes e após a colisão.

• Eventos:

Um trilho é ajustado de modo a ficar perfeitamente horizontal, sobre o trilho são colocados dois carros de diferentes massas e adaptados a piscadores previamente testados. Um carro é deixado no centro do trilho, o outro é preso ao canto sendo forçado por um elástico. Liga-se o compressor de ar, conectado ao trilho de modo a formar um lençol de ar, então solta-se o carro ao canto, que é impulsionado pelo elástico e colide com o outro carro. Durante o movimento, os piscadores marcam as posições dos carros em tempos com intervalo definido. Estas são medidas, faz-se um gráfico e calcula-se a velocidade dos corpos e o momento linear do sistema antes e após a colisão.

Teoria:

- Mecânica (Geral)

Princípios:

- Lei da gravidade

Hipóteses:

- Superf. S/ atrito

- Resistência do ar desprezível

- Trilho sem deformações

- Sist. S/ forças externas.

Conceitos:

- Velocidade, posição, aceleração, gravidade, seno, ângulo, sistema, atrito.

Q.F.:

Existe relação entre

a aceleração de um

corpo e o ângulo

do plano de apoio

em um sistema sem

atrito?

Assertões de valor:

Se o experimento der certo,

provamos a relação entre

a aceleração e o ângulo de

inclinação da sup. de apoio.

Respostas:

As acelerações teórica e

experimental (gráfica) devem

ser iguais \Rightarrow Relação Válida

Interpretações:

Compara-se a aceleração calculada pelo gráfico com o produto da gravidade pelo seno do ângulo.

Transformações:

Velocidade dos carros, montagem de gráfico, aceleração calculada pela teoria e pelo gráfico.

Medidas:

Posições do carro, intervalo do piscador, diferença das alturas de dois pontos do trilho e sua distância.

Eventos:

Um carro é colocado sobre um trilho capaz de gerar um lençol de ar, o trilho é inclinado e são medidos dados com os quais se calcula a inclinação do trilho. O carro é conectado a um piscador de intervalo conhecido. O compressor e o piscador são acionados, são medidas posições do carro marcadas em intervalos de tempo iguais, com as quais são calculadas velocidades médias, montado um gráfico, e deste a aceleração, que é comparada com o produto da gravidade pelo seno do ângulo - o eq. teórico da aceleração

V de Gowin.

Teoria:	Q.B.:
→ Mecânica (Dinâmica)	"É possível calcular o momento de inércia de um aro de bicicleta girante, com razoável precisão, através de sua aceleração quando submetido a um torque?"
Princípios:	<ul style="list-style-type: none"> → 2ª lei de Newton → Eq. angular do mov. em relação ao tempo.
Hipóteses:	<ul style="list-style-type: none"> → Atrito desprezível → Str. do ar. → S/ precessão
Conceitos:	<ul style="list-style-type: none"> → Massa, gravidade, altura, ângulo, tração, aro, fio, roldana, momento de inércia, aceleração angular.
	<ul style="list-style-type: none"> Asserções de Valor: É possível descobrir o momento de inércia de um corpo experimentalmente, desconhecendo massa e dimensões. Conclusão: O I experimental deve estar contido entre o I ext. e o I int. Interpretações: <ul style="list-style-type: none"> → Comparar os momentos de inércia teóricos e experimental Transformações: Calcular o I int. e ext. do aro, α baseado no tempo em n de voltas e I. exp. vo / experimental Medidas: Posições de m, tempo e número de voltas, massas do corpo m e do aro, diâmetros do aro e do eixo

Eventos:

Um aro de bicicleta gira em torno de um eixo, pelo qual passa um fio que fica preso a um corpo de massa m , sustentado por uma roldana. É medida a menor altura que o corpo m atinge, este é levantado, mede-se a posição, largura, mede-se o tempo t que gire 4-6 vezes, e a posição que atinge quando o aro para, medem-se os diâmetros e massas do aro, e do eixo, são efetuados os devidos cálculos de modo a obter os momentos de inércia por vias experimentais e teóricas e então comparados.

Apêndice D

Artigo apresentado no XVIII SNEF

A UTILIZAÇÃO DO 'V' DE GOWIN EM UMA DISCIPLINA DE FÍSICA EXPERIMENTAL DA GRADUAÇÃO EM FÍSICA

Paulo de Oliveira Maciel Junior¹, Laércio Ferracioli²

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, paulo83@gmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo, laercio.ufes@gmail.com

Resumo

*Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de promover alguma inovação educacional na disciplina Física Experimental I oferecida pelo Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo aos alunos ingressantes na Graduação em Física. Essa iniciativa se justifica pelo fato de que, via de regra, os alunos seguem um roteiro de procedimentos, reproduzem e discutem os resultados, mas não são levados a criticar o modelo aplicado nem o corpo conceitual ou metodológico das experiências. Para promover essa discussão, foi estruturada uma metodologia que incluiu o V do Gowin juntamente com procedimentos de cada experiência: o V é uma ferramenta que destaca elementos constituintes de um experimento em Física, a saber, **objetivos, estrutura conceitual, estrutura metodológica, eventos, discussão e conclusões**, "desempacotando" esses elementos em um diagrama. Os aspectos teóricos do V foram apresentados aos alunos que, em seguida, foram solicitados a construir um exemplar de V da primeira experiência da disciplina. Nas experiências seguintes os alunos construíram seu próprio V que foi avaliado com critérios que valorizavam a coesão, coerência e aprofundamento tanto do V de Gowin quanto da estrutura conceitual das experiências. As avaliações dos V's construídos pelos estudantes permitiram uma leitura sobre os procedimentos da disciplina, apontando dificuldades conceituais relacionadas à e.g. Dinâmica de Rotações, apontando também indicativos para melhoria do material didático disponibilizado, tais como, clareza dos objetivos a serem alcançados tanto nas experiências quanto na construção dos V's. Ao final do semestre foi feito um levantamento de opinião revelando que 70 % dos alunos aprovaram a metodologia utilizada sendo que 50 % afirmaram que a prática os auxiliou na organização das idéias envolvidas nas experiências. Outro resultado relevante foi que 68 % responderam que recomendam a utilização dos V's na disciplina experimental seguinte. Baseado nesses resultados o material foi aprimorado e será novamente utilizado em 2009/1.*

Palavras-chave: Inovação Curricular, Estratégia de Ensino, Laboratório de Física, V Epistemológico

1 Introdução

Este trabalho foi desenvolvido durante da disciplina "O Laboratório no Ensino de Física" no Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo - PPGFis. O professor da disciplina assumiu as turmas de Física Experimental I oferecidas aos alunos ingressantes no Curso de Graduação em Física no período 2008 /1. O aluno de mestrado desempenhou a função de monitor nessas turmas. Deve-se registrar que essas foram as primeiras turmas ingressantes no currículo novo do Curso de Física da UFES cujas alterações foram: no currículo anterior havia 02 disciplinas de laboratório de 3 horas semanais oferecidas no 2º e 4º semestres abordando as 04 disciplinas teóricas do ciclo básico; o novo currículo introduziu 04 disciplinas de laboratório de 2 horas semanais oferecidas concomitantemente com cada disciplina teórica.

O objetivo da disciplina é abordar conceitos de Mecânica a partir de experimentos e tratamento de dados coletados. Assim, além da Introdução à Teoria de Erros e Construção de Gráficos, para a implantação da inovação educacional proposta foi incluída uma Introdução ao V de Gowin através de apostila [1] e foram selecionadas três experiências: "Soma de Forças" cujo objetivo é a verificação do equilíbrio estático em um sistema e calibração de dinamômetro; "Conservação do Momento Linear durante uma Colisão", que trata de leis de conservação de momento e energia; e "Momento de Inércia e Pêndulo de Torção", responsável pela abordagem de dinâmica de rotações [2].

A motivação do trabalho foi a constatação de que no modelo adotado anteriormente cabia aos alunos seguir procedimentos e repetir resultados sem discutir profundamente a teoria envolvida [3]. A opção pelo V de Gowin vem do fato dessa estratégia permitir levar o estudante a refletir sobre a experiência a partir de questões chave: *Quais os objetivos?*, *Quais os conceitos envolvidos?*, *Qual é o método de pesquisa?*, *Como deve ser a experiência?* e *Quais respostas são obtidas?* Na próxima seção será apresentado o V de Gowin.

2 A Metodologia Baseada no V Epistemológico de Gowin

O V de Gowin pode ser usado tanto para análise da estrutura do processo de produção do conhecimento quanto como instrumento para 'desempacotar' o conteúdo de conhecimentos [4]. Ou seja, a avaliação de um V de Gowin construído a partir de certa situação, fornece elementos-chaves do conhecimento acerca desta situação pelo autor do V. E também, ao construir um V, o autor criterioso é forçado a destacar esses elementos. O V de Gowin [5] se torna de fácil leitura, justamente, pelo destaque dos elementos citados a seguir e da representação gráfica apresentada na Figura 01

Elemento 01: Evento

Qual o evento realizado para abordar o fenômeno em estudo?

Elemento 02: Objetivo

Quais as questões básicas para o estudo do fenômeno?

Elemento 03: Domínio Conceitual

Quais os conceitos-chave envolvidos no estudo desse fenômeno? Como esses conceitos-chaves estão articulados em uma estrutura conceitual: definições, hipóteses, princípios e leis?

Elemento 04: Domínio Metodológico

Qual é o procedimento experimental para responder às questões básicas? Isto é, quais são os registros do evento, as transformações dos registros e as interpretações dos dados?

Elemento 05: Respostas à Questão de Pesquisa

Quais as respostas às questões básicas formuladas para o estudo do fenômeno?

Elemento 06: Relevância das Respostas

Qual o valor das respostas e do experimento realizado?



Figura 01: Representação Gráfica do V de Gowin

Mintzes e Novak [6] identificam quatro requisitos para que haja *entendimento* sobre algo. A estrutura conceitual correspondente deve possuir **intersubjectividade**: deve ter seus sentidos e significados compartilhados por pessoas afins, como alunos da mesma sala; **coerência**: não pode possuir contradições internas; **parcimônia**: não pode possuir proposições desnecessárias; e **transparência**: deve ser justificada pelos padrões conceituais e metodológicos que prevalecem no paradigma científico.

O V de Gowin é apresentado como ferramenta para reconhecimento desses requisitos em uma estrutura conceitual: "desempacotamento", análise e crítica [4,5]. Mintzes e Novak [6] apresentam estudos onde os alunos eram solicitados a construir um V de Gowin sobre temas abordados em salas de aulas e em laboratórios. Os autores apresentam também um método de avaliação do V de Gowin para reconhecer as habilidades e dificuldades dos estudantes frente aos temas abordados. Como benefícios, os autores ainda destacam a revisão de roteiros de aulas experimentais que o estudo possibilita ao identificar dificuldades apresentadas pelos estudantes relacionadas com os roteiros tradicionais.

Os critérios de avaliação de um V de Gowin sugeridos por Mintzes e Novak [5] foram revistos e adaptados ao contexto da disciplina em questão. O próprio V de Gowin foi adaptado: para auxiliar a identificação com a experiência, "asserções de valor" deram lugar a "respostas", assim como foi adicionado o elemento "hipóteses" no Domínio Conceitual. Essas modificações permitiram um maior detalhamento no V de Gowin esperado.

É importante destacar que esses critérios valorizam a interligação entre os elementos do V. Assim, a Questão Básica de Pesquisa não é completa se não recebe suporte do Domínio Conceitual ou não é abordada pelos Eventos. A interligação entre os elementos é uma das principais características do V, e uma de suas principais vantagens. O V é composto de elementos aparentemente isolados, mas que estão continuamente interligados, de maneira a compor uma estrutura conceitual que apresente os requisitos de *intersubjectividade*, *coerência*, *parcimônia* e *transparência*.

3 Metodologia

Os 55 estudantes ingressantes foram matriculados em 3 turmas com o mesmo professor do quadro permanente da Universidade e o mesmo monitor, aluno regular de mestrado do PPGFis. Desses 55 estudantes inicialmente matriculados, somente 31 concluíram o semestre: em consulta informal foi constatado que grande parte dos estudantes trancou o curso por estar concluindo nesse ano um curso técnico, outra parcela simplesmente abandonou a disciplina alegando falta de tempo e alguns nunca compareceram.

A partir da metodologia proposta, a disciplina foi estruturada de forma que, além das aulas teóricas sobre teoria de erros, gráficos e apresentação do V de Gowin, cada experimento fosse abordado em um ciclo de 3 aulas: a primeira com a discussão do V de Gowin relativa à experiência em pauta, a segunda aula dedicada à realização do experimento e a terceira para a discussão do relatório e do V de Gowin gerados a partir da experiência.

Na primeira aula de cada ciclo os alunos foram questionados e levados a discutir as teorias e os conceitos envolvidos do experimento, incluindo as considerações necessárias ao modelo teórico. Esse passo era o início da construção do V de Gowin para cada experiência. É importante destacar que todos os alunos participaram das discussões não sendo apresentado nenhum texto escrito para evitar a definição de um gabarito.

Durante a segunda aula os alunos, divididos em grupos com 03 estudantes em média, realizavam as experiências com ajuda do monitor e do professor. Por uma deficiência do laboratório, que é o mesmo usado para disciplinas equivalentes oferecidas para outros cursos, havia poucos exemplares de cada experiência. Em alguns casos, esse fato limitou o contato dos grupos com as experiências em uma hora, ou seja, meia aula, para que todos tivessem acesso.

Por fim, na terceira aula de cada ciclo os alunos apresentavam os relatórios preparados para cada experiência com os correspondentes V's: a apresentação consistia da discussão aprofundada dos relatórios e dos V's. Esta aula fechava o ciclo da experiência em questão e o resultado desse processo pode ser caracterizado como denso em termos conceituais e metodológicos, constituindo-se em uma atividade extremamente produtiva e de envolvimento dos estudantes.

Ao fim do primeiro ciclo relativo a experiência sobre "Soma de Forças" os alunos prepararam o V de Gowin, mas esse não foi avaliado. Foi entregue aos alunos uma versão básica do V de Gowin da primeira experiência, para servir de base para as outras experiências. Os V's que eles prepararam para as experiências seguintes foram avaliados, sendo que no último ciclo, não houve a aula de discussão do V de Gowin antes da experiência, deixando a cargo deles a construção do V. Os Vs produzidos pelos alunos foram avaliados e devolvidos, sendo que cópias foram geradas para registro.

A final do semestre foi decidido que a atividade com os V's não seria utilizada no critério formal de avaliação da disciplina embora tenha sido utilizada para arredondamento da nota final, uma vez que os estudantes se engajaram nessa atividade. Essa decisão foi baseada no pressuposto de que esta foi a primeira experiência com essa metodologia em uma disciplina da grade curricular e da constatação de que o domínio adequado dessa ferramenta demanda uma maior preparação.

Dessa forma, a base de dados desse trabalho foi a cópia de cada V produzido por cada um dos 31 estudantes que cursaram a disciplina os quais foram avaliados de acordo com a adaptação dos critérios apresentados por Mintzes e Novak [6]. Ao final do semestre foi feito um levantamento de opinião a partir de um questionário aberto onde cada estudante respondeu anonimamente às perguntas: 1) *A solicitação de confecção dos V's o auxiliou na compreensão dos experimentos de Física Experimental I?* 2) *Você recomendaria a utilização dos V's na disciplina Física Experimental II?* A próxima seção apresenta a análise dos dados e a discussão dos mesmos.

4 Resultados e Discussões

4.1 Avaliação dos V's dos Estudantes

Os critérios de avaliação sugeridos por Mintzes e Novak [3] conferem a cada um dos 05 elementos do V uma nota que varia de 0 (elemento ausente) a um valor máximo arbitrário (no caso, entre 3 e 5). Esse valor máximo aponta que o elemento avaliado está completo, coeso e coerente com outros elementos do V. A nota de um V corresponde à soma das notas de cada elemento, sendo que a soma máxima é 22, no nosso caso.

A seguir são apresentadas as notas obtidas, divididas por elementos, para as duas experiências avaliadas. Para registro, foram corrigidos ao todo 28 Vs para a 2ª experiência e 26 para a 3ª, e 27 estudantes responderam ao questionário final. Apesar de 31 estudantes cursarem a disciplina regularmente a análise foi realizada somente com os números citados acima devido a problemas com as cópias registradas e ao fato de que 4 estudantes não compareceram ao levantamento de opinião.

4.1.1 Questão Básica de Pesquisa

A Questão Básica de Pesquisa aponta os objetivos envolvidos na experiência. Os critérios adotados previam notas de 0 a 3, sendo que a nota máxima correspondia à presença de uma Questão Básica, que incluía os principais conceitos e abordava corretamente o evento e a teorização. A Figura 02 apresenta os histogramas com as notas obtidas pelos alunos, nas duas experiências avaliadas.

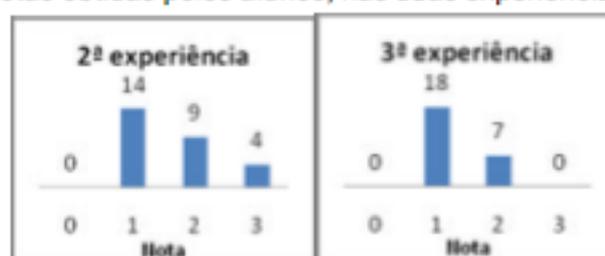


Figura 02: Histograma s das Notas para Questão Básica de Pesquisa

Na 2ª experiência o objetivo era verificar a conservação ou não da energia cinética total e do momento linear total de um sistema de 02 corpos que se colidiam em um trilho de ar sem atrito. Porém, na apostila da disciplina está escrito: *Verificar que o momento linear total de um sistema se conserva durante colisões que podem ocorrer dentro do sistema considerado; que a velocidade do centro de massa não se*

altera. Isso se refletiu nos V's produzidos onde apenas 04 alunos incluíram os conceitos de **conservação**, **momento linear** e **energia** recebendo a nota máxima (3).

Para a 3ª experiência o objetivo era comparar o momento de inércia de um pêndulo de torção obtido a partir do seu período com o valor obtido a partir de sua distribuição de massa. Observou-se que 18 alunos escreveram algo como "Qual a relação entre o momento de inércia e a distância dos contrapesos ao eixo de rotação?". Na apostila está escrito: *Utilizar um pêndulo de torção para medir o momento de inércia, através de sua relação com o período; verificar a dependência do momento de inércia com a distância das massas ao eixo de rotação.* A apostila não destaca o objetivo central que é a comparação entre os dois resultados obtidos.

4.1.2 Eventos

Em Eventos o aluno deveria descrever a montagem da experiência realizada a fim de responder a Questão Básica de Pesquisa. As notas poderiam variar de 0 a 4, sendo essa avaliação máxima correspondente à identificação de um Evento consistente com a Questão Básica e com indicação dos possíveis registros, além, de incluir uma breve descrição dos ajustes necessários à realização da experiência que foram denominados Eventos Secundários. A Figura 03 apresenta os histogramas com as notas obtidas pelos alunos, nas duas experiências avaliadas.

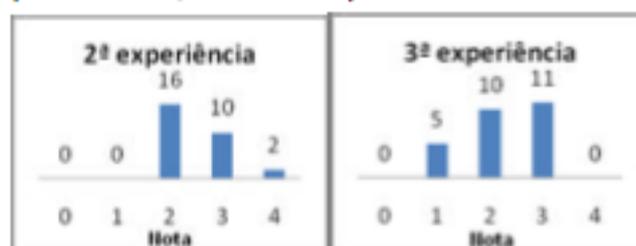


Figura 03: Histogramas das Notas para Eventos

Os alunos apresentaram dificuldades para descrever a experiências realizadas. Menos da metade dos alunos indicaram os possíveis registros, isto é, o que foi medido em cada experiência. Outro aspecto observado foi a não descrição dos Eventos Secundários.

4.1.3 Domínio Conceitual

Esse elemento contém o corpo teórico que serve de base para responder a Questão Básica de Pesquisa, para realizar os Eventos e desenvolver o Domínio Metodológico, dando suporte às Interpretações e às Conclusões. Para atingir a nota máxima (5) o aluno deveria mencionar os principais conceitos e os princípios e leis envolvidos, de forma que fossem coerentes entre si, consistentes com a Questão Básica de Pesquisa e com os Eventos, e ainda, deveria apresentar as hipóteses necessárias. A Figura 04 apresenta os histogramas com as notas obtidas nas duas experiências avaliadas.

Na 2ª experiência, 9 alunos obtiveram nota 01 nesse elemento devido à ausência de palavras-chave na listagem dos conceitos e princípios. Porém, com 02 exceções, todos estes omitiram o conceito Energia, sem o qual é impossível concluir se há ou não conservação de energia.

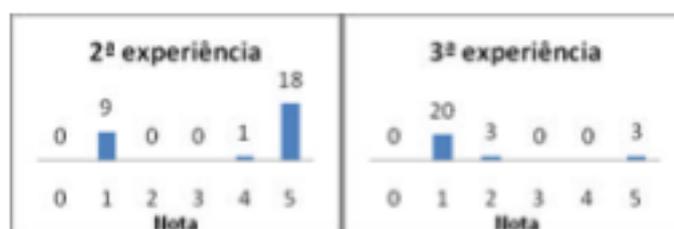


Figura 04: Histogramas das Notas para Domínio Conceitual

Chama a atenção o fato de os estudantes calcularem a variação de energia que é pedida na apostila, mas não indicarem isso como objetivo ou como conceito necessário. Revisando o material encontramos como título da experiência "*CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR DURANTE UMA COLISÃO*" e como objetivo: "*Verificar que o momento linear total de um sistema se conserva durante colisões que podem ocorrer dentro do sistema considerado; que a velocidade do centro de massa não se altera.*". Ou seja, algumas falhas apresentadas pelos alunos nesse elemento e em Questões Básicas de Pesquisa parecem refletir uma deficiência no material usado como guia na disciplina.

Para a 3ª experiência esses resultados reproduzem um quadro esperado: os alunos apresentam muitas dificuldades com os conceitos de Dinâmica de Rotações. Assim como a maioria indicou de forma não adequada o objetivo da experiência, muitos alunos também não apresentaram todo Domínio Conceitual necessário para a realização da experiência. Apenas 3 entre os 26 V's avaliados para a 3ª experiência destacam *Lei Fundamental de Dinâmica de Rotações*, *Lei de Hooke* e o *Teorema dos Eixos Paralelos de Steiner*. Sem qualquer um desses elementos é impossível concluir sobre o que é solicitado na experiência.

4.1.4 Domínio Metodológico

O Domínio Metodológico contém os Dados Coletados, as Transformações que esses dados precisam sofrer para gerar os Resultados, e também as Interpretações a partir desses resultados. Os alunos que apresentaram os principais registros consistentes com os Eventos, as transformações necessárias consistentes com a Questão Básica e as interpretações pertinentes receberam a nota máxima de 5. Os histogramas com as notas obtidas nas experiências são apresentados Figura 05.



Figura 05: Histogramas das Notas para Domínio Metodológico

O aumento de rendimento da 2ª para a 3ª experiência ilustra a percepção por parte dos alunos de que o Domínio Metodológico reproduz o tradicional Roteiro de Procedimentos encontrado na apostila da disciplina. E mostra também, que esse Roteiro é bastante satisfatório já que contém todos os elementos previstos nos Vs de Gowin idealizados para as experiências.

4.1.5 Respostas

O aluno deveria apresentar as conclusões do trabalho, ou seja, a resposta para a Questão Básica de Pesquisa. A nota máxima de 5 correspondia a presença da Resposta e da Asserção de Valor, um balanço final da experiência na opinião do estudante, incluindo a coerência com os outros elementos do V de Gowin como as interpretações, a Questão Básica, a teorização e o procedimento. A Figura 06 apresenta os histogramas com as notas obtidas pelos alunos.

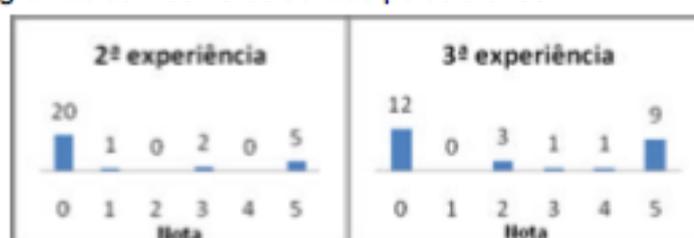


Figura 06: Histogramas das Notas para Respostas

Na 2ª experiência 20 em 28 alunos não obtiveram qualquer pontuação nesse elemento. Esse número caiu para 12 em 26 na 3ª experiência. A explicação para estes índices é que grande parte dos alunos apresentou como resposta algo do tipo "comparação entre os valores de momento linear total e energia total do sistema antes e depois da colisão". Certamente as respostas para a pergunta "Há conservação do momento linear total e de energia mecânica total de um sistema isolado durante colisões internas?" serão obtidas a partir destas comparações, mas a resposta adequada deveria informar se houve ou não a conservação de energia e momento. Mesmo para um V de Gowin produzido antes do experimento, a resposta adequada deveria apontar os resultados esperados. Após a avaliação do primeiro V, alguns estudantes apresentaram melhores resultados, visto que, 9 em 26 estudantes obtiveram notas máximas para "Resposta" na 3ª experiência, contra apenas 5 em 28 na 2ª.

4.2 Levantamento de Opinião dos Estudantes

No último dia de aula, durante a avaliação final, foi realizado um levantamento de opinião a partir de um questionário aberto onde cada estudante respondeu anonimamente às perguntas analisadas na seqüência.

4.2.1 Pergunta 01: A solicitação de confecção dos V's o auxiliou na compreensão dos experimentos de Física Experimental?

A Tabela 01 apresenta um sumário das respostas a esta questão onde pode-se observar que a maioria dos estudantes afirmou que a solicitação de confecção do V de Gowin auxiliou na compreensão dos experimentos de Física Experimental | sendo a principal justificativa associada à organização das idéias sobre o experimento.

A principal justificativa dos que responderam negativamente está associada à afirmação de que o V de Gowin seria uma repetição do Relatório confeccionado: essa resposta parece refletir uma falha na apresentação da metodologia aos

estudantes nessa primeira prática: conforme já afirmado, o material já foi aprimorado e será aplicado novamente em 2009/1.

Tabela 01: Respostas dos Alunos para a 1ª Pergunta

Tipo de Resposta		Frequência	Frequência Total
RESPOSTA	SIM		19
Motivos	Ajuda na organização	13	
	Promove discussão teórica	4	
	Outros	2	
RESPOSTA	NAO		8
Motivos	Repetição do relatório	5	
	Chato, confuso	2	
	Fora do foco dos trabalhos	1	
TOTAL			27

4.2.2 Pergunta 02: Você recomendaria a utilização dos Vs na disciplina Física Experimental II?

Mantendo a tendência das respostas à primeira pergunta, a maior parte dos estudantes recomendaram a utilização desta metodologia na disciplina de Física Experimental II. A parcela dos estudantes que responderam negativamente justificou que esse procedimento consome muito tempo dos alunos. Como mostra a Figura 01, o V de Gowin é um diagrama, uma representação gráfica e que requer atenção na sua confecção. Alguns alunos utilizaram mais de 01 página para montar o diagrama completo e boa parte precisou construir mais de 01 V para a elaboração da representação definitiva. Acreditamos que, um arquivo de texto, ou mesmo, um diagrama impresso pode auxiliar os alunos a construírem mais rapidamente o V, diminuindo o tempo gasto.

Tabela 02: Respostas dos Alunos para a 2ª Pergunta

Tipo de Resposta		Frequência	Frequência Total
RESPOSTA	SIM		18
RESPOSTA	NÃO		9
Motivos	Demanda muito tempo	5	
	Desnecessário	2	
	Apenas em Física Experimental I	1	
TOTAL			27

5 Conclusões

Os resultados apresentados revelam que a utilização do V Epistemológico de Gowin permite fazer uma leitura do rendimento da turma ou rendimento individual de cada estudante em uma disciplina. A utilização do V de Gowin na disciplina Física Experimental I permitiu a discussão teórica com os alunos, elemento que, via de regra, é ausente em aulas de laboratório. Essa ferramenta expõe os elementos constituintes de um modelo auxiliando os alunos a desenvolverem seu próprio modelo e permitindo que o professor tenha acesso a este modelo.

Esses resultados revelaram aspectos relacionados ao desempenho dos estudantes e puderam ser associados à apresentação da metodologia e do V de Gowin. Forneceram também, subsídio para o aprimoramento do material

desenvolvido relacionado à clareza do texto. Foi possível obter subsídios relativos tanto aos roteiros utilizados nas experiências quanto a abordagem do tópico de Dinâmica de Rotações, os quais deverão ser aprimorados.

Da aplicação do critério de análise dos V's, recomenda-se que se tenha sensibilidade para se decidir se há uma inadequação conceitual no modelo construído pelo estudante ou se há apenas o esquecimento de inclusão de uma palavra em uma lista extensa, tais como, observados na lista de "Conceitos" relativos à 2ª experiência: *massa, energia, conservação, sistema, momento linear, velocidade, centro de massa, inércia*. Essa postura de correção dos V's produzidos pelos estudantes pode garantir o sucesso da aplicação dessa metodologia.

Para finalizar, pode-se dizer que a aprovação da utilização dessa metodologia pela maioria dos alunos motiva a continuidade da implantação dessa inovação educacional com o foco na busca de uma melhoria das condições de aprendizagem no contexto de uma disciplina de Física Experimental em Educação Superior.

6 Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq, à CAPES e ao FACITEC – Fundo de Apoio a Ciência e Tecnologia do Conselho Municipal de Ciência e Tecnologia do Município de Vitória, ES – pelo apoio financeiro.

7 Referências

- [1] FERRACIOLI, L. (2002). *Método Analítico para Experimentos de Laboratório*. (Versão Preliminar) Publicação Interna do ModeLab. DFis/UFES.
- [2] DFis (2008) *Física Experimental 1 & Laboratório de Física* Vitória, ES: Publicação Interna do Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo.
- [3] LEVANDOWSKI, C. E. & BONILLA, I.B. (1983) *Física Experimental III*. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [4] GOWIN, D. B. (1981). *Educating*. Ithaca, Nova York. Cornell University Press.
- [5] FERRACIOLI, L. (2002). *O 'V' Epistemológico como Instrumento Metodológico para o Processo de Investigação*. Espírito Santo, Brasil: Cadernos do ModeLab. Nº 12, Maio. Publicação Interna. Também disponível no endereço: <http://www.redisis.furg.br/edicoes/vol1/art09.PDF>.
- [6] MINTZES, J. J., NOVAK J. D. (1999). *Assessing Science Understanding: A Human Constructionist View*. San Diego, EUA: Academic Press. p 42.